



**TESIS – TE142599**

**KARAKTERISASI INTENSITAS CAHAYA PADA SERAT OPTIK  
DENGAN *CLADDING* POLIMER UNTUK IDENTIFIKASI JENIS GAS  
MENGUNAKAN *MULTILAYER PERCEPTRON NEURAL NETWORK***

BAKTI DWI WALUYO  
NRP. 2213204006

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.  
Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN ELEKTRONIKA  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016



**THESIS – TE142599**

**CHARACTERIZATION OF LIGHT INTENSITY IN OPTICAL FIBER  
WITH POLYMER CLADDINGS FOR GAS IDENTIFICATION USING  
MULTILAYER PERCEPTRON NEURAL NETWORK**

**BAKTI DWI WALUYO  
NRP. 2213204006**

**SUPERVISOR  
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.  
Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.**

**MAGISTER PROGRAM  
FIELD IN ELECTRONIC  
ELECTRICAL DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

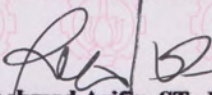
**Oleh:  
Bakti Dwi Waluyo  
Nrp. 2213204006**

**Tanggal Ujian : 7 Januari 2016  
Periode Wisuda : Maret 2016**

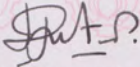
**Disetujui oleh:**



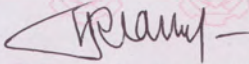
**1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. (Pembimbing 1)  
NIP: 19690426 199403 1 003**



**2. Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 2)  
NIP: 19710314 199702 1 001**



**3. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D. (Penguji)  
NIP: 19651211 199002 1 002**



**4. Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. (Penguji)  
NIP: 19700212 199512 1 001**



**5. Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D. (Penguji)  
NIP: 19810118 200312 1 003**

**Direktur Program Pascasarjana,**



**Prof. Ir. Djaubar Manfaat, M.Sc, Ph.D  
NIP: 19601202 198701 1 001**

# KARAKTERISASI INTENSITAS CAHAYA PADA SERAT OPTIK DENGAN *CLADDING* POLIMER UNTUK IDENTIFIKASI JENIS GAS MENGGUNAKAN *MULTILAYER PERCEPTRON NEURAL NETWORK*

Nama Mahasiswa : Bakti Dwi Waluyo  
NRP : 2213204006  
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.  
2. Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.

## ABSTRAK

Sensor gas telah banyak digunakan di berbagai bidang seperti pendeteksian kebocoran gas pada industri kimia, stasiun pengisian gas, dan rumah tangga. Namun pada umumnya sensor gas yang telah digunakan rentan terhadap interferensi medan elektromagnetik. Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat sensor gas berbasis serat optik dengan prinsip perambatan cahaya. Sensor serat optik dirancang berdasarkan perubahan medan *evanescent* pada daerah batas *inti-cladding* akibat berubahnya indek bias ketika berinteraksi terhadap gas. Konfigurasi sensor berupa deret serat optik dengan lapisan polimer sebagai pengganti *cladding* asli. *Cladding* asli dihilangkan dengan metode etsa kimia, kemudian polimer Squalane, Apiezone M, dan PEG 20M digunakan sebagai *cladding* pengganti. Pengujian sensor serat optik dilakukan dengan cara memaparkan gas dan membiarkan serat optik berinteraksi dengan gas. Jenis gas yang digunakan adalah uap amonia, alkohol, bensin, chloroform, solar, dan minyak yang mudah menguap. Cahaya dari *Light Emitting Diode* biru dengan panjang gelombang 450 nm diterima oleh fotodioda sehingga menghasilkan data tegangan. Data perubahan tegangan selanjutnya diolah dengan metode Jaringan Syaraf Tiruan untuk proses identifikasi jenis gas. Hasil percobaan menunjukkan bahwa deret sensor yang terdiri dari sekumpulan serat optik berselaput polimer yang berbeda dan pengenalan pola Jaringan Syaraf Tiruan dapat mengidentifikasi jenis gas dengan tingkat keberhasilan 92% terhadap *cladding* 2cm dan 73.6% terhadap *cladding* 3cm.

**Kata kunci** : *Cladding* Polimer, Jaringan Syaraf Tiruan, Medan *Evanescent*, Serat Optik

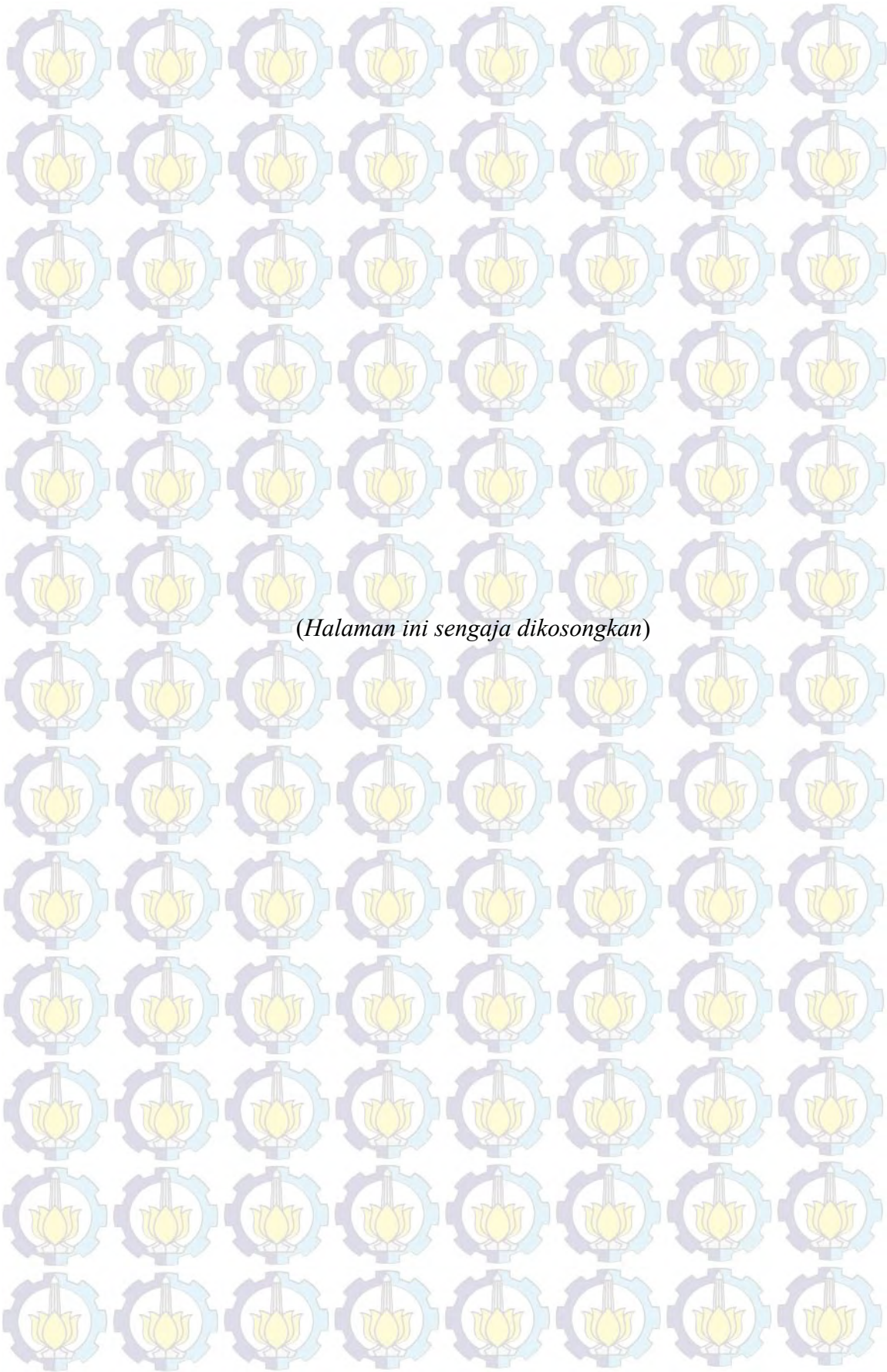
# CHARACTERIZATION OF LIGHT INTENSITY IN OPTICAL FIBER WITH POLYMER CLADDINGS FOR GAS IDENTIFICATION USING MULTILAYER PERCEPTRON NEURAL NETWORK

Name : Bakti Dwi Waluyo  
Student Identity Number : 2213204006  
Supervisor : Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.  
Co-Supervisor : Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.

## ABSTRACT

Gas sensors have been widely used in various fields such as detection of a gas leak in the chemical industry, gas filling stations and households. But in general, the gas sensor that has been used is vulnerable to electromagnetic field interference. This research has been designed and manufactured gas sensors based on optical fibers with the principles of light propagation. Fiber optic sensor is designed based on evanescent field changes at the core-cladding boundary area due to changes in refractive index when interacting with the gas. Sensor configuration is a rank of optical fiber with a polymer coating as a replacement of the original cladding. The original cladding removed by chemical etching method, then the polymer Squalane, Apiezone M, and PEG 20M is used as a cladding replacement. Fiber optic sensor testing is done by exposing the gas and let the gas interacts with the optical fiber. The type of gas used is steam ammonia, alcohol, benzene, chloroform, diesel fuel, and volatile oils. Light from blue Light Emitting Diode with a wavelength of 450 nm is received by a photodiode that generates voltage data. Data voltage changes subsequently processed by the method of Artificial Neural Networks for the identification of the type of gas. The results showed that the sensor array consisting of a set of optical fiber webbed different polymers and Neural Network pattern recognition can identify the type of gas with a success rate of 92% for cladding 2cm and 73.6% for cladding 3cm.

**Keyword :** Artificial Neural Networks, Cladding Polymers, Evanescent field, Fiber Optics



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala nikmat-Nya lah tesis ini dapat diselesaikan. Tesis berjudul **“Karakterisasi Intensitas Cahya pada Serat Optik dengan *Cladding* Polimer untuk Identifikasi Jenis Gas Menggunakan *Multilayer Perceptron Neural Network*”** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan saran, bantuan, serta sabar dalam membimbing penulis.
2. Bapak Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing dan Koordinator Bidang Keahlian Teknik Elektronika – Jurusan Teknik Elektro, atas saran, bantuan, dan pengertiannya dalam membimbing penulis.
3. Bapak Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D. selaku Koordinator Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik elektro – FTI – ITS dan selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
4. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan FTI – ITS dan selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
5. Bapak Ronny Mardiyanto S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pengajar dalam perkuliahan dan selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
6. Pimpinan dan civitas akademika Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS.
7. Ibu dan Ayah tercinta serta adikku Maya Indra Utami, atas segala dukungan dan doanya hingga terselesaikannya tesis ini.
8. Ibu dan Ayah (Alm) Mertua atas semua dukungan dan doanya sehingga tesis ini dapat terselesaikan.

9. My Beloved Wife Ratna Hermiati, S.Si. yang selalu mendoakan dan sabar dalam menghadapiku.

10. Sodara senasib dan seperjuangan Bagus Prasetyo dan Sulfan Bagus Setiawan, akan selalu teringat bantuan dan semua kebaikan yang pernah kalian berikan, semoga Allah azza wa jalla membalasnya dengan lebih baik.

11. Teman-teman angkatan perang 2013, yaitu Nada, Tama, Arizal, Pak JOS, Wahyu, Yanti, Eva, Kakak Pertama Hadid, Pak Adi, Mas Rizal, Bang Roy, Rendi, Mamang Dedi, Cak Happy, dan teman-teman lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu namanya. Terimakasih atas semua bantuan, sumbangan fikiran, dan saling memberi semangat diantara kita, serta saling nasehat menasehati dalam kebaikan.

12. Teman-teman LAB 402 yang banyak membantu, Agung, Mas Bagus R, Gus Dur, Bayu, Rendi, dan teman-teman lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Surabaya, 25 Januari 2016

Penulis



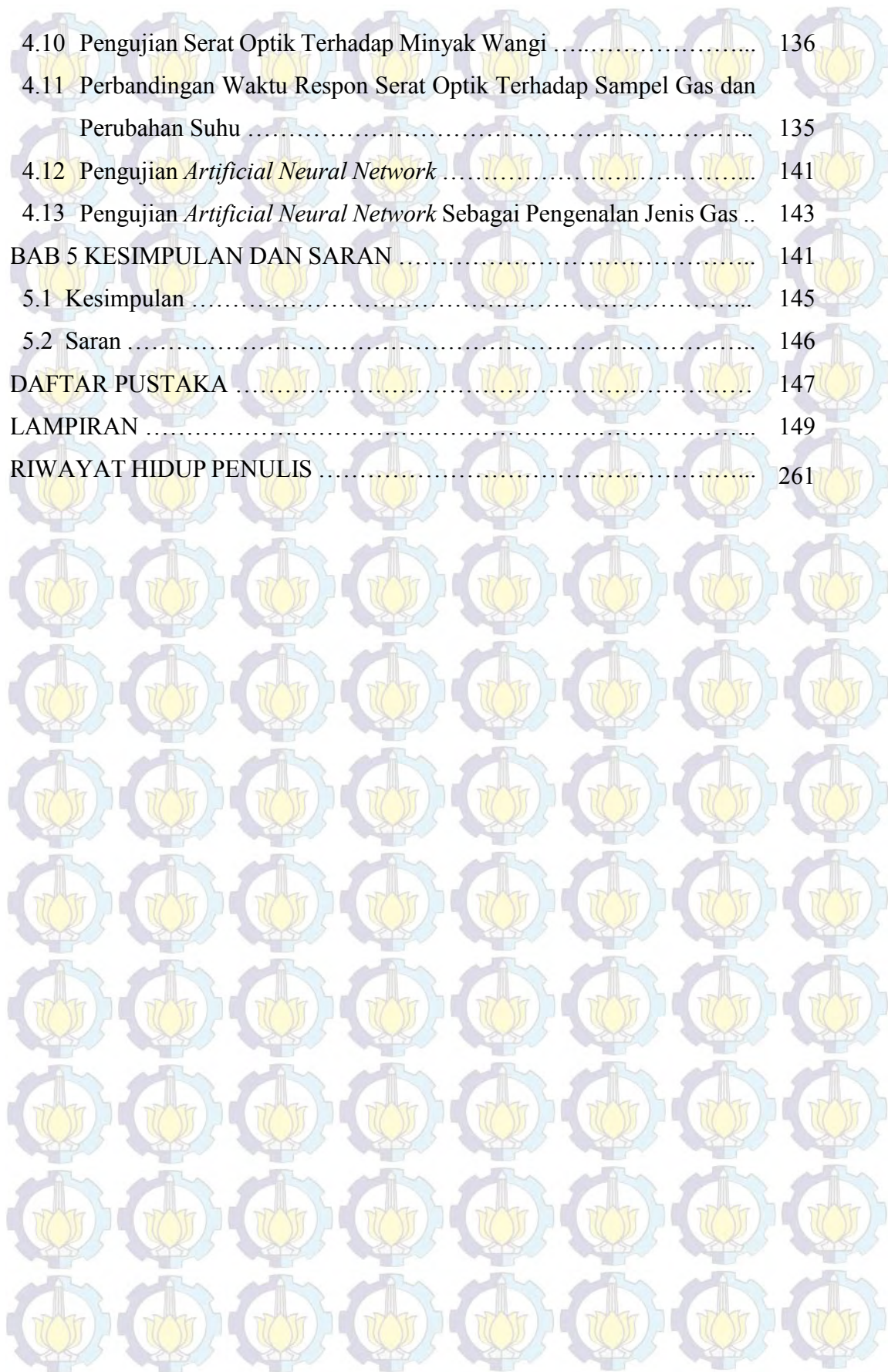
## DAFTAR ISI

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| PERNYATAAN KEASLIAN TESIS  |                |
| LEMBAR PENGESAHAN .....  | i              |
| ABSTRAK .....  | iii            |
| ABSTRACT .....   | v              |
| KATA PENGANTAR .....   | vii            |
| DAFTAR ISI .....   | ix             |
| DAFTAR GAMBAR .....  | xiii           |
| DAFTAR TABEL .....   | xxi            |
| BAB 1 PENDAHULUAN .....  | 1              |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1              |
| 1.2 Perumusan Masalah .....  | 2              |
| 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....  | 3              |
| 1.4 Batasan Masalah .....  | 4              |
| BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....   | 5              |
| 2.1 Pembuatan Sensor Gas Berbahan Polimer Konduktif untuk Uji<br>Minyak Tanah, Bensin, dan Biosolar .....                            | 5              |
| 2.2 Karakterisasi Sistem Serat Optik Berdasarkan Efek Gelombang<br><i>Evanescent</i> .....   | 7              |
| 2.3 Pengembangan Sensor Napas Berbasis Serat Optik Plastik dengan<br><i>Cladding</i> Terkelupas untuk Aplikasi di Bidang Medis ..... | 9              |
| 2.4 Nanoserat Polianilin Sebagai <i>Cladding</i> Termodifikasi pada Sensor<br>Serat Optik untuk Deteksi Uap Aseton .....             | 13             |
| 2.5 Penggunaan Polianilin Sebagai <i>Cladding</i> Pengganti pada Serat Optik<br>untuk Mendeteksi Gas Amonia .....                    | 16             |
| 2.6 Sensor Optik dengan <i>Cladding</i> Polianilin Nanostruktur untuk<br>Mendeteksi Uap HCL .....                                    | 19             |
| 2.7 <i>Fishbone</i> Diagram Penelitian .....   | 23             |
| 2.8 Serat Optik .....  | 24             |
| 2.8.1 Perambatan Cahaya Serat Optik .....  | 25             |

|                               |   |    |
|-------------------------------|---|----|
| 2.8.2                         | <i>Numerical Aperture</i> Serat Optik .....                 | 26 |
| 2.9                           | Prinsip Sensor Serat Optik .....                            | 27 |
| 2.9.1                         | Medan <i>Evanescent</i> .....                               | 28 |
| 2.9.2                         | <i>Penetration Depth</i> .....                              | 28 |
| 2.9.3                         | Suhu dan Kelembaban Serat Optik .....                       | 31 |
| 2.10                          | Gas atau Uap .....  | 32 |
| 2.10.1                        | Sifat-sifat Gas .....                                       | 32 |
| 2.10.2                        | Persamaan Gas Ideal .....                                   | 32 |
| 2.11                          | Polimer Sebagai Pengganti <i>Cladding</i> Serat Optik ..... | 34 |
| 2.12                          | Cahaya .....  | 35 |
| 2.13                          | LED ( <i>Light Emitting Diode</i> ) .....                   | 37 |
| 2.14                          | Fotodioda .....   | 38 |
| 2.15                          | Kontrol Suhu .....  | 39 |
| 2.16                          | <i>Multilayer Perceptron Neural Network</i> .....           | 41 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN ..... |   | 43 |
| 3.1                           | Diagram Blok Sistem .....                                   | 43 |
| 3.2                           | Mekanik Sensor Serat Optik .....                            | 44 |
| 3.3                           | Perancangan dan Pembuatan Sistem .....                      | 46 |
| 3.3.1                         | Perancangan dan Pembuatan Sensor Serat Optik .....          | 46 |
| 3.3.2                         | Perancangan Mekanik Aliran Udara .....                      | 49 |
| 3.3.3                         | Perancangan LED .....                                       | 51 |
| 3.3.4                         | Perancangan Fotodioda .....                                 | 52 |
| 3.3.5                         | Perancangan Penguat <i>Non-Inverting</i> .....              | 52 |
| 3.3.6                         | Perancangan Kontrol Suhu .....                              | 53 |
| 3.3.7                         | Perancangan Sensor Kelembaban .....                         | 56 |
| 3.3.8                         | Perancangan Wadah Sensor Serat Optik .....                  | 57 |
| 3.3.9                         | Perancangan Sistem Minimum Mikrokontroler .....             | 57 |
| 3.3.10                        | Perancangan <i>Software</i> Pembacaan Sensor .....          | 58 |
| 3.3.11                        | Perancangan <i>Artificial Neural Network</i> .....          | 59 |
| 3.4                           | Prosedur Pengambilan Data .....                             | 60 |
| 3.4.1                         | Pengambilan Data Perubahan Suhu dan Kelembaban .....        | 60 |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.4.2 Pengambilan Data Pembelajaran <i>Neural Network</i> .....  | 62        |
| 3.4.3 Prosedur Pembelajaran <i>Neural Network</i> .....  | 62        |
| 3.4.4 Prosedur Identifikas Gas .....   | 63        |
| <b>BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> .....   | <b>65</b> |
| 4.1 Pengujian Hasil Pembuatan Sensor Serat Optik .....   | 66        |
| 4.2 Pengujian Aliran Udara .....   | 68        |
| 4.3 Pengujian Kontrol Suhu .....   | 69        |
| 4.4 Pengujian Kalibrasi Sensor Serat Optik .....   | 73        |
| 4.5 Pengujian Serat Optik Terhadap Perubahan Suhu pada Kelembaban Tetap .....                                | 76        |
| 4.6 Pengujian Serat optik Terhadap Perubahan Kelembaban pada Suhu Tetap .....                                | 85        |
| 4.7 Pengujian Serat Optik <i>Cladding</i> 2cm Terhadap Sampel Gas dan Pengaruh Terhadap Perubahan Suhu ..... | 94        |
| 4.7.1 Tujuan Pengujian .....   | 94        |
| 4.7.2 Prosedur Pengujian .....   | 94        |
| 4.7.3 Hasil Pengujian dan Analisan Terhadap Gas Amonia .....   | 95        |
| 4.7.4 Hasil Pengujian dan Analisan Terhadap Gas Alkohol .....  | 98        |
| 4.7.5 Hasil Pengujian dan Analisan Terhadap Gas Bensin .....   | 102       |
| 4.7.6 Hasil Pengujian dan Analisan Terhadap Gas Chloroform .....   | 105       |
| 4.7.7 Hasil Pengujian dan Analisan Terhadap Gas Minyak Kayu Putih .....                                      | 108       |
| 4.8 Pengujian Serat Optik <i>Cladding</i> 3cm Terhadap Sampel Gas dan Pengaruh Terhadap Perubahan Suhu ..... | 112       |
| 4.8.1 Tujuan Pengujian .....   | 112       |
| 4.8.2 Prosedur Pengujian .....   | 112       |
| 4.8.3 Hasil Pengujian dan Analisan Terhadap Gas Amonia .....   | 112       |
| 4.8.4 Hasil Pengujian dan Analisan Terhadap Gas Alkohol .....  | 116       |
| 4.8.5 Hasil Pengujian dan Analisan Terhadap Gas Bensin .....   | 120       |
| 4.8.6 Hasil Pengujian dan Analisan Terhadap Gas Chloroform .....   | 123       |
| 4.8.7 Hasil Pengujian dan Analisan Terhadap Gas Minyak Kayu Putih .....                                      | 126       |
| 4.9 Perbandingan Kelima Sampel Gas Terhadap Perubahan Suhu .....   | 130       |

|  |     |
|--|-----|
| 4.10 Pengujian Serat Optik Terhadap Minyak Wangi .....                                     | 136 |
| 4.11 Perbandingan Waktu Respon Serat Optik Terhadap Sampel Gas dan<br>Perubahan Suhu ..... | 135 |
| 4.12 Pengujian <i>Artificial Neural Network</i> .....                                      | 141 |
| 4.13 Pengujian <i>Artificial Neural Network</i> Sebagai Pengenalan Jenis Gas ..            | 143 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....   | 141 |
| 5.1 Kesimpulan .....   | 145 |
| 5.2 Saran .....  | 146 |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 147 |
| LAMPIRAN .....   | 149 |
| RIWAYAT HIDUP PENULIS .....  | 261 |



## DAFTAR GAMBAR

|   | <b>Halaman</b> |
|---|----------------|
| Gambar 2.1 Elektroda kerja disepuh emas .....   | 6              |
| Gambar 2.2 Resistansi sensor yang diuji pada; (B)bensin, (C)minyak tanah,<br>dan (D)biosolar .....  | 6              |
| Gambar 2.3 Desain perangkat sistem sensor .....   | 8              |
| Gambar 2.4 Hubungan panjang <i>cladding</i> dengan rugi-rugi serat optik .....  | 9              |
| Gambar 2.5 Hubungan jarak antara kaki serat optik dengan rugi-rugi serat<br>optik untuk setiap variasi panjang pengupasan <i>cladding</i> ..... | 9              |
| Gambar 2.6 (a) Probe sensor nafas, (b) Probe sensor pembanding .....  | 10             |
| Gambar 2.7 Rangkaian pengujian temperatur dan kelembaban .....  | 11             |
| Gambar 2.8 Rangkaian pengujian sensor napas .....   | 11             |
| Gambar 2.9 Keluaran sensor .....  | 11             |
| Gambar 2.10 Perbandingan sinyal pernapasan biasa dengan pernapasan<br>terengah-engah .....  | 12             |
| Gambar 2.11 Sinyal pernapasan dengan napas .....  | 12             |
| Gambar 2.12 <i>Setup</i> pengujian sensor serat optik .....   | 14             |
| Gambar 2.13 Metode injeksi bertahap uap aseton .....  | 14             |
| Gambar 2.14 Kurva respon satu siklus uap aseton .....   | 15             |
| Gambar 2.15 Kurva waktu respon uap aseton .....   | 15             |
| Gambar 2.16 Kurva waktu pemulihan ( <i>recovery time</i> ) .....  | 16             |
| Gambar 2.17 Respon sensor terhadap variasi tekanan uap aseton .....   | 16             |
| Gambar 2.18 Proses pembuatan sensor serat optik; (a) proses pengelupasan<br><i>cladding</i> asli; (b) serat optik yang dihasilkan .....         | 17             |
| Gambar 2.19 <i>Set up</i> pengujian sensor serat optik .....  | 19             |
| Gambar 2.20 Kurva koefisien absorpsi <i>cladding</i> polianilin terhadap<br>konsentrasi amonia .....  | 19             |
| Gambar 2.21 <i>Set-up</i> pengujian sensor serat optik .....  | 21             |
| Gambar 2.22 Kurva respon uap HCl .....  | 22             |
| Gambar 2.23 Kurva waktu respon dan waktu pemulihan ( <i>recovery</i> ) .....  | 22             |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.24 | <i>Fishbone</i> diagram penelitian .....   | 23 |
| Gambar 2.25 | Struktur dasar serat optik .....   | 24 |
| Gambar 2.26 | Serat Optik <i>Multimode Step Index</i> .....  | 24 |
| Gambar 2.27 | Peristiwa pemantulan dan pembiasan cahaya .....  | 25 |
| Gambar 2.28 | Pemantulan internal total .....  | 26 |
| Gambar 2.29 | Sudut <i>numerical aperture</i> .....  | 26 |
| Gambar 2.30 | Medan <i>Evanescent</i> pada batas <i>core – cladding</i> .....  | 27 |
| Gambar 2.31 | Konfigurasi medan gelombang terpolarisasi tegak lurus .....  | 27 |
| Gambar 2.32 | Proses pembekakan ( <i>swelling</i> ) pada polimer .....   | 35 |
| Gambar 2.33 | Spektrum gelombang cahaya .....  | 36 |
| Gambar 2.34 | Proses perpindahan energi pada LED .....   | 39 |
| Gambar 2.35 | Respon relatif untuk bahan silikon, germanium, dan selenium  | 39 |
| Gambar 2.36 | Metode <i>tuning</i> Ziegler – Nichols 1 .....   | 40 |
| Gambar 2.37 | Reaksi sistem open loop ketika diberi input step.....  | 40 |
| Gambar 2.38 | Aliran data pelatihan <i>backpropagation</i> .....   | 41 |
| Gambar 2.39 | Bagan diagram pelatihan <i>error backpropagation</i> .....   | 42 |
| Gambar 3.1  | Diagram blok sistem .....  | 43 |
| Gambar 3.2  | Mekanik utama tampak atas .....  | 45 |
| Gambar 3.3  | Mekanik pengatur aliran udara tampak atas .....  | 46 |
| Gambar 3.4  | (a) Ukuran keseluruhan serat optik; (b) Ukuran <i>cladding</i> 2 cm;<br>(c) Ukuran <i>cladding</i> 3 cm .....  | 47 |
| Gambar 3.5  | (a) Stripper; (b) Pembuatan pola ukuran <i>cladding</i> ; (c) Pola<br>ukuran <i>cladding</i> 2 cm; (d) Pengupasan jaket yang melapisi<br><i>cladding</i> ..... | 47 |
| Gambar 3.6  | (a) <i>Cladding</i> asli dilumuri aseton; (b) Proses etsa kimia .....  | 49 |
| Gambar 3.7  | Ilustrasi melapisi <i>core</i> serat optik dengan polimer .....  | 49 |
| Gambar 3.8  | (a) Silika gel kondisi jenuh; (b) Silika gel kondisi baik; (c)<br>Silika gel .....   | 50 |
| Gambar 3.9  | Pompa udara .....  | 50 |
| Gambar 3.10 | Integrasi pompa udara .....  | 50 |
| Gambar 3.11 | Integrasi pompa udara dan wadah sampel gas .....   | 50 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 3.12 | Skematik rangkaian LED; (b) Bentuk fisik rangkaian LED                 | 51 |
| Gambar 3.13 | (a) Skematik rangkaian fotodioda; (b) Bentuk fisik rangkaian fotodioda | 51 |
| Gambar 3.14 | Skematik rangkaian penguat <i>non-inverting</i>                        | 52 |
| Gambar 3.15 | Bentuk fisik penguat <i>non-inverting</i>                              | 52 |
| Gambar 3.16 | Bentuk fisik rangkaian LM35  | 54 |
| Gambar 3.17 | Skematik rangkaian <i>driver</i> pemanas                               | 54 |
| Gambar 3.18 | Bentuk fisik rangkaian <i>driver</i> pemanas                           | 54 |
| Gambar 3.19 | Bentuk fisik rangkaian kipas pendingin                                 | 54 |
| Gambar 3.20 | Integrasi pengontrolan suhu  | 54 |
| Gambar 3.21 | Skematik rangkaian sensor SHT11  | 56 |
| Gambar 3.22 | Bentuk fisik rangkaian SHT11   | 57 |
| Gambar 3.23 | Konfigurasi wadah sensor serat optik                                   | 57 |
| Gambar 3.24 | Bentuk fisik sistem minimum mikrokontroler ATmega16                    | 58 |
| Gambar 3.25 | Contoh penggunaan <i>baseline</i>                                      | 59 |
| Gambar 3.26 | Rancangan program NN untuk identifikasi jenis gas                      | 59 |
| Gambar 3.27 | Rancangan arsitektur NN  | 59 |
| Gambar 3.28 | Ilustrasi menaikkan suhu pada saat pengujian                           | 61 |
| Gambar 3.29 | Ilustrasi cara menaikkan kelembaban pada saat pengujian                | 61 |
| Gambar 3.30 | Contoh penentuan nilai data pelatihan                                  | 61 |
| Gambar 3.31 | Tampilan program pengambilan data pembelajaran NN                      | 63 |
| Gambar 3.33 | Tampilan program pembelajaran pada NN                                  | 63 |
| Gambar 3.34 | Tampilan program untuk proses identifikasi gas                         | 64 |
| Gambar 4.1  | Serat optik dengan lapisan polimer berbeda                             | 66 |
| Gambar 4.2  | Konfigurasi pengujian awal sensor serat optik                          | 67 |
| Gambar 4.3  | Grafik tegangan pengujian awal   | 67 |
| Gambar 4.4  | Pengecekan saluran aliran udara  | 69 |
| Gambar 4.5  | Skema pengujian sensor LM35  | 70 |
| Gambar 4.6  | Skema pengujian kontrol suhu   | 70 |
| Gambar 4.7  | Pembacaan suhu antara LM35 dengan termometer digital                   | 71 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Gambar 4.8  | Grafik respon suhu, (a) Set Point 30°C; (b) Set Point 35°C; (c) Set Point 40°C; (d) Set Point 45°C; (e) Set Point 50°C .....  | 73  |
| Gambar 4.9  | Skema kalibrasi sensor serat optik .....  | 74  |
| Gambar 4.10 | Respon tegangan serat optik <i>cladding</i> 2cm dengan lapisan (a) Squalane; (c) PEG 20M; (e) Apiezone M. <i>Cladding</i> 3cm (b) Squalane; (d) PEG 20M; (f) Apiezone M ..... | 75  |
| Gambar 4.11 | Kalibrasi sensor serat optik dengan baseline (a) <i>Cladding</i> 2cm; (b) <i>Cladding</i> 3cm .....   | 75  |
| Gambar 4.12 | Grafik pengujian serat optik pada RH 8% .....   | 78  |
| Gambar 4.13 | Grafik pengujian serat optik pada RH 20% .....  | 80  |
| Gambar 4.14 | Grafik pengujian serat optik pada RH 45% .....  | 81  |
| Gambar 4.15 | Grafik pengujian serat optik pada RH 65% .....  | 83  |
| Gambar 4.16 | Grafik pengujian serat optik pada RH 80% .....  | 84  |
| Gambar 4.17 | Grafik pengujian serat optik pada suhu 27°C .....   | 86  |
| Gambar 4.18 | Grafik pengujian serat optik pada suhu 30°C .....   | 87  |
| Gambar 4.19 | Grafik pengujian serat optik pada suhu 35°C .....   | 89  |
| Gambar 4.20 | Grafik pengujian serat optik pada suhu 40°C .....   | 90  |
| Gambar 4.21 | Grafik pengujian serat optik pada suhu 45°C .....   | 92  |
| Gambar 4.22 | Grafik pengujian serat optik pada suhu 50°C, <i>Cladding</i> 2cm..  | 94  |
| Gambar 4.23 | Grafik respon serat optik <i>cladding</i> 2cm terhadap gas amonia..   | 96  |
| Gambar 4.24 | Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik <i>cladding</i> 2cm ketika berinteraksi dengan gas amonia .....   | 96  |
| Gambar 4.25 | Normalisasi rerata tegangan serat optik terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas amonia .....   | 97  |
| Gambar 4.26 | Grafik respon serat optik <i>cladding</i> 2cm terhadap gas alkohol  | 100 |
| Gambar 4.27 | Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik <i>cladding</i> 2cm ketika berinteraksi dengan gas alkohol .....  | 101 |
| Gambar 4.28 | Normalisasi rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 2cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas alkohol .....  | 101 |
| Gambar 4.29 | Grafik respon serat optik <i>cladding</i> 2cm terhadap gas bensin..   | 104 |



|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Gambar 4.30 | Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik cladding 2cm ketika berinteraksi dengan gas bensin .....                      | 104 |
| Gambar 4.31 | Normalisasi rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 2cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas bensin .....     | 105 |
| Gambar 4.32 | Grafik respon serat optik <i>cladding</i> 2cm terhadap gas chloroform .....   | 107 |
| Gambar 4.33 | Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik <i>cladding</i> 2cm ketika berinteraksi dengan gas chloroform .....           | 107 |
| Gambar 4.34 | Normalisasi rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 2cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas chloroform ..... | 108 |
| Gambar 4.35 | Grafik respon gas minyak kayu putih dengan <i>cladding</i> 2cm...   | 110 |
| Gambar 4.36 | Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik ketika berinteraksi dengan gas minyak kayu putih .....                        | 111 |
| Gambar 4.37 | Normalisasi rerata tegangan serat optik terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas minyak kayu putih .....              | 111 |
| Gambar 4.38 | Grafik respon gas minyak kayu putih dengan <i>cladding</i> 3cm ..   | 114 |
| Gambar 4.39 | Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik cladding 3cm ketika berinteraksi dengan gas amonia .....                      | 115 |
| Gambar 4.40 | Normalisasi rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 3cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas amonia .....     | 116 |
| Gambar 4.41 | Grafik respon serat optik <i>cladding</i> 3cm terhadap gas alkohol  | 118 |
| Gambar 4.42 | Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik cladding 3cm ketika berinteraksi dengan gas alkohol .....                     | 119 |
| Gambar 4.43 | Normalisasi rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 3cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas alkohol .....    | 119 |
| Gambar 4.44 | Grafik respon serat optik <i>cladding</i> 3cm terhadap gas bensin...  | 121 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Gambar 4.45 | Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik cladding 3cm ketika berinteraksi dengan gas bensin .....                             | 122 |
| Gambar 4.46 | Normalisasi rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 3cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas bensin .....            | 123 |
| Gambar 4.47 | Grafik respon serat optik <i>cladding</i> 3cm terhadap gas chloroform .....  | 125 |
| Gambar 4.48 | Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik <i>cladding</i> 3cm ketika berinteraksi dengan gas chloroform .....                  | 125 |
| Gambar 4.49 | Normalisasi rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 3cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas chloroform .....        | 126 |
| Gambar 4.50 | Grafik respon serat optik <i>cladding</i> 3cm terhadap gas minyak kayu putih .....   | 127 |
| Gambar 4.51 | Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik <i>cladding</i> 3cm ketika berinteraksi dengan gas M. Kayu Putih...                  | 129 |
| Gambar 4.52 | Normalisasi rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 3cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas minyak kayu putih ..... | 129 |
| Gambar 4.53 | Data rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 2cm dan 3cm terhadap suhu 27°C ketika berinteraksi dengan sampel gas ...                  | 130 |
| Gambar 4.54 | Data rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 2cm dan 3cm terhadap suhu 30°C ketika berinteraksi dengan sampel gas ..                   | 131 |
| Gambar 4.55 | Data rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 2cm dan 3cm terhadap suhu 35°C ketika berinteraksi dengan sampel gas ...                  | 131 |
| Gambar 4.56 | Data rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 2cm dan 3cm terhadap suhu 40°C ketika berinteraksi dengan sampel gas ...                  | 131 |
| Gambar 4.57 | Data rerata tegangan serat optik <i>cladding</i> 2cm dan 3cm terhadap suhu 45°C ketika berinteraksi dengan sampel gas ...                  | 132 |
| Gambar 4.58 | Grafik respon serat optik terhadap minyak wangi bulgari ....   | 133 |
| Gambar 4.59 | Grafik respon serat optik terhadap minyak wangi dunhil .....   | 134 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Gambar 4.60 | Grafik respon serat optik terhadap minyak wangi bercelona ...    | 134 |
| Gambar 4.61 | Grafik respon serat optik terhadap tiga jenis minyak wangi ...   | 135 |
| Gambar 4.62 | Grafik perbedaan waktu respon <i>cladding</i> 2cm pada suhu 27°C | 135 |
| Gambar 4.63 | Grafik perbedaan waktu respon <i>cladding</i> 2cm pada suhu 30°C | 136 |
| Gambar 4.64 | Grafik perbedaan waktu respon <i>cladding</i> 2cm pada suhu 35°C | 136 |
| Gambar 4.65 | Grafik perbedaan waktu respon <i>cladding</i> 2cm pada suhu 40°C | 137 |
| Gambar 4.66 | Grafik perbedaan waktu respon <i>cladding</i> 2cm pada suhu 45°C | 137 |
| Gambar 4.67 | Grafik perbedaan waktu respon <i>cladding</i> 3cm pada suhu 27°C | 139 |
| Gambar 4.68 | Grafik perbedaan waktu respon <i>cladding</i> 3cm pada suhu 30°C | 139 |
| Gambar 4.69 | Grafik perbedaan waktu respon <i>cladding</i> 3cm pada suhu 35°C | 140 |
| Gambar 4.70 | Grafik perbedaan waktu respon <i>cladding</i> 3cm pada suhu 40°C | 140 |
| Gambar 4.71 | Grafik perbedaan waktu respon <i>cladding</i> 3cm pada suhu 45°C | 141 |

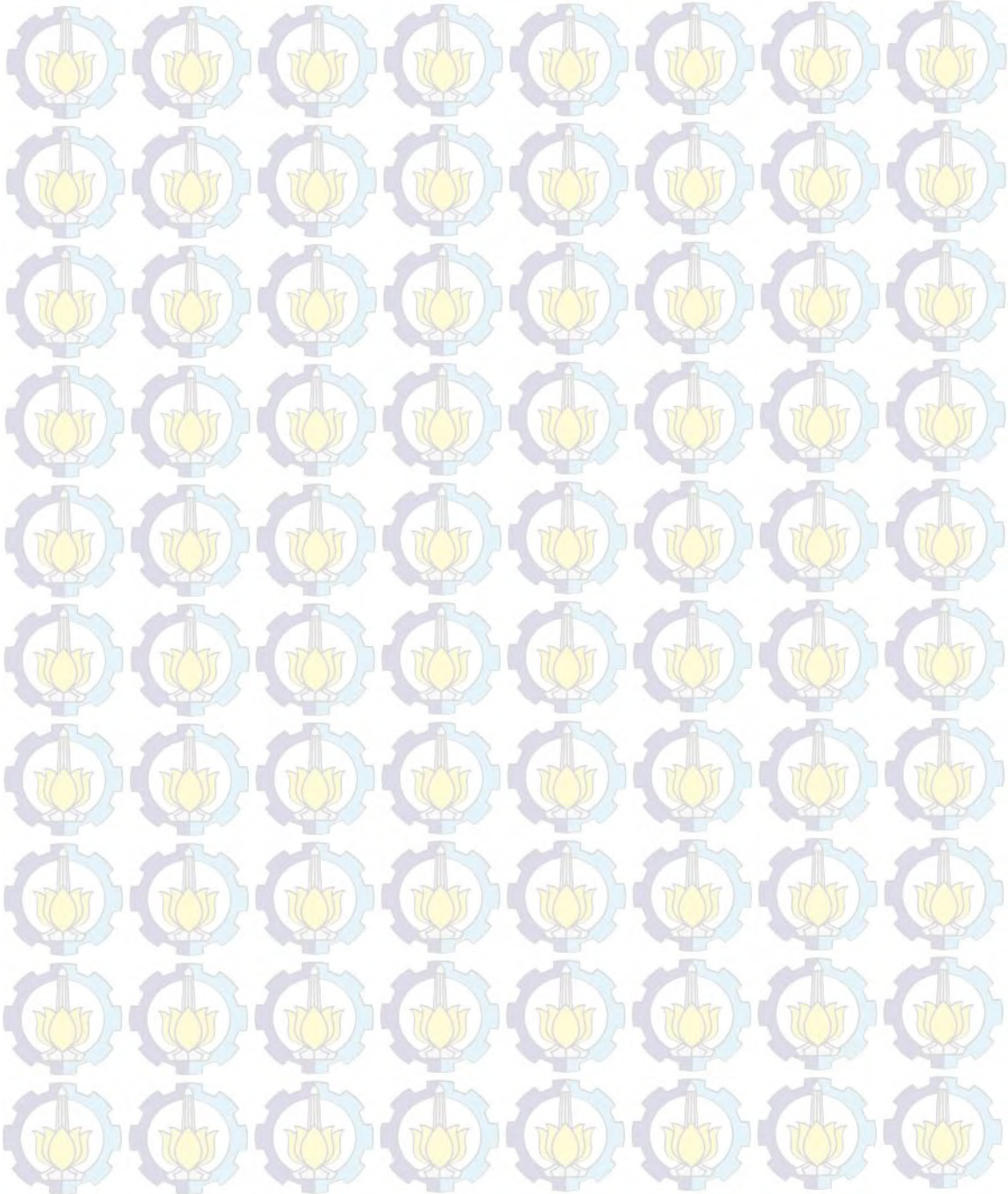


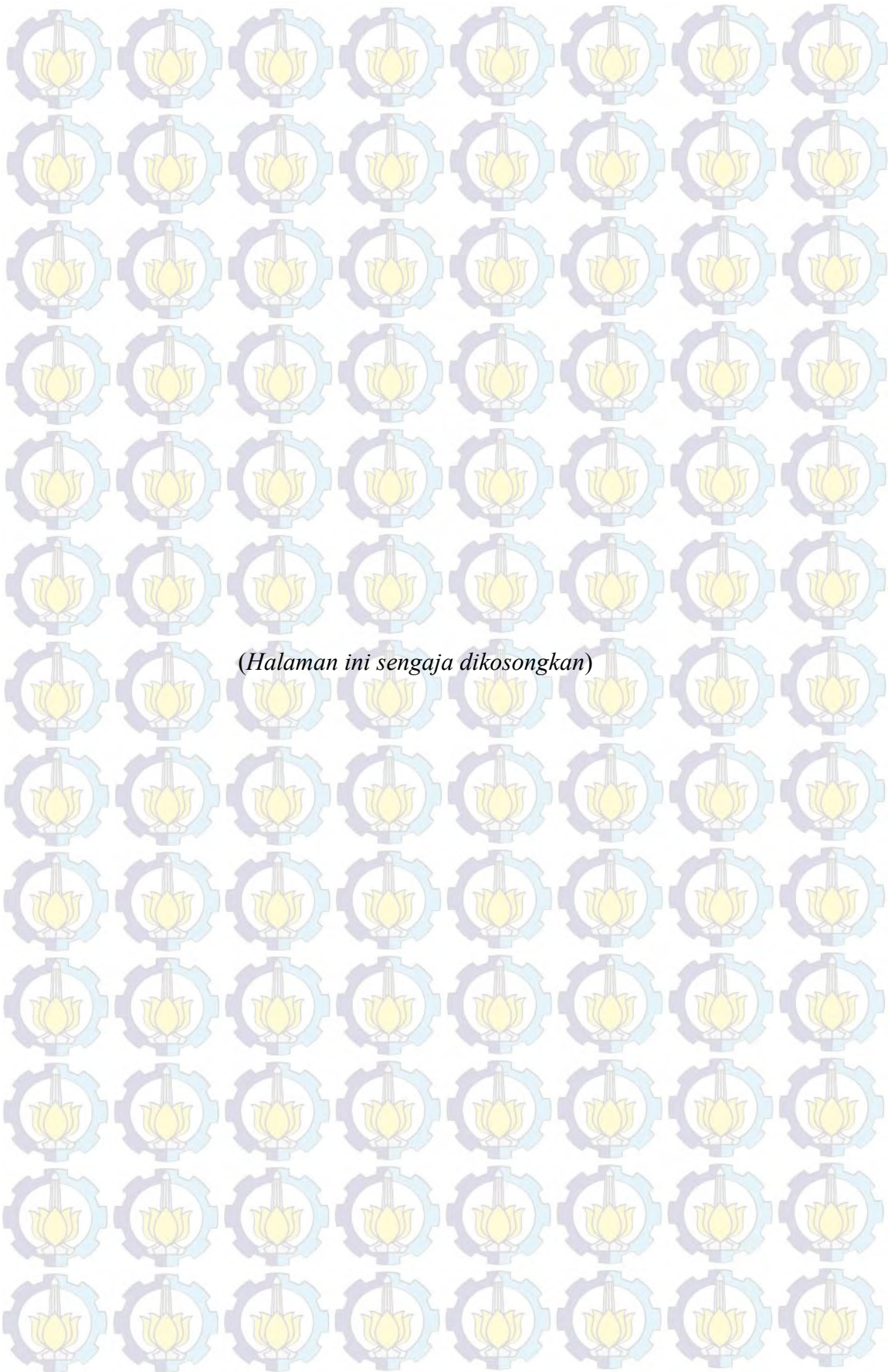
## DAFTAR TABEL

|   | <b>Halaman</b> |
|---|----------------|
| Tabel 2.1 Jenis-jenis bahan polimer yang digunakan untuk melapisi serat optik ..... | 34             |
| Tabel 2.2 Hubungan antara cahaya tampak, frekwensi, dan panjang gelombang .....     | 36             |
| Tabel 2.3 Tuning PID metode Ziegler-Nichols .....                                   | 40             |
| Tabel 3.1 Jenis-jenis polimer .....   | 48             |
| Tabel 3.2 Port-port yang difungsikan .....  | 58             |
| Tabel 4.1 Tegangan pengujian awal sensor serat optik .....                          | 68             |
| Tabel 4.2 Hasil pengecekan saluran udara .....                                      | 69             |
| Tabel 4.3 Efek yang disebabkan oleh parameter kontrol PID .....                     | 73             |
| Tabel 4.4 Data respon tegangan serat optik pada saat kalibrasi .....                | 76             |
| Tabel 4.5 Regresi linear perubahan suhu pada RH 8% .....                            | 78             |
| Tabel 4.6 Regresi linear perubahan suhu pada RH 20% .....                           | 79             |
| Tabel 4.7 Regresi linear perubahan suhu pada RH 45% .....                           | 81             |
| Tabel 4.8 Regresi linear perubahan suhu pada RH 65% .....                           | 82             |
| Tabel 4.9 Regresi linear perubahan suhu pada RH 80% .....                           | 84             |
| Tabel 4.10 Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu 27°C .....                 | 86             |
| Tabel 4.11 Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu 30°C .....                 | 88             |
| Tabel 4.12 Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu 35°C .....                 | 90             |
| Tabel 4.13 Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu 40°C .....                 | 91             |
| Tabel 4.14 Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu 45°C .....                 | 92             |
| Tabel 4.15 Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu 50°C .....                 | 93             |
| Tabel 4.16 Rata-rata perubahan tegangan cladding 2cm terhadap gas amonia .....      | 97             |
| Tabel 4.17 Regresi linear perubahan suhu pada gas amonia dengan cladding 2cm .....  | 98             |
| Tabel 4.18 Rata-rata perubahan tegangan gas alkohol dengan cladding 2cm .....       | 101            |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Tabel 4.19 | Regresi linear perubahan suhu pada gas alkohol dengan cladding 2cm .....  | 100 |
| Tabel 4.20 | Rata-rata perubahan tegangan gas bensin dengan cladding 2cm   | 104 |
| Tabel 4.21 | Regresi linear data perubahan tegangan terhadap suhu dan gas bensin terhadap serat optik cladding 2cm .....       | 104 |
| Tabel 4.22 | Rata-rata perubahan tegangan gas chloroform dengan cladding 2cm .....   | 107 |
| Tabel 4.23 | Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas chloroform terhadap serat optik cladding 2cm .....        | 107 |
| Tabel 4.24 | Rata-rata perubahan tegangan gas minyak kayu putih cladding 2cm .....   | 110 |
| Tabel 4.25 | Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas minyak kayu putih terhadap serat optik cladding 2cm ..... | 111 |
| Tabel 4.26 | Rata-rata perubahan tegangan gas amonia dengan cladding 3cm .....   | 114 |
| Tabel 4.27 | Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas amonia terhadap serat optik cladding 3cm .....            | 115 |
| Tabel 4.28 | Rata-rata perubahan tegangan gas alkohol dengan cladding 3cm .....  | 118 |
| Tabel 4.29 | Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas alkohol terhadap serat optik cladding 3cm .....           | 119 |
| Tabel 4.30 | Rata-rata perubahan tegangan gas bensin dengan cladding 3cm   | 121 |
| Tabel 4.31 | Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas bensin terhadap serat optik cladding 3cm .....            | 122 |
| Tabel 4.32 | Rata-rata perubahan tegangan gas chloroform dengan cladding 3cm .....   | 125 |
| Tabel 4.33 | Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas chloroform terhadap serat optik cladding 3cm .....        | 126 |
| Tabel 4.34 | Rata-rata perubahan tegangan gas m. kayu putih dengan cladding 3cm .....  | 128 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabel 4.35 Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas m. kayu putih terhadap serat optik cladding 3cm ..... | 129 |
| Tabel 4.36 Data tegangan hasil pengujian tiga jenis minyak wangi .....   | 134 |
| Tabel 4.37 Parameter proses pembelajaran neural network 2 hidden layer   | 142 |
| Tabel 4.38 Parameter proses pembelajaran neural network 1 hidden layer   | 142 |
| Tabel 4.39 Persentase hasil pengujian NN terhadap gas, 2 hidden layer .....  | 144 |
| Tabel 4.40 Persentase hasil pengujian NN terhadap gas, 1 hidden layer ..   | 144 |





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penggunaan zat-zat kimia untuk bahan baku industri makanan, minuman, dan obat-obatan telah banyak digunakan pada saat ini. Secara umum pengolahan zat-zat kimia dilakukan di dalam larutan. Pelarut, terutama pelarut organik mempunyai potensi yang berbahaya karena mudah menguap sehingga dapat menimbulkan gangguan pernafasan dan keracunan yang dapat mempengaruhi sistem saraf. Karena aspek bahaya yang ditimbulkan dari uap zat-zat kimia, maka diperlukan suatu jenis sensor yang dapat mengenali jenis gas secara cepat, sehingga apabila terjadi kebocoran gas akan segera dapat ditangani.

Penelitian dibidang sensor gas telah banyak dilakukan, antara lain sensor *Surface Acoustic Wave* (SAW) yang dilapisi polimer (Mulyadi, 2011), dimana sensor SAW terlapisi polimer diujikan dengan uap pelarut organik. Pengujian uap pelarut bertujuan untuk membedakan pelarut non-polar dan polar ( seperti benzena atau toluena dan metanol atau aseton), dapat juga membedakan antar anggota dari suatu grup (seperti benzena dari toluena dan metanol dari etanol) (Rivai dkk, 2005). Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan suhu diatas 35°C, maka tanggapan sensor semakin tidak setabil.

Serat optik telah digunakan untuk mendeteksi uap aseton dengan *cladding* polianilin (Maddu dkk, 2008). Dimana dalam penelitian tersebut hanya menggunakan serat optik tunggal dengan satu jenis lapisan polianilin dan menggunakan satu sumber cahaya *Light Emitting Diode* (LED). Pada saat dilakukan pengujian dengan sampel gas, respon perubahan intensitas cahaya sekitar 30 detik, hal ini menunjukkan bahwa serat optik tunggal dengan lapisan polianilin mempunyai responsivitas yang lambat pada saat berinteraksi dengan uap atau gas.

Apabila digunakan sebagai sensor gas, serat optik memiliki beberapa kelebihan, yaitu tahan terhadap interferensi medan listrik maupun medan magnet, konsumsi daya rendah, dapat mengirim sinyal dengan kecepatan tinggi, tahan terhadap suhu sampai 150°C, dan dapat digunakan dalam jangka waktu panjang



(Alfian dkk, 2012) (Suana dkk, 2012). Prinsip sensor serat optik didasarkan pada serapan gelombang cahaya pada pembungkus (*cladding*) yang telah dimodifikasi, yang disebut gelombang *evanescent* (Yin, 2002).

Pada penelitian ini akan menggunakan deret serat optik dengan *cladding* yang telah diganti dengan lapisan polimer yang berbeda dan menggunakan deret LED dengan panjang gelombang cahaya berbeda. Kemudian dilakukan proses karakterisasi terhadap intensitas cahaya yang merambat disepanjang inti (*core*) serat optik. Intensitas cahaya adalah daya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya pada arah tertentu. Intensitas cahaya di dalam serat optik dapat berubah apabila antara *core* dan *cladding* mengalami perubahan indeks bias.

Ketika proses karakterisasi, suhu dan kelembaban mempengaruhi molekul gas sehingga dapat mempengaruhi intensitas cahaya di dalam serat optik. Oleh karena itu, dilakukan karakterisasi untuk setiap perubahan temperatur (suhu) dan karakterisasi dilakukan untuk setiap perubahan panjang gelombang cahaya LED. Keluaran intensitas cahaya dari serat optik selama proses karakterisasi diterima oleh fotodiode. Intensitas cahaya yang diterima fotodiode akan membentuk pola, kemudian pola akan diolah dengan *neural network*. Pola intensitas cahaya yang telah diolah dengan *neural network* dapat diklasifikasikan sehingga akan dapat mengidentifikasi jenis uap atau gas.

Dengan mengetahui karakteristik intensitas cahaya pada serat optik saat berinteraksi dengan gas, serat optik diharapkan dapat dikembangkan sebagai alat untuk mengidentifikasi jenis uap atau gas yang efektif dan efisien.

## 1.2 Perumusan Masalah

Secara umum perumusan masalah penelitian ini adalah untuk membuktikan apakah karakterisasi intensitas cahaya pada serat optik dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis-jenis gas. Adapun permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat sistem yang digunakan untuk mengkarakterisasi intensitas cahaya pada serat optik.
2. Bagaimana merancang deret serat optik dengan *cladding* polimer yang digunakan untuk mengidentifikasi jenis-jenis gas.

3. Bagaimana pengaruh perubahan suhu dan kelembaban terhadap intensitas cahaya serat optik dengan *cladding* polimer berbeda.
4. Bagaimana pengaruh penggunaan *cladding* polimer berbeda terhadap intensitas cahaya serat optik saat berinteraksi dengan gas.
5. Bagaimana pengaruh perubahan suhu terhadap intensitas cahaya serat optik dengan ukuran *cladding* polimer berbeda saat berinteraksi dengan gas.
6. Bagaimana mengimplementasikan metode *Neural Network* untuk mengenali berbagai macam jenis gas.

### 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Secara umum tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil karakterisasi intensitas cahaya serat optik untuk identifikasi jenis gas. Secara terperinci tujuan penelitian ini adalah :

1. Mampu membuat sistem yang digunakan untuk mengkarakterisasi intensitas cahaya pada serat optik.
2. Menguji deret serat optik dengan *cladding* polimer yang digunakan untuk mengidentifikasi jenis gas.
3. Mengetahui pengaruh perubahan suhu dan kelembaban terhadap intensitas cahaya serat optik dengan *cladding* polimer berbeda.
4. Mengetahui pengaruh penggunaan *cladding* polimer berbeda terhadap intensitas cahaya pada serat optik saat berinteraksi dengan gas.
5. Mengetahui pengaruh perubahan suhu terhadap terhadap intensitas cahaya serat optik dengan ukuran *cladding* polimer berbeda saat berinteraksi dengan gas.
6. Mampu mengimplementasikan metode *Neural Network* untuk mengenali berbagai macam jenis gas.

Dari hasil penelitian ini akan diperoleh manfaat baik untuk kalangan masyarakat ataupun pendidikan antara lain :

1. Dapat dijadikan alternatif solusi untuk mengetahui serta mengidentifikasi berbagai macam jenis gas dengan sensor yang menggunakan prinsip perubahan intensitas cahaya.

2. Dapat menambah pengetahuan dan wawasan khusus serta dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, yaitu :

1. Teknik identifikasi ini hanya dapat mengetahui jenis gas tanpa mengetahui konsentrasi gas tersebut.
2. Ukuran *cladding* serat optik yang digunakan adalah 2cm dan 3cm.

## BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### 2.1 Pembuatan Sensor Gas Berbahan Polimer Konduktif untuk Uji Minyak Tanah, Bensin dan Biosolar

Telah dilakukan penelitian sensor gas berbahan polimer konduktif yang dibuat dengan cara elektropolimerisasi dengan variasi lapisan dasar dan lapisan atas dari kombinasi monomer tiofena, 3-metiltiofena dan pirol. Variasi lapisan dasar dan lapisan atas diharapkan dapat menghasilkan sensor gas dengan sensitivitas dan selektifitas yang berbeda-beda. Metode yang digunakan dalam proses polimerisasi yaitu metode elektrokimia, sehingga konduktivitas polimer dapat dikontrol.

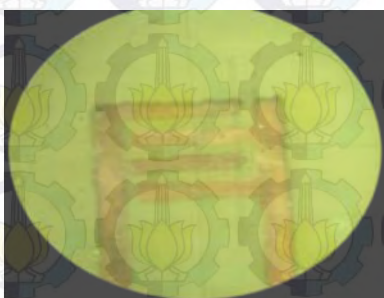
Polimer konduktif adalah polimer organik yang dapat menghantarkan arus listrik. Bahan-bahan tersebut biasanya merupakan material semikonduktif dengan konduktivitas listrik seperti logam atau oksida logam. Polimer konduktif mempunyai bermacam-macam struktur dengan harga yang relatif murah, mudah dibuat dan dapat diproses secara mekanik (Winokur, 1995). Nilai konduksi dalam polimer konduktif dapat ditingkatkan dengan cara pemberian dopan ke dalam polimer konduktif (Crayton & Walton, 1996). Ciri-ciri tersebut dapat digunakan untuk pembuatan peralatan elektronik, seperti dioda, kapasitor, transistor, sel surya, gas sensor dan lain-lain. Namun demikian, aplikasi polimer konduktif yang paling luas adalah aplikasinya sebagai bahan aktif sensor gas.

Pembuatan elektroda dari PCB tembaga yang disepuh perak dan dilanjutkan dengan disepuh emas diharapkan dapat menjadi elektroda yang baik. Proses pengamatan elektrokimia polimer pada elektroda kerja menggunakan mikroskop optik. Hal ini digunakan untuk melihat apakah elektroda kerja telah dilapisi polimer dengan baik atau tidak. Gambar 2.1 adalah elektroda kerja disepuh emas, elektroda kerja yang digunakan mempunyai ukuran 50 $\mu$ m.

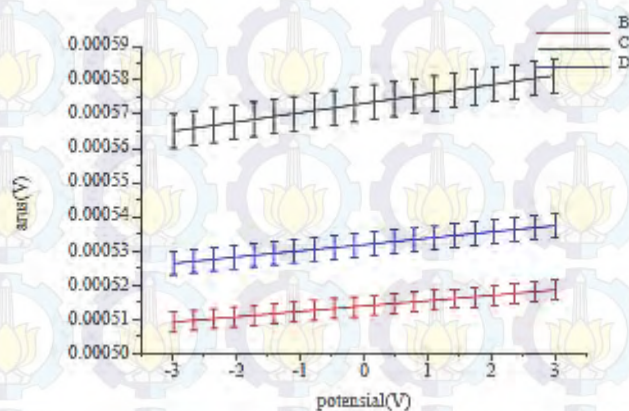
Pada pengujian elektroda kerja menggunakan turunan minyak bumi (bensin, minyak tanah, dan biosolar) menunjukkan bahwa sensitivitas masing-masing lapisan polimer memiliki nilai yang berbeda. Lapisan polimer digunakan untuk meningkatkan resistansi pada elektroda kerja. Lapisan polipirol memiliki

sensitivitas yang tinggi pada biosolar, lapisan poli-3-metiltiofena memiliki sensitivitas yang tinggi pada bensin, dan lapisan politiofena memiliki sensitivitas yang tinggi pada minyak tanah.

Pada saat dikenai uap biosolar sensor gas menunjukkan respon resistansi terbesar yaitu sekitar 2099327.58  $\Omega$ . Berdasarkan nilai tersebut sensor gas dengan lapisan politiofena-polipirol memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap biosolar. Besarnya respon yang ditimbulkan sensor gas dipengaruhi oleh kecepatan partikel senyawa uji yang berinteraksi pada sensor gas. Pada lapisan polipirol diatas poli-3-metiltiofena dan politiofena diatas lapisan poli-3- metiltiofena dan polipirol juga menunjukkan bahwa sensor menunjukkan sensitivitas yang tinggi terhadap biosolar. Transfer elektron antara polimer konduktif organik dan uap senyawa organik menyebabkan muatan listrik dalam sensor gas, karena keelektronegatifan pada uap senyawa organik adalah bagian terpenting pada respon sensor gas.



**Gambar 2.1** Elektroda kerja disepuh emas



**Gambar 2.2** Resistansi sensor yang diuji pada; (B)bensin, (C)minyak tanah, dan (D)biosolar

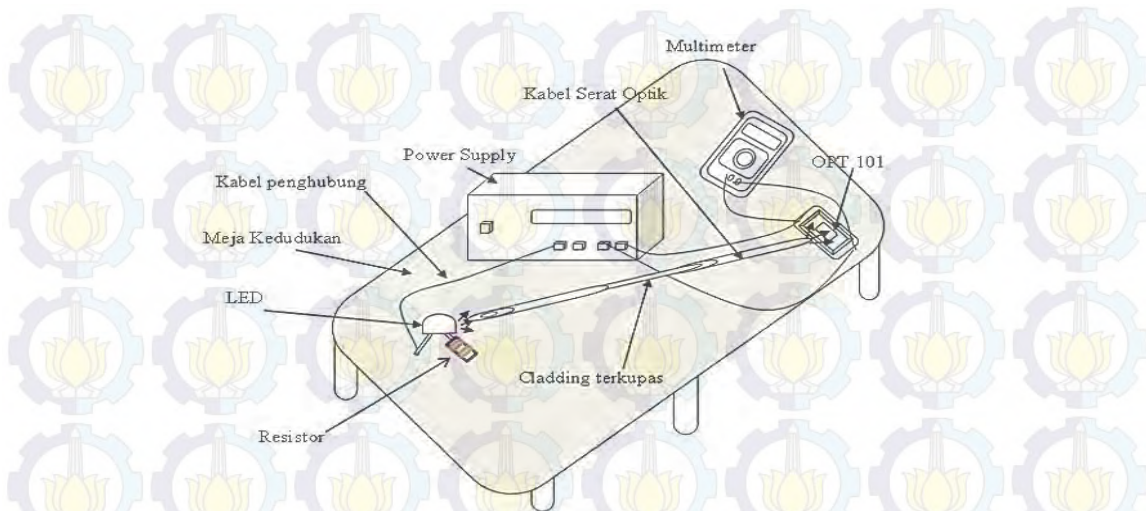
Gambar 2.2 dimana menunjukkan perubahan resistansi yang sangat jelas antara sensor yang diuji menggunakan bensin, minyak tanah dan biosolar. Resistansi pada udara sebesar 2377.34  $\Omega$ , setelah diuji dengan bensin menjadi 635158.56  $\Omega$ , dengan minyak tanah sebesar 543144.69  $\Omega$  dan Biosolar sebesar 366919.96  $\Omega$ . Pada saat dikenai uap bensin sensor gas menunjukkan respon resistansi terbesar yaitu sekitar 635158.56  $\Omega$ . Berdasarkan nilai tersebut sensor gas dengan lapisan Tiofena-pirol-3-metiltiofena memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap bensin. Besarnya respon yang ditimbulkan sensor gas dipengaruhi oleh kecepatan partikel senyawa uji yang berinteraksi pada sensor gas.

## 2.2 Karakterisasi Sistem Sensor Serat Optik Berdasarkan Efek Gelombang *Evanescent*

Karakterisasi sistem sensor serat optik berdasarkan efek gelombang *evanescent* (Indra, Jurnal Fisika Unand). Alat-alat yang digunakan diantaranya adalah LED, detektor cahaya berupa OPT 101, catu daya, mikroskop, mutimeter digital dan *crocodile clip*. Persiapan bahan dilakukan dengan mengumpulkan bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini, diantaranya larutan aseton, lakban, amplas halus, dan serat optik multi mode FD-620-10.

Kabel serat optik dipotong menjadi 9 bagian dengan masing-masing panjang serat optik dipotong sepanjang 17 cm. Satu serat optik tidak dikupas *cladding*-nya, sedangkan 8 lagi dikupas. Panjang *cladding* yang dikupas divariasikan dari panjang 3 cm sampai 10 cm. Jaket kabel serat optik harus dikupas terlebih dahulu dengan menggunakan *cutter*. Setelah jaketnya dikupas, *cladding* dikupas dengan menggunakan larutan aseton.

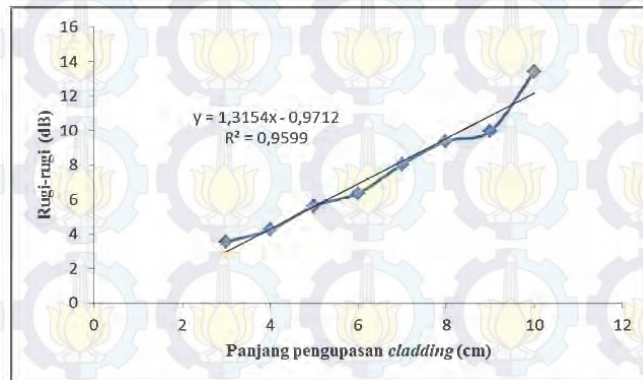
Sistem sensor didesain seperti pada Gambar 2.3. Pengambilan data dilakukan dengan mencari nilai tegangan yang keluar dari OPT 101. Variasi yang dipakai adalah variasi panjang pengupasan *cladding* dari panjang 3 cm sampai 10 cm. Ada dua kondisi yang akan diambil nilai tegangannya untuk setiap sampel pengupasan. Pertama adalah kondisi pada saat serat optik dalam keadaan lurus. Kedua adalah kondisi pada saat serat optik dibengkokkan.



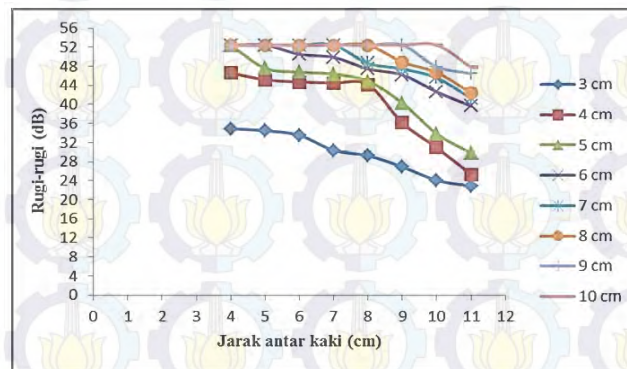
**Gambar 2.3** Desain perangkat sistem sensor

Pengupasan *cladding* merupakan hal yang paling penting, karena pengupasan dilakukan dengan teknik buatan tangan. Kesalahan dalam mengupas *cladding* akan mempengaruhi nilai keluaran, oleh karena itu pengupasan *cladding* haruslah dikerjakan dengan sangat hati-hati. Kesalahan dan ketidakhati-hatian dalam proses pengupasan *cladding* bisa mengakibatkan serat optik menjadi patah yang menyebabkan sinar tidak dapat menjalar pada serat optik dan juga dapat menyebabkan inti serat optik menjadi rusak atau retak. Serat optik dapat menjadi patah jika serat optik terlalu lama direndam dalam larutan aseton. Sedangkan inti serat optik yang retak disebabkan oleh kesalahan sewaktu pengupasan jaket, yaitu jika pengupasan jaket menyebabkan *cladding* menjadi lecet terkena pisau *cutter*. Ketika *cladding* serat optik yang lecet ini direndam dalam larutan aseton akan mengakibatkan inti menjadi retak pada daerah yang lecet dan menjadi patah.

Gambar 2.4 menunjukkan hubungan pengaruh panjang pengupasan *cladding* terhadap rugi-rugi serat optik, nilai rugi-rugi yang didapat adalah dalam rentang 3,562 dB – 13,412 dB. Pada kasus efek gelombang *evanescent*, nilai indeks bias *cladding* berpengaruh terhadap intensitas cahaya yang ditransmisikan dalam serat optik. Penurunan intensitas diakibatkan oleh meningkatnya kedalaman penetrasi gelombang *evanescent*.



**Gambar 2.4** Hubungan panjang *cladding* dengan rugi-rugi serat optik



**Gambar 2.5** Hubungan jarak antara kaki serat optik dengan rugi-rugi serat optik untuk setiap variasi panjang pengupasan *cladding*

Karakteristik lain yang dapat mempengaruhi rugi-rugi sensor serat optik berdasar efek gelombang *evanescent* adalah rugi akibat pembengkokan. Gambar 2.5 memperlihatkan pengaruh pembengkokan terhadap nilai tegangan keluaran, bisa dilihat bahwa nilai rugi-rugi yang paling tinggi yang didapatkan adalah 52,469 dB. Nilai tersebut didapat pada saat nilai tegangan keluarannya adalah 10,4 mV.

### 2.3 Pengembangan Sensor Napas Berbasis Serat Optik Plastik dengan *Cladding* Terkelupas untuk Aplikasi di Bidang Medis

Pernapasan merupakan fungsi fisiologis yang sangat penting. Dari pernapasan dapat diperoleh informasi tentang kondisi fisik pasien, termasuk tentang indikasi penyakit yang dideritanya, misalnya pneumothorax atau gangguan paru-paru kronis. Sensor napas yang memanfaatkan aliran udara pernapasan dibuat dengan mengukur temperatur, kelembaban, dan gas CO<sub>2</sub> dalam udara pernapasan. Sensor

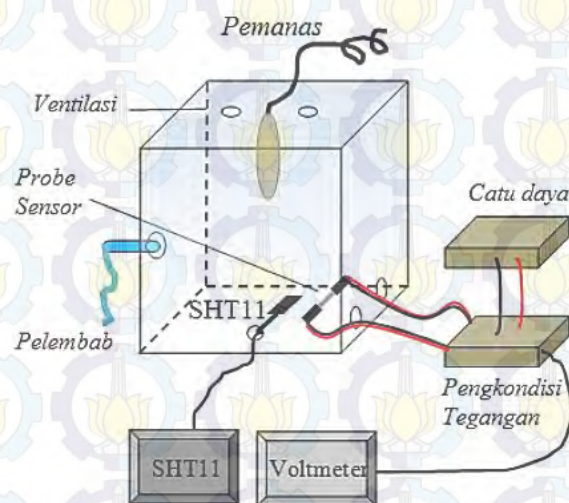


napas yang dibuat pada penelitian ini prinsip kerjanya berdasarkan fenomena absorpsi medan *evanescent* (*evanescent field*). Fenomena medan *evanescent* muncul dari kenyataan bahwa ketika cahaya merambat sepanjang serat optik, medan listrik cahaya tersebut tidak sepenuhnya berada pada daerah core serat optik namun sebagian masuk di daerah *cladding*. Bagian medan listrik yang berada di daerah *cladding* itulah yang disebut dengan medan *evanescent*.

Probe sensor dibuat dari serat optik plastik jenis *multimode step index* dengan spesifikasi diameter *core* 0,98 mm, diameter *cladding* 1 mm, indeks bias core 1,49, dan NA 0,5. Probe sensor dibuat sepanjang 10 cm. Jaket dan *cladding* probe sensor dikupas sepanjang 3 cm tepat di bagian tengahnya. Pengupasan jaket dilakukan dengan pisau sedangkan pengupasan *cladding* menggunakan campuran aseton dan alkohol dengan perbandingan 9 : 1. Setelah itu, probe sensor dibiarkan mengering pada temperatur ruang selama sekitar 2 jam. Probe sensor ditunjukkan oleh Gambar 2.6 (a). Sebagai pembanding, dibuat probe sensor lain yang sejenis namun tanpa pengupasan *cladding*, Gambar 2.6 (b).



**Gambar 2.6** (a) Probe sensor nafas, (b) Probe sensor pembanding



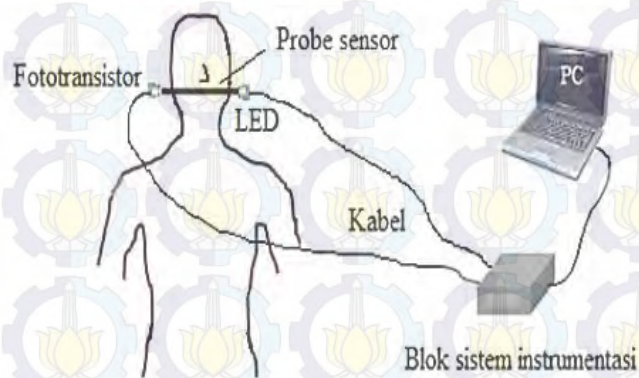
**Gambar 2.7** Rangkaian pengujian temperatur dan kelembaban

Pengukuran pengaruh temperatur dan kelembaban dilakukan dalam ruang uji (*chamber*) berukuran (23×23×26) cm. Saat mengukur pengaruh temperatur, kelembaban dipertahankan konstan dengan cara mengatur pelemab udara (*humidifier*). Sementara saat mengukur pengaruh kelembaban, temperatur yang dipertahankan konstan dengan cara mengatur elemen pemanas.

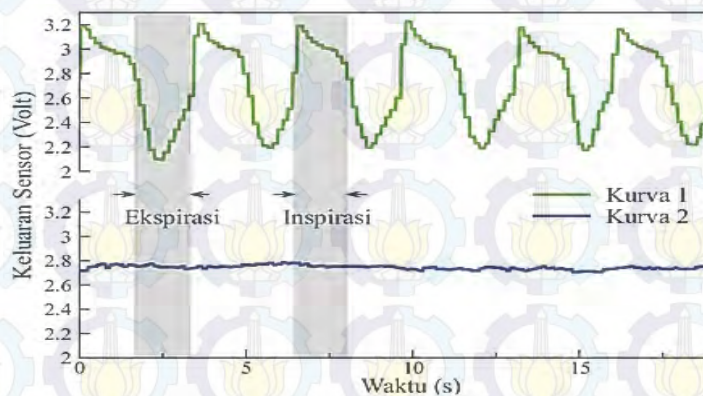
Sumber cahaya yang digunakan adalah LED inframerah jenis IF-E91A sedangkan detektornya adalah fototransistor jenis IF-D92 (industrial Fiber Optics).

Rangkaian uji pengaruh temperatur dan kelembaban ditunjukkan oleh Gambar 2.7.

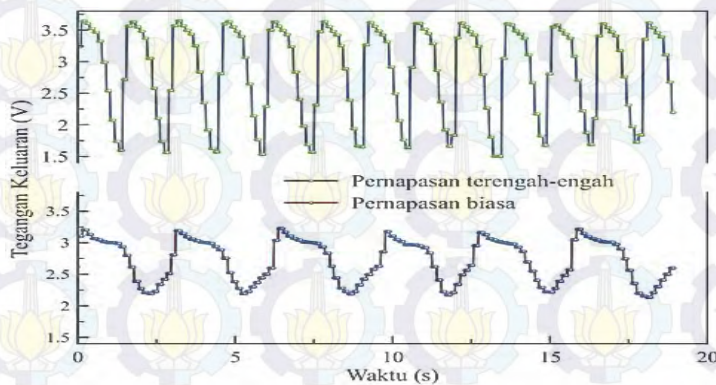
Pengujian probe sensor untuk mendeteksi pernapasan dilakukan pada tiga jenis pernapasan, yaitu pernapasan biasa, pernapasan terengah-engah, dan pernapasan dengan batuk. Rangkaian pengujian sinyal pernapasan ditunjukkan oleh Gambar 2.8.



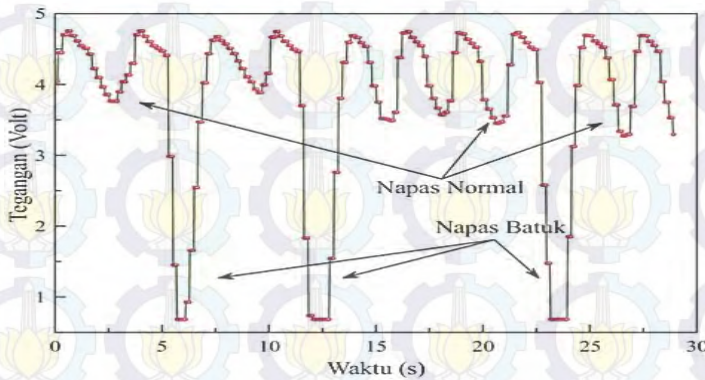
**Gambar 2.8** Rangkaian pengujian sensor napas



**Gambar 2.9** Keluaran sensor



**Gambar 2.10** Perbandingan sinyal pernapasan biasa dengan pernapasan terengah-engah



**Gambar 2.11** Sinyal pernapasan dengan napas

Hasil pengujian sensor untuk mengukur pernapasan biasa ditunjukkan oleh Gambar 2.9. Sensor mampu mendeteksi pola sinyal pernapasan manusia. Kurva 2 pada Gambar 2.9 merupakan hasil keluaran oleh probe sensor pembanding, yang dibuat dari bahan, panjang serat optik, dan panjang kupasan jaket yang sama tetapi cladding asli serat optiknya tidak dikelupas. Gambar 2.10 menunjukkan perbandingan sinyal pernapasan biasa dengan sinyal pernapasan terengah-engah. Dalam waktu yang sama (19 detik), jumlah napas untuk pernapasan terengah-engah (12 kali napas) lebih banyak daripada jumlah napas untuk pernapasan biasa (6 kali napas). Hasil keluaran sensor untuk mengukur sinyal pernapasan yang disertai batuk ditunjukkan oleh Gambar 2.11. Tampak bahwa saat batuk, keluaran sensor turun jauh menjadi 0,708 volt. Rata-rata selisih keluaran maksimum saat inspirasi dengan keluaran minimum saat ekspirasi adalah 4,026 volt.

## 2.4 Nanoserat Polianilin Sebagai *Cladding* Termodifikasi pada Sensor Serat Optik untuk Deteksi Uap Aseton

Aseton merupakan senyawa kimia yang termasuk dalam golongan senyawa organik gampang menguap (*volatile organic compounds*, VOCs). Uap aseton dapat membahayakan kesehatan manusia jika terhirup dalam jumlah diatas ambang, oleh karena itu dibutuhkan sistem deteksi yang cepat, *in situ* dan *real time*. Berbagai bahan telah di gunakan sebagai bahan sensor untuk mendeteksi uap aseton, meliputi bahan semikonduktor oksida logam seperti SnO<sub>2</sub>, ZnO dan TiO<sub>2</sub> nanopartikel.

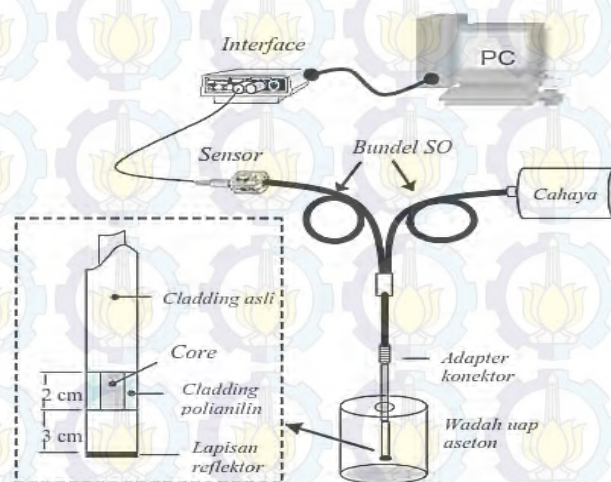
Bahan yang juga dapat dijadikan sebagai sensor adalah polianilin, karena sangat sensitif terhadap gas amonia dan berbagai gas lainnya meliputi uap senyawa organik seperti aseton, uap metanol dan gas H<sub>2</sub>S. Pada penelitian ini bahan polianilin digunakan sebagai *cladding* termodifikasi pada sistem sensor serat optik. Prinsipnya, *cladding* termodifikasi ini akan berubah sifat optiknya (indeks bias atau absorpsinya) ketika berinteraksi dengan uap aseton sehingga intensitas cahaya yang terpandu di dalam serat optik akan berubah akibat perubahan absorpsi medan *evanescent* pada bidang batas *core-cladding* serat optik. Perubahan medan *evanescent* ini bergantung pada perubahan nilai indeks bias *cladding* relatif terhadap indeks bias inti (*core*) serat optik.

Kabel pathcord serat optik plastik multimoda dengan diameter inti 960  $\mu\text{m}$  sepanjang 2 m dipotong menjadi dua, sehingga diperoleh kabel serat optik dimana salah satu ujungnya dilengkapi dengan konektor SMA dan ujung lainnya bebas (tanpa konektor). Sekitar 3 cm dari ujung bebas serat optik ini, sepanjang 2 cm dilepas *cladding* aslinya dengan metode etsa kimia menggunakan larutan aseton. Bagian tanpa *cladding* ini akan dijadikan bagian penginderaan (*sensing region*) dengan *cladding* lapisan polianilin.

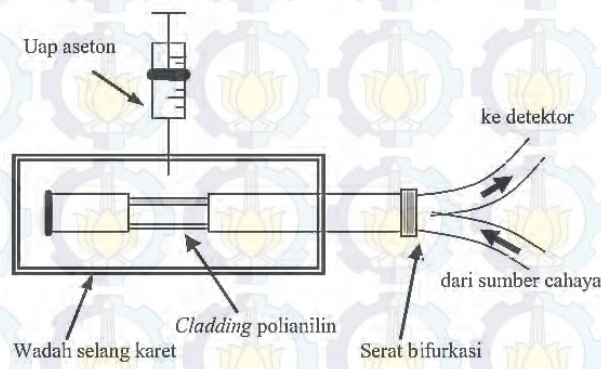
Pengujian sensor serat optik dilakukan dengan *setup* Gambar 2.12 yang terdiri dari bundel serat optik bifurkasi (bentuk Y), probe serat optik plastik yang telah dilengkapi elemen pengindera, sumber cahaya, detektor cahaya, interface, dan komputer yang telah diinstal program DataStudio (PASCO) untuk akuisisi dan pengolahan data. Ujung probe serat optik yang dilengkapi konektor dihubungkan ke salah satu ujung bundel serat bifurkasi dengan sebuah adapter konektor,

sedangkan ujung lainnya dimana terdapat elemen pengindera dibiarkan bebas yang akan dimasukkan ke wadah uji.

Pengujian sensor serat optik dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya yang melewati sistem sensor serat optik secara kontinu sambil mencelupkan kemudian menarik probe sensor secara berulang ke dalam dan keluar dari wadah uap aseton. Pengujian respon sensor serat optik terhadap variasi konsentrasi atau tekanan uap aseton dilakukan pada wadah uji dari selang karet (Gambar 2.13). Probe (kepala sensor) dimasukkan ke dalam selang karet dan ditutup rapat dengan *silicone rubber*. Uap aseton dimasukkan (diinjeksi) ke dalam wadah selang karet menggunakan *syringe*. Intensitas cahaya transmisi diukur secara kontinu sambil menginjeksikan uap aseton secara bertahap, uap aseton diambil dengan *syringe* dari dalam wadah uap aseton.



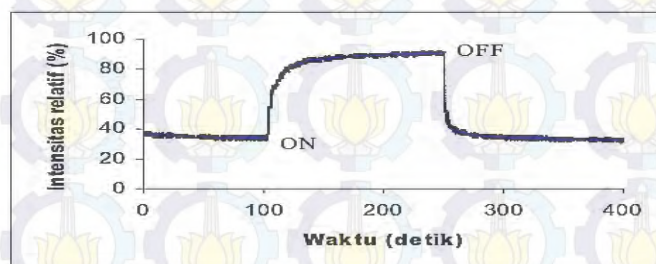
**Gambar 2.12** Setup pengujian sensor serat optik



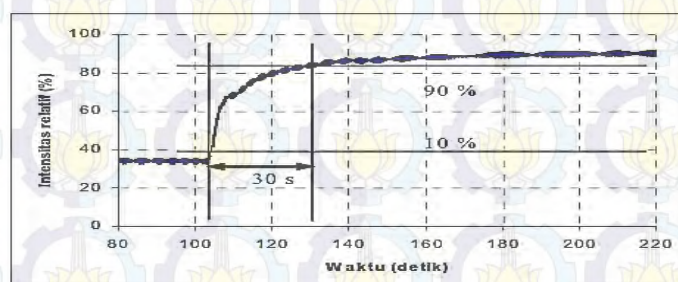
**Gambar 2.13** Metode injeksi bertahap uap aseton

Untuk mengetahui karakteristik respon meliputi waktu respons, waktu pemulihan (*recovery*), kemampuan pembalikan (*reversibility*) dan kemampuan pengulangan (*repeatability*), maka dilakukan karakterisasi respon sensor serat optik. Gambar 2.14 memperlihatkan kurva respon satu siklus yang menggambarkan perubahan intensitas transmisi terhadap waktu, terdiri dari bagian respon dan bagian pemulihan (*recovery*). Kurva siklus merupakan representasi perubahan sifat optik *cladding* polianilin ketika berinteraksi dengan uap aseton, dalam hal ini indeks bias dan absorpsinya.

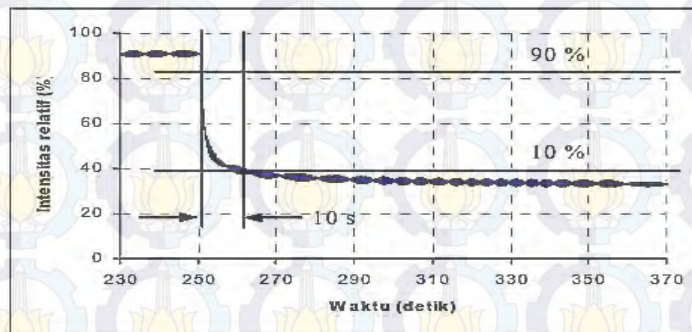
Untuk menentukan waktu respon dan waktu pemulihan (*recovery*), maka diambil kurva rinci bagian respon dan *recovery* pada kurva respon. Waktu respon (*response time*) ditentukan dari interval waktu antara 10 % dan 90% nilai stasioner (Gambar 2.15), sebaliknya waktu pemulihan (*recovery time*) ditentukan dari interval waktu antara 90 % dan 10 % nilai stasioner (Gambar 2.16). Berdasarkan analisis kurva bagian respon dan pemulihan ini diperoleh waktu respon dan waktu pemulihan masing-masing 30 detik untuk waktu respon dan 10 detik untuk waktu pemulihan. Waktu respon sedikit lebih besar dari waktu pemulihan karena proses pembengkakan (*swelling*) *cladding* polianilin ketika berinteraksi dengan uap aseton memerlukan waktu lebih lama.



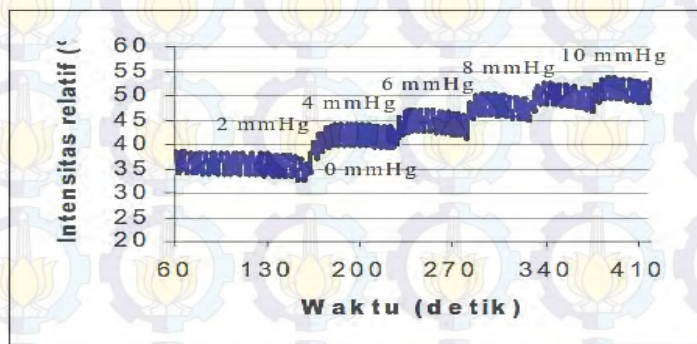
**Gambar 2.14** Kurva respon satu siklus uap aseton



**Gambar 2.15** Kurva waktu respon uap aseton



**Gambar 2.16** Kurva waktu pemulihan (*recovery time*)



**Gambar 2.17** Respon sensor terhadap variasi tekanan uap aseton

Hasil pengukuran intensitas transmisi terhadap variasi tekanan uap aseton di dalam wadah uji ditunjukkan pada Gambar 2.17. Pengujian respon sensor memperlihatkan responsivitas yang cukup baik dengan waktu respon yang sangat singkat sekitar 30 detik dan waktu pemulihan (*recovery*) sekitar 10 detik. Sensitivitas sensor terhadap tekanan uap aseton dihasilkan sebesar 1,25 %/mmHg, artinya intensitas transmisi berubah sebesar adalah 1,25 % untuk setiap perubahan tekanan uap aseton sebesar 1 mmHg.

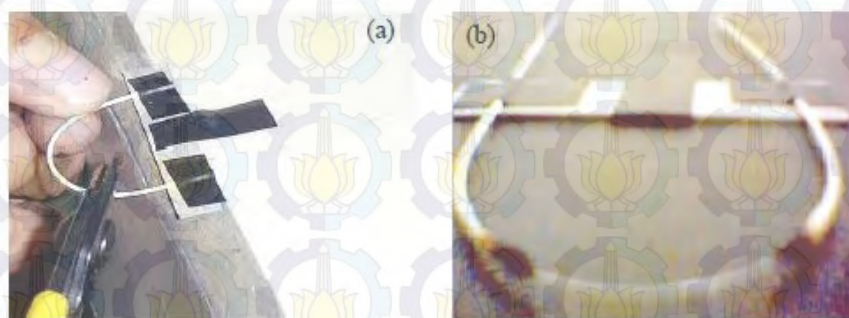
## 2.5 Penggunaan Polianilin Sebagai *Cladding* Pengganti pada Serat Optik untuk Mendeteksi Gas Amonia

Amonia ( $\text{NH}_3$ ) merupakan gas alam yang ada di atmosfer yang terbentuk melalui siklus nitrogen. Kelebihan amonia di atmosfer dapat menciptakan potensi berbahaya terhadap manusia dan ekosistem. Batas ambang konsentrasi amonia di udara hanya 25 ppm bagi manusia. Gas amonia sangat reaktif dan korosif sekaligus

beracun sehingga dapat menyebabkan seseorang pingsan serta merasa sakit pada jantung, hati dan kepala apabila dihirup dalam jumlah melebihi ambang.

Untuk mendeteksi gas amonia, sejauh ini telah dikembangkan banyak sistem sensor. Material yang banyak dikembangkan saat ini adalah berbasis polimer konduktif seperti polipirol (PPy) dan polianilin (PANi). Polianilin paling banyak digunakan sebagai sensor amonia dibandingkan material polimer konduktif lainnya karena mudah diproses, sensitif dan stabil pada suhu kamar serta dapat dikontrol sensitivitasnya dengan mudah. Dalam penelitian ini, polianilin dimanfaatkan sebagai bahan sensitif gas amonia melalui perubahan sifat optiknya. Bahan polianilin dideposisi pada inti (*core*) fiber optik sebagai pengganti *cladding* asli dengan metode deposisi kimia (*in-situ chemical deposition*).

Kabel serat optik yang digunakan dalam penelitian ini dibentuk menyerupai huruf U. Serat optik dipotong sepanjang  $\pm 20$  cm, dan sepanjang 2 cm pada bagian tengah dilepaskan *cladding* dengan cara memotong-motong *cladding* menggunakan *stripper* dalam bagian-bagian kecil. Selanjutnya bagian-bagian tadi dibakar dengan menggunakan *microjet* hingga bagian *cladding* terbakar habis dan tidak ada yang tertinggal pada inti (*core*). Proses pembakaran berlangsung berulang kali dengan jeda waktu  $\pm 1$  menit hingga seluruh potongan *cladding* terlepas dari inti serat optik. Serat optik yang telah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.18.



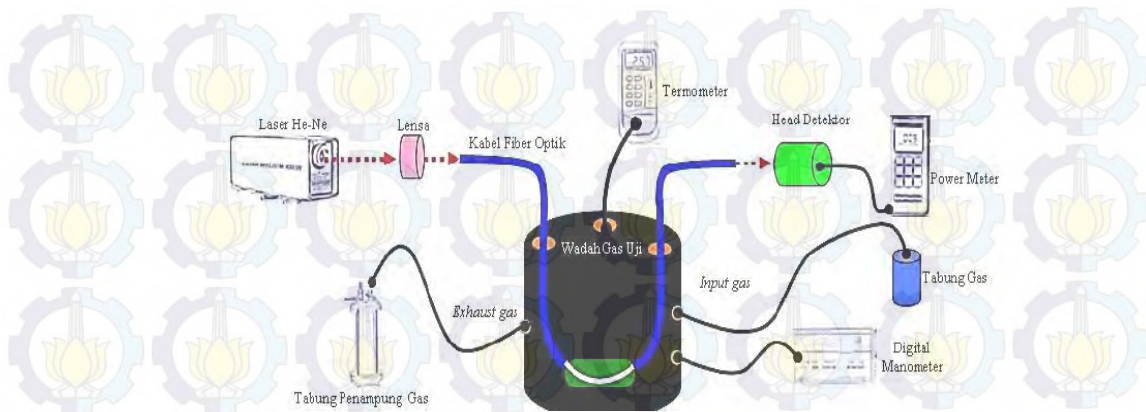
**Gambar 2.18** Proses pembuatan sensor serat optik; (a) proses pengelupasan *cladding* asli; (b) serat optik yang dihasilkan



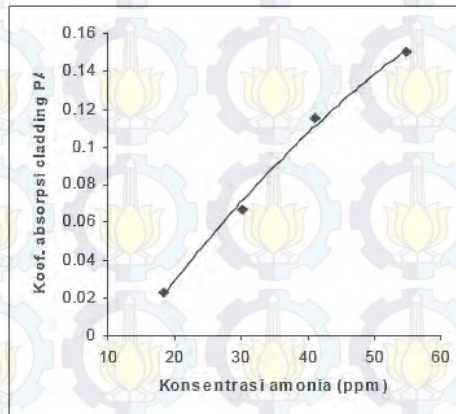
Pembuatan dan deposisi larutan polianilin dengan cara monomer anilin sebanyak 0.4 mL dilarutkan ke dalam 30 mL HCl 2 M sambil diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* diatas *hot plate* tanpa pemanasan hingga campuran monomer anilin dan HCl larut. Setelah larutan berwarna kuning, serbuk 0.1 M  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  dimasukkan ke dalam larutan hingga larutan berubah warna dari kuning menjadi hijau sambil terus diaduk pada suhu ruang. Substrat kaca dan serat optik pada bagian tanpa *cladding* dicelupkan ke dalam larutan dan didiamkan  $\pm 15$  menit hingga terjadi pelapisan pada permukaan substrat dan inti serat optik. Setelah terjadi pelapisan, substrat dan serat optik dikeringkan pada suhu ruang.

*Setup* pengukuran ditunjukkan pada Gambar 2.19, terdiri dari serat optik dengan *probe* berbentuk U yang telah diganti *cladding* asli dengan polianilin, dimasukkan ke dalam wadah uji, laser He-Ne 635 nm dicoupling dengan lensa pada salah satu ujung serat optik, dan power meter pada ujung lain serat optik untuk mengukur daya transmisi *probe* serat optik. Sumber gas ammonia berupa larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  ditempatkan di dalam sebuah tabung dan dialirkan melalui selang ke wadah uji (*test chamber*) yang dilengkapi dengan tabung pembuangan untuk mengatur tekanan gas di dalam wadah uji. Untuk mengukur tekanan, wadah uji dihubungkan dengan Manometer digital melalui sebuah selang, sedangkan suhu di dalam wadah diukur dengan termometer digital.

Bahan polianilin mengalami perubahan konduktivitas listrik dan absorpsi optik ketika menyerap gas amonia. Akibatnya, energi cahaya yang ditransmisikan melalui probe sensor serat optik juga berubah. Jumlah energi gelombang *evanescent* yang diserap oleh *cladding* polianilin mempengaruhi daya transmisi *probe* serat optik, yaitu semakin besar gelombang *evanescent* yang menembus *cladding* polianilin semakin kecil daya transmisi optik *probe* serat optik. Hasilnya dibuat kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 2.20, yang memperlihatkan kenaikan nilai koefisien absorpsi *cladding* polianilin terhadap konsentrasi gas amonia. Nilai koefisien absorpsi *cladding* polianilin yang meningkat secara eksponensial ini mengakibatkan penurunan eksponensial daya transmisi optik *probe* sensor serat optik.



**Gambar 2.19** Setup pengujian sensor serat optik



**Gambar 2.20** Kurva koefisien absorpsi *cladding* polianilin terhadap konsentrasi amonia

Sensor amonia dengan probe serat optik menggunakan *cladding* polianilin memperlihatkan respon yang cukup baik. Hal ini diperlihatkan oleh hasil pengujian daya transmisi optik *probe* sensor terhadap konsentrasi gas amonia yang bervariasi. Daya transmisi optik *probe* sensor menurun eksponensial terhadap konsentrasi gas amonia sesuai yang diharapkan. Demikian juga, sebaliknya koefisien absorpsi *cladding* polianilin meningkat secara eksponensial terhadap konsentrasi gas amonia yang diberikan dengan konsentrasi yang cukup rendah (beberapa puluh ppm).

## 2.6 Sensor Optik dengan *Cladding* Polianilin Nanostruktur untuk Mendeteksi Uap HCL

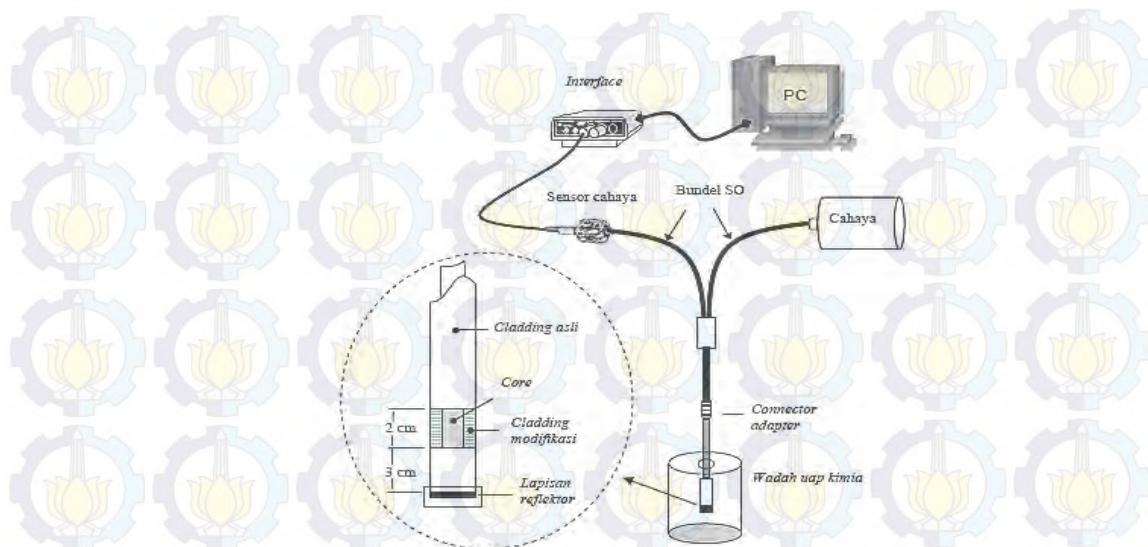
Pada penelitian ini dikembangkan sistem sensor serat optik untuk mendeteksi uap kimia HCL berdasarkan fenomena absorpsi gelombang *evanescent* pada bidang

batas antara *core-cladding* serat optik. Apabila digunakan sebagai sensor maka *cladding* serat optik dilakukan modifikasi yaitu dengan mengganti *cladding* asli dengan *cladding* baru yang sensitif terhadap uap kimia yang akan dideteksi. Pada penelitian ini *cladding* menggunakan lapisan polianilin sebagai bahan polimer konduktif yang memiliki karakteristik dapat berubah dari keadaan isolator menjadi konduktor.

Serat optik yang digunakan berjenis multimoda dengan diameter inti 960  $\mu\text{m}$  dan diameter *cladding*  $\mu\text{m}$ . Serat optik sepanjang 2 m dipotong menjadi dua, dimana salah satu ujungnya dipasang konektor SMA dan ujung lainnya tanpa konektor. Pada 3 cm dari bagian ujung tanpa konektor, *cladding* asli dilepas sepanjang 2 cm dengan metode etsa kimia menggunakan larutan aseton. Tepat pada bagian ujung serat optik dilapisi cat warna perak sebagai reflektor.

Lapisan polianilin nanostruktur dibuat dari dua larutan campuran, yaitu larutan campuran monomer aniline di dalam toluene sebagai fasa organik dan larutan campuran oksigen  $(\text{NH}_2)_2\text{S}_2\text{O}_8$  dengan dopan HCl sebagai fasa air (aqueous). Kedua larutan campuran ini dicampur ke dalam satu gelas *beaker* tanpa diaduk, dan kedua larutan terpisah karena berbeda fasa. Sesaat setelah pencampuran, dengan cepat mulai terbentuk polianilin pada bidang batas dua fasa larutan dan dengan lambat berdifusi ke dalam lapisan air di sebelah bawah. Pada saat yang sama, warna lapisan atas organik berubah menjadi oranye kemerahan akibat pembentukan oligomer aniline. Proses dibiarkan sepanjang malam, dan produknya berupa endapan polianilin.

Set up pengujian sensor serat optik ditunjukkan pada Gambar 1, terdiri dari bundel serat optik bifurkasi (bentuk Y), probe serat optik plastik yang telah dibuat, sumber cahaya, detektor cahaya, interface, dan komputer (PC) yang telah diinstal program Data Studio (PASCO) untuk akuisisi dan pengolahan data. Probe serat optik yang telah dibuat dihubungkan ke salah satu ujung bundel serat bifurkasi dengan adapter konektor SMA-SMA (lihat Gambar 2.21), sedangkan ujung lainnya dimana terdapat elemen sensing dibiarkan bebas.



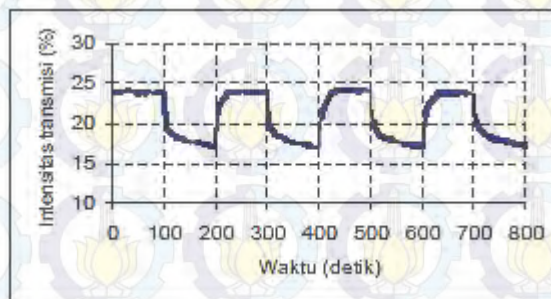
**Gambar 2.21** Set-up pengujian sensor serat optik

Prinsip kerja adalah berkas cahaya dari sumber dimasukkan melalui salah satu lengan bundel serat bifurkasi dan dipandu menuju bagian sensing, selanjutnya dipantulkan oleh reflektor di ujung probe kemudian dikembalikan ke lengan lain bundel fiber bifurkasi dimana terdapat detektor cahaya. Berkas cahaya yang dideteksi oleh sensor cahaya dikirim ke komputer melalui interface untuk diolah, proses ini berlangsung secara otomatis dengan menggunakan program (DataStudio) di dalam komputer. Data yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk kurva respon sensor serat optik. Kurva respon dalam bentuk siklus didapatkan dengan mengambil data secara kontinyu dengan mencelupkan dan menarik bagian sensing secara bergantian dan berulang ke dalam wadah uap HCl.

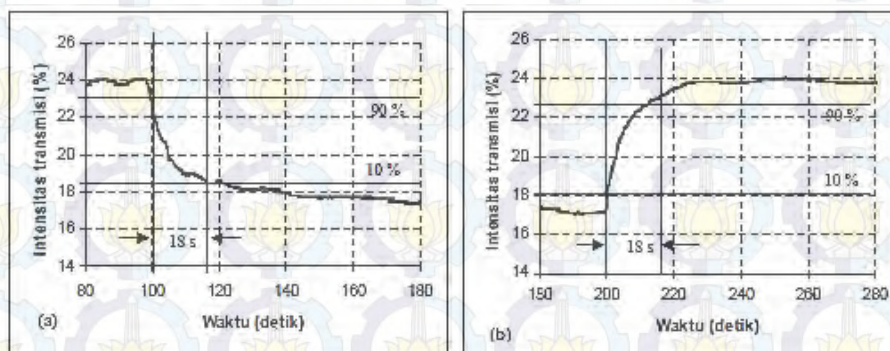
Karakterisasi respon sensor bertujuan untuk mengetahui waktu respons, waktu pemulihan (*recovery*), kemampuan pembalikan (*reversibility*) dan kemampuan pengulangan (*repeatability*). Kurva siklus yang diperoleh merupakan representasi dari perubahan sifat optik *cladding* polianilin ketika berinteraksi dengan uap HCl, dalam hal ini indeks bias dan absorbansi meningkat ketika diberi perlakuan uap HCl akibat terjadinya protonasi tambahan dan kembali ke kondisi protonasi awal ketika dibebaskan dari uap HCl. Implikasinya adalah absorpsi gelombang evanescent pada batas *cladding*-inti serat optik meningkat saat dimasukkan ke dalam wadah uap akibat kenaikan nilai indeks bias *cladding* polianilin, sehingga intensitas cahaya yang dilewatkan melalui sistem sensor serat

optik jatuh (drop). Sebaliknya, ketika probe dikeluarkan dari wadah uap indeks bias dan absorbansi *cladding* polianilin kembali pulih (*recovery*) ke nilai yang sama sebelum dimasukkan ke dalam wadah uap, akibatnya intensitas transmisi meningkat cepat menuju nilai stasioner awal, seperti ditunjukkan pada kurva siklus respon (Gambar 2.22).

Penentuan waktu respon dan waktu pemulihan (*recovery*) digunakan kurva rinci bagian respon dan *recovery* pada kurva respon. Caranya dengan menentukan waktu yang dibutuhkan dalam penurunan intensitas transmisi hingga 90 % dihitung dari 10% awal (Gambar 2.23a). Sedangkan waktu pemulihan (*recovery time*) ditentukan dari waktu yang dibutuhkan probe sensor untuk pulih kembali ke nilai stasioner awal hingga 90% intensitas transmisi dari intensitas transmisi terendah (Gambar 2.23b). Berdasarkan kurva rinci bagian respon dan *recovery* diperoleh waktu respon dan waktu *recovery* yang cukup singkat yaitu sekitar 18 detik. Waktu yang singkat ini menyatakan probe sensor serat optik yang dirancang ini memiliki respon yang cepat demikian juga sebaliknya memiliki pemulihan yang sama cepatnya.



**Gambar 2.22** Kurva respon uap HCl



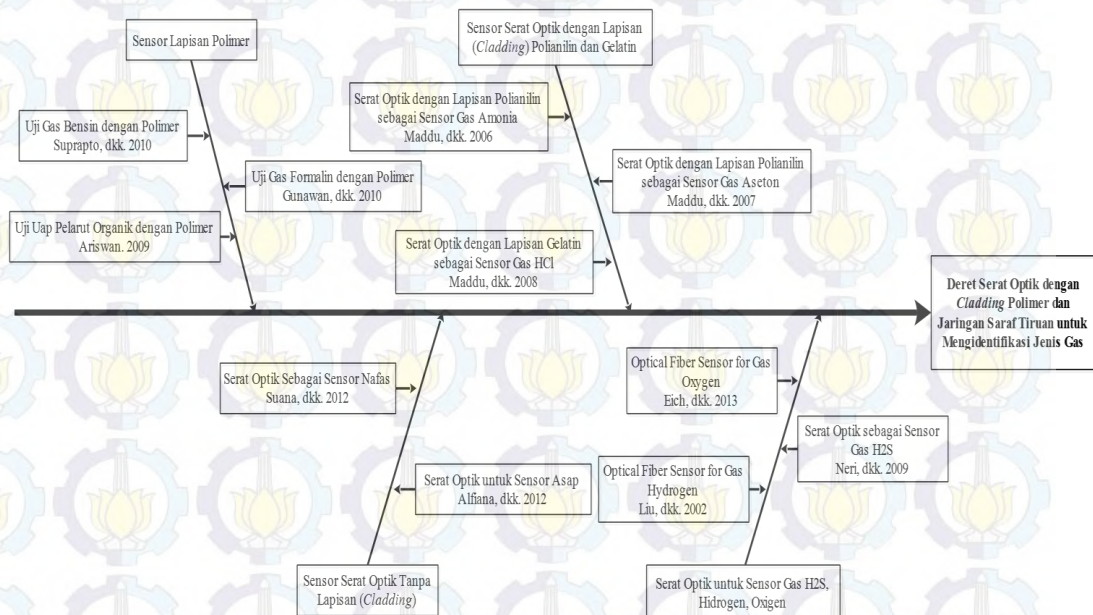
**Gambar 2.23** Kurva waktu respon dan waktu pemulihan (*recovery*)

## 2.7 Fishbone Diagram Penelitian

*Fishbone diagram* digunakan untuk mengidentifikasi berbagai sebab potensial dari suatu masalah penelitian atau aspek-aspek dari masalah penelitian. Penyebab potensial dari suatu masalah didalam penelitian kemudian dianalisis untuk mendapatkan pemecahan masalah. Permasalahan akan dipecah menjadi beberapa kategori yang berkaitan, diantaranya mencakup manusia, material, mesin, prosedur, kebijakan, dan lain-lain.

*Fishbone diagram* pada Gambar 2.24 mempunyai empat tema utama. Diantaranya penggunaan lapisan polimer digunakan untuk mendeteksi uap atau gas. Penelitian serat optik sebagai sensor nafas dan sensor asap tanpa *cladding* pengganti. Penelitian serat optik dengan *cladding* polianilin dan gelatin untuk mendeteksi gas amonia, aseton, dan HCl. Serta penelitian yang menggunakan serat optik sebagai sensor gas hidrogen, oksigen dan H<sub>2</sub>S.

Dari berbagai penelitian dan jurnal yang telah dikaji, sehingga diperoleh suatu permasalahan yang akan dilakukan penelitian. Penelitian akan menggunakan deret serat optik (*array*) dengan menggunakan lapisan (*cladding*) polimer berbeda dan menggunakan jaringan saraf tiruan untuk mengidentifikasi jenis gas. Pada tahap awal penelitian, akan digunakan gas-gas dari pelarut organik.



Gambar 2.24 Fishbone diagram penelitian

## 2.8 Serat Optik

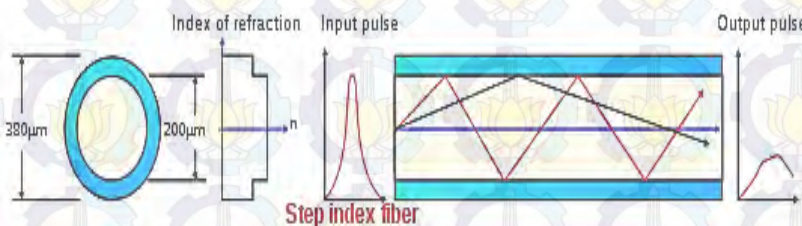
Serat optik merupakan media transmisi data (pemindah informasi) berbentuk silinder yang menggunakan pandu gelombang cahaya. Serat optik adalah sejenis kabel yang terbuat dari kaca atau plastik berukuran sangat halus atau lebih kecil dari sehelai rambut manusia. Sumber cahaya yang digunakan untuk transmisi data disesuaikan dengan sistem yang akan dirancang, dapat menggunakan laser atau LED.

Serat optik terdiri atas inti (*core*), kulit (*cladding*), pelindung atau jaket (*coating*). Serat optik terdiri dari dua bagian utama, yaitu *cladding* dan *core*. *Cladding* merupakan selubung untuk melindungi *core* serat optik. *Core* adalah sebuah batang silinder yang berfungsi untuk menyalurkan cahaya dari satu ujung ke ujung lain dimana indeks bias *core* selalu lebih besar dari pada indeks bias *cladding*, hubungan indeks bias *core* dan *cladding* akan mempengaruhi perambatan cahaya didalam *core*. *Coating* berfungsi sebagai pelindung mekanik serat optik dari kerusakan. Struktur serat optik dapat dilihat pada Gambar 2.25.

Serat optik *multimode step index* (Gambar 2.26) sangat baik untuk digunakan dalam penelitian, karena berkas cahaya menyebar. Serat optik *multimode step index* diharapkan dapat meningkatkan kinerja pada saat transmisi, namun pada kenyataan pelemahan (*dispersi*) saat transmisi tetap tinggi, sehingga hanya baik digunakan transmisi dengan kecepatan rendah dan jarak relatif dekat (Keiser, 2000).



Gambar 2.25 Struktur dasar serat optik



Gambar 2.26 Serat Optik *Multimode Step Index*

### 2.8.1 Perambatan Cahaya Serat Optik

Propagasi cahaya pada serat optik terjadi karena pemantulan internal cahaya yang diakibatkan perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding*. Menurut hukum Snellius, seberkas cahaya datang dari medium dengan indeks bias yang rapat ( $n_1$ ) menuju ke medium dengan indeks bias yang kurang rapat ( $n_2$ ), maka cahaya akan dibiaskan menjauhi garis normal bidang batas kedua bahan tersebut.

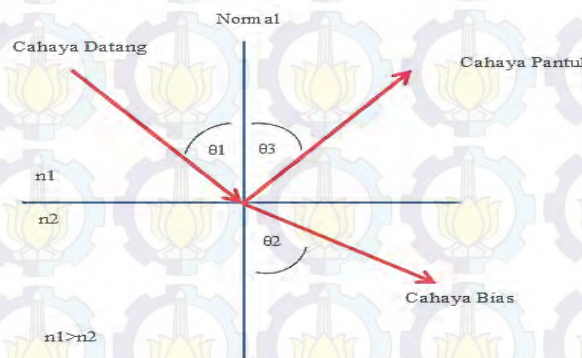
Pada Gambar 2.27, tampak bahwa sebagian sinar yang datang dipantulkan dengan sudut yang sama besar dengan  $\theta_1$ , dan sebagian lagi dibiaskan menjauhi garis normal dengan sudut  $\theta_2$ , berlaku hubungan,

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.1)$$

Jika sudut datang  $\theta_1$  diperbesar maka sinar bias akan semakin menjauhi garis normal. Dengan memvariasi sudut  $\theta_3$  dari  $0^\circ$  hingga  $90^\circ$ , maka jika keadaan pada  $\theta_3 = 90^\circ$  dinamakan sudut kritis. Hal ini berarti bila sudut datang sama dengan sudut kritis sebagai fungsi indeks bias dapat diperoleh dengan menurunkan rumus Snellius sebagai berikut,

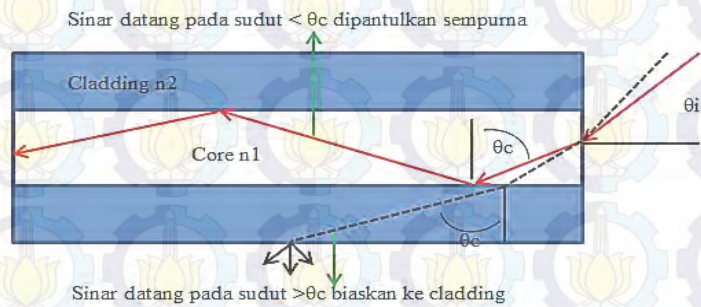
$$\theta_c = \theta_{kritis} = \text{arc sin} \frac{n_2}{n_1}. \quad (2.2)$$

Perhatikan Gambar 2.28, pada kondisi  $\theta_i \leq \theta_c$  tidak ada gelombang yang merambat pada selubung, oleh karena itu gelombang cahaya dikatakan mengalami pemantulan dalam total inti serat optik. Pemantulan dalam terjadi jika sudut datang lebih besar dari pada sudut kritis dan bertujuan agar penjalaran cahaya sepanjang serat optik seluruhnya akan dipandu di dalam inti.



Gambar 2.27 Peristiwa pemantulan dan pembiasan cahaya



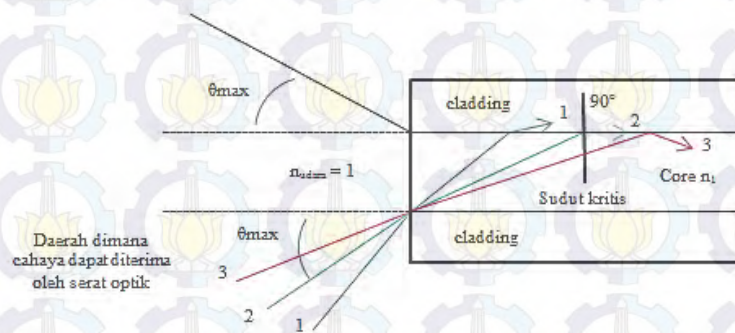


**Gambar 2.28** Pemantulan internal total

### 2.8.2 Numerical Aperture Serat Optik

*Numerical Aperture* (NA) adalah ukuran kemampuan sebuah serat optik untuk menangkap cahaya. NA adalah parameter yang harganya tergantung pada indeks bias *core* dan *cladding* serat optik. Cahaya yang melewati *core* serat optik membentuk sudut datang tertentu sepanjang poros *core*. Sudut yang menuju ke arah inti tidak semua dapat dipantulkan, namun ada beberapa cahaya dengan sudut tertentu saja yang dapat diteruskan.

Gambar 2.29 menunjukkan adanya sudut  $\theta_{max}$  yang merupakan batas agar sinar dapat melewati serat optik, sudut ini disebut *numerical aperture*. Cahaya tidak dapat melewati serat optik jika sudutnya lebih besar dari  $\theta_{max}$ . Cahaya dapat masuk kedalam *core* serat optik, kemudian akan diserap oleh *cladding*. Sedangkan semua cahaya dengan sudut datang kurang dari  $\theta_{max}$  dapat melewati sepanjang poros *core* serat optik, cahaya akan mengalami pemantulan internal total sehingga menyebabkan cahaya tetap berada didalam inti serat optik.



**Gambar 2.29** Sudut *numerical aperture*

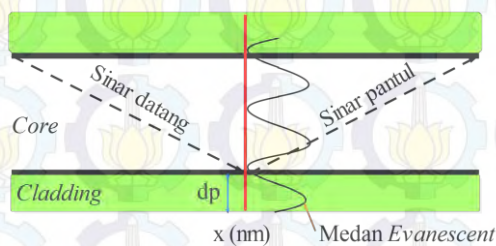
Besarnya nilai *numerical aperture* (NA) berdasarkan hukum Snellius ditentukan dengan persamaan berikut (Mitschke, 2009),

$$NA = n \sin \theta_{max} = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (2.3)$$

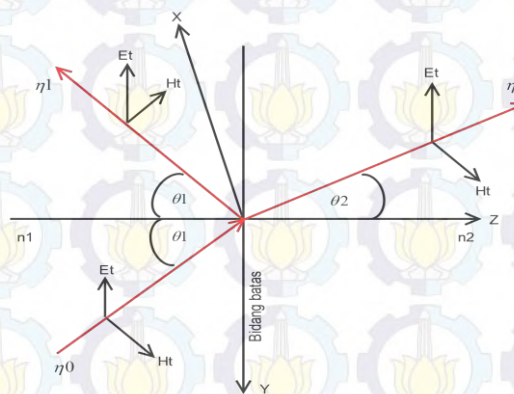
dimana NA adalah nilai *numerical aperture*,  $n_2$  adalah indek bias cladding,  $n_1$  adalah indeks bias core,  $n$  adalah indeks bias udara = 1,  $\theta_{max}$  adalah sudut masukan maksimal. Dimana  $n$  adalah indeks bias udara=1, maka nilai  $n$  dapat dihilangkan. Dari Persamaan 2.3, terlihat bahwa NA dan  $\theta_{max}$  tidak tergantung kepada ukuran (dimensi) serat optik.

## 2.9 Prinsip Sensor Serat Optik

Prinsip sensor serat optik didasarkan pada serapan gelombang optik pada *cladding* yang disebut gelombang *evanescent* (Maddu, 2006). Perubahan sifat serapan optik atau nilai indeks bias *cladding* saat berinteraksi dengan media yang diindera, akan mempengaruhi besarnya intensitas cahaya yang diserap oleh *cladding*, sehingga dapat menentukan intensitas gelombang optik yang ditransmisikan di dalam inti serat optik.



**Gambar 2.30** Medan *Evanescent* pada batas *core - cladding*



**Gambar 2.31** Konfigurasi medan gelombang terpolarisasi tegak lurus

### 2.9.1 Medan *Evanescent*

Gelombang *evanescent* didefinisikan sebagai besarnya gelombang bias yang hilang secara eksponensial pada jarak tertentu dari permukaan serat optik seperti diperlihatkan pada Gambar 2.30. Ketika cahaya dipandu oleh *cladding* di dalam serat optik, radiasi yang merambat pada jarak pendek akan dipandu menuju ke medium yang memiliki indeks bias yang lebih rendah dari daerah disekitarnya. Daerah tersebut adalah daerah medan *evanescent*. Energi *evanescent* berhubungan dengan analisis bahwa berkurangnya energi tersebut dikarenakan adanya perubahan indeks biasnya, terjadi penyerapan atau penyebaran (Sheeba dkk, 2005).

### 2.9.2 *Penetration depth*

Meninjau gelombang bidang terpolarisasi tegak lurus pada bidang dielektrik pada sudut  $\theta_i$  relatif terhadap bidang batas. Pada Gambar 2.31 intensitas gelombang transmisi ( $E_t$ ) pada penjalaran sinar pada serat optik dapat dituliskan dengan Persamaan 2.4.

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp[-jk(y \sin \theta_t - z \cos \theta_t)] \quad (2.4)$$

dengan

$$\cos \theta_t = \left(1 - \left[\frac{n_1^2}{n_2^2}\right] \sin^2 \theta_i\right)^{\frac{1}{2}}$$

dan

$$\cos \theta_i = \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \sin \theta_i$$

sehingga Persamaan 2.4 menjadi Persamaan 2.5.

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp \left[ -jk_2 \left( y \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \sin \theta_i - z \sqrt{1 - \left( \frac{n_1^2}{n_2^2} \right) \sin^2 \theta_i} \right) \right] \quad (2.5)$$

Ketika  $\theta_i = \theta_c$ , maka  $\sin \theta_i = \frac{n_2}{n_1}$  dan  $\cos \theta_i = \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2} = 0$

persamaan 2.15 menjadi Persamaan 2.6.

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp \left[ -jk_2 \left\{ y \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \right\} - 0 \right] \quad (2.6)$$

sehingga dapat disederhanakan menjadi Persamaan 2.7.

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp[-jk_2 y] \quad (2.7)$$

Ponting vektor untuk gelombang transmisi didefinisikan dengan Persamaan 2.8,

$$\langle \vec{s}_t \rangle = R_e \left( \frac{n_2}{2\eta_0} |E_0|^2 \vec{\ell}_t \right) \quad (2.8)$$

dimana  $\vec{\ell}_t = \sin \theta_t \vec{\alpha}_x - \cos \theta_t \vec{\alpha}_z$ , dengan  $\sin \theta_t = 1$  dan  $\cos \theta_t = 0$ .

Ketika :  $\sin^2 \theta_i > \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2$ , maka  $\left[ 1 - \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \sin^2 \theta_i \right]^{1/2}$  menjadi imajiner sehingga menjadi Persamaan 2.9,

$$\sqrt{1 - \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \sin^2 \theta_i} = -j \sqrt{\left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \sin^2 \theta_i - 1} \quad (2.9)$$

Persamaan 2.5 untuk kasus  $\theta_i > \theta_c$  dapat ditulis,

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp \left[ -jk_2 \left\{ y \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \sin \theta_i - \left( z \left( -j \sqrt{\left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \sin^2 \theta_i} \right) \right) \right\} \right]$$

sehingga menjadi Persamaan 2.10.

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp[\alpha z] \exp[-j\beta y] \quad (2.10)$$

Dengan  $\beta = k_2 \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \sin \theta_i$  dan  $\alpha = k_2 \sqrt{\left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \sin^2 \theta_i - 1}$

Bagian real dari persamaan 2.10 adalah  $\vec{E} = \vec{E}_0 \exp[\alpha z]$  dimana  $\alpha$  adalah attenuasi yang disebabkan oleh serat yang telah dikupas sehingga menyebabkan

terjadinya medan *evanescent*, sehingga menjadi Persamaan 2.11.

$$\begin{aligned}\alpha &= k_2 \sqrt{\frac{n_1^2 \sin^2 \theta_i - n_2^2}{n_2^2}} \\ &= \frac{k_2}{n_2} \sqrt{n_1^2 \sin^2 \theta_i - n_2^2} \\ \alpha &= k_0 n_1 \sqrt{\sin^2 \theta_i - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}\end{aligned}\quad (2.11)$$

Jika  $\alpha$  didefinisikan sebagai  $-\frac{1}{d_p}$  dimana  $d_p$  adalah *penetration deep* dari serat optik maka dapat ditulis menjadi Persamaan 2.12,

$$d_p = \frac{1}{k_0 n_1 \sqrt{\sin^2 \theta_i - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}} \quad (2.12)$$

dimana  $k_2 = \frac{2\pi}{\lambda}$  dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang pada ruang hampa, sehingga menjadi Persamaan 2.13,

$$d_p = \frac{\lambda}{2\pi n_1 \sqrt{\sin^2 \theta_i - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}} \quad (2.13)$$

Persamaan 2.13 dapat ditulis menjadi Persamaan 2.14.

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp\left[\frac{-z}{d_p}\right] \quad (2.14)$$

Dari persamaan 2.14 dapat disimpulkan bahwa pada serat optik yang dikupas sebagian selubungnya sepanjang  $z$ , amplitudo  $E(z)$  dari medan *evanescent* akan menurun secara eksponensial dengan jarak  $z$  dari permukaan antara *core-cladding*. *Penetration deep* dideskripsikan sebagai jarak dari permukaan dimana intensitas dari medan *evanescent* telah berkurang sebesar  $1/exp$  dari intensitas awalnya  $E_0$  yang didefinisikan dalam Persamaan 2.13. Terlihat bahwa  $d_p$  meningkat seiring dengan meningkatnya indeks bias selubung, indikasi meningkatnya medan listrik yang datang dalam medium selubung akan menyerap medan listrik didalam inti (Sheeba dkk, 2005).

### 2.9.3 Suhu dan Kelembaban Serat Optik

Suhu mempengaruhi dimensi serat optik, dimana serat optik akan mengalami perubahan dimensi jika mengalami perubahan suhu. Serat optik akan mengalami pemuaian jika suhunya naik dan mengalami penyusutan jika suhunya turun. Pemuaian pada zat padat dinyatakan sebagai Persamaan 2.15 (Franden, 2006),

$$L_T = L_0 + \alpha L_0 \Delta T \quad (2.15)$$

dimana  $L_T$  adalah panjang akhir (m),  $L_0$  adalah panjang Awal (m),  $\alpha$  adalah koefisiensi ekspansi termal zat ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $\Delta T$  adalah perubahan suhu zat ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Sesuai dengan persamaan, serat optik jika mengalami perubahan suhu akan mengalami perubahan dimensi jari-jari dan juga panjangnya. Selain memiliki koefisiensi ekspansi termal, serat optik juga memiliki koefisiensi termal optik (*thermo optic coefficient*). Koefisien termal optik merupakan faktor yang mempengaruhi perubahan indeks bias jika mengalami perubahan suhu. Perubahan indeks bias *core* dan *cladding* serat optik dinyatakan dengan Persamaan 2.16 (Hatta, 2010),

$$n_{(1,2)T} = n_{(1,2)0} + \xi n_{(1,2)0} \Delta T \quad (2.16)$$

dengan  $n_{(1,2)T}$  adalah indeks bias *cladding-core* setelah mengalami perubahan suhu,  $n_{(1,2)0}$  indeks bias awal *core* dan *cladding* serat optik,  $\xi$  adalah koefisien termo optik, dan  $\Delta T$  adalah perubahan suhu.

Kelembaban adalah jumlah air yang terkandung dalam suatu zat melalui proses absorpsi atau adsorpsi, yang mana air tersebut dapat dipisahkan kembali tanpa merubah sifat-sifat kimia zat. Kelembaban dapat dibedakan menjadi dua, kelembaban mutlak dan kelembaban relatif. Kelembaban mutlak merupakan konsentrasi atau rapat massa uap air, dirumuskan pada Persamaan 2.17 (Franden, 2006),

$$d_w = \frac{m}{v} \quad (2.17)$$

dimana  $d_w$  adalah kelembaban mutlak, M adalah massa uap air, V adalah volume udara. Banyaknya molekul diudara dapat berubah-ubah dan diwujudkan ke bentuk fisis tekanan uap air dalam udara. Kelembaban maksimum yang terjaga adalah tekanan uap air diudara yang mengalami kejenuhan. Tingkat kejenuhan sangat dipengaruhi oleh temperatur.

## 2.10 Gas atau Uap

Gas adalah suatu zat yang mempunyai bentuk dan volume yang berubah-ubah (tidak tetap). Hal ini disebabkan karena molekul-molekul penyusun gas tidak teratur sehingga gaya tarik menarik antar molekulnya sangat lemah. Gas terdiri dari partikel-partikel kecil yang disebut molekul atau atom dengan jumlah yang sangat banyak.

### 2.10.1 Sifat-sifat Gas

Berikut ini adalah beberapa sifat atau ciri-ciri dari gas (Petrucci dan Suminar, 1987), yaitu:

1. Semua gas bersifat memuai dan akan memenuhi ruangan, sehingga gas akan membentuk menyerupai tempatnya berada.
2. Semua zat yang bersifat gas dapat bercampur dengan sesamanya dalam segala perbandingan (campuran gas bersifat homogen).
3. Semua gas tidak dapat dilihat.
4. Beberapa gas berwarna, seperti: gas klor berwarna kuning kehijauan, brom berwarna merah kecoklatan, dan iod berwarna ungu.
5. Ada gas yang mudah meledak, seperti hidrogen.
6. Ada gas yang bersifat lembab, seperti helium dan neon.

### 2.10.2 Persamaan Gas Ideal

Rumus persamaan gas ideal diperoleh dari hukum Boyle dan hukum Gay-Lussac yang sering disebut dengan hukum **Boyle – Gay Lussac** yang berkaitan dengan tekanan, volume, dan suhu gas.

Robert Boyle pada tahun 1662 mengemukakan teori bahwa “tekanan gas berbanding terbalik dengan volume gas pada suhu yang sama”. Secara matematis, dapat dirumuskan seperti pada Persamaan 2.18,

$$P \cdot V = a \quad (2.18)$$

Persamaan 2.18 menunjukkan bahwa jika tekanan (P) dikalikan dengan volume gas (V) pada suhu yang tetap, maka akan menghasilkan suatu konstanta (a). Jika tekanan gasnya besar, maka volume gas akan kecil. Sebaliknya, jika tekanan gasnya kecil, maka volume gas akan besar.

Sedangkan Gay-Lussac mengemukakan teori bahwa “volume gas berbanding lurus dengan suhu gas pada tekanan yang sama”. Secara matematis, dapat dirumuskan seperti pada Persamaan 2.19,

$$\frac{V}{T} = a \quad \text{atau} \quad V_1 \cdot T_1 = V_2 \cdot T_2 \quad (2.19)$$

Persamaan 2.19 menunjukkan bahwa jika volume (V) dikalikan dengan suhu gas (T) pada tekanan yang tetap, maka akan menghasilkan suatu konstanta (a). Jika volume gasnya besar, maka suhu gas akan kecil. Sebaliknya, jika volume gasnya kecil, maka suhu gas akan besar.

Hukum Boyle – Gay Lussac adalah gabungan dari hukum Boyle dan Gay Lussac, sehingga menjadi Persamaan 2.20,

$$P \cdot V = N \cdot k \cdot T \quad (2.20)$$

dimana N adalah jumlah partikel gas, k adalah Konstanta Boltzman ( $1.38 \times 10^{-23}$  joule/°K), T adalah suhu mutlak dimana  $T(k) = t(^{\circ}C) + 273.15^{\circ}$  (maksudnya adalah volume gas pada tekanan konstan adalah berbanding langsung dengan suhu mutlak).

Persamaan 2.20 sering juga ditulisa seperti Persamaan 2.21,

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (2.21)$$



dimana, P adalah tekanan mutlak gas ideal ( $N/m^2$ ), V adalah Volume gas ( $m^3$ ), T adalah suhu mutlak gas ( $^{\circ}K$ ), n adalah jumlah molekul gas (mol), dan R adalah konstanta gas (mol).

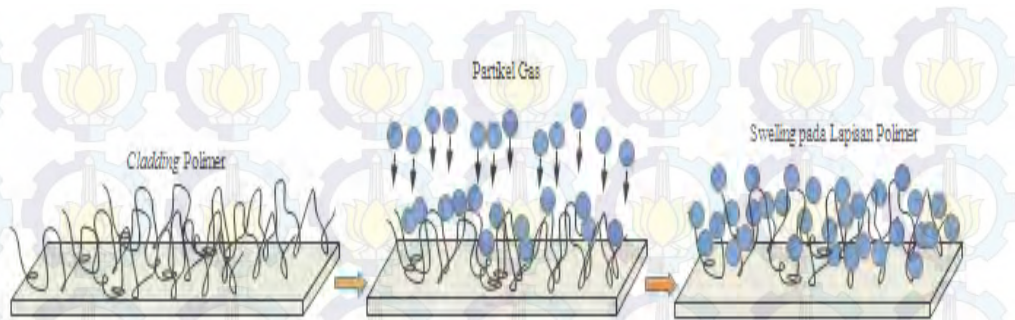
### 2.11 Polimer sebagai Pengganti *Cladding* Serat Optik

Pada aplikasinya, polimer berfungsi untuk mengendalikan selektivitas kimiawi bahan yang diuji, karena materi yang terkandung dalam penginderaan dapat menyerap gas. Polimer non-polar cenderung berinteraksi secara kuat dengan gas pelarut organik non-polar, dan polimer polar cenderung berinteraksi dengan gas pelarut organik polar. Setiap jenis gas dapat memberikan gambaran yang khusus berupa pola interaksi. Pola yang dihasilkan ketika berinteraksi dengan gas adalah tanggapan dari setiap materi penyusunnya.

Tabel 2.1 merupakan jenis-jenis bahan polimer yang akan digunakan sebagai *cladding* pengganti pada serat optik. Setiap jenis polimer mempunyai konstanta yang berbeda, konstanta Mc Reynolds menunjukkan ada tiga golongan, yaitu Non-Polar, Mid-Polar, dan polar. Gambar 2.32 adalah proses pembekakan pada polimer disebabkan oleh pengaruh suhu dan kelembaban. Partikel uap air membuat polimer mengalami *swelling* sehingga mempengaruhi indeks bias pada *cladding*.

**Tabel 2.1** Jenis-jenis bahan polimer yang digunakan untuk melapisi serat optik

| No | GC Stationary Phase                        | Konstanta Mc Reynolds |
|----|--|-----------------------|
| 1  | Apiezon M                                  | Non-Polar             |
| 2  | Squalane                                   | Non-Polar             |
| 3  | Dimethylpolysiloxane Oil (Silicone OV-101) | 229 Non-Polar         |
| 4  | Phenyl Methyl-dimethylpolysiloxane         | 884 Mid-Polar         |
| 5  | 75% Phenyl Methyl Silicone                 | Mid-Polar             |
| 6  | Dicyano Ally Silicone (OV-275)             | Polar                 |
| 7  | Polyethylene Glycol (PEG 20M)              | Polar                 |



**Gambar 2.32** Proses pembekakan (*swelling*) pada polimer

Prinsip perubahan struktur polimer apabila terkena partikel-partikel air yaitu proses pembengkakan (*swelling*) pada permukaannya, terjadi tanpa melarutkan dan pada suhu kamar (Mathew, 2007). Hubungan antara indeks bias dari polimer yang terjadi pembengkakan dengan kelembaban diperoleh dari hubungan Lorenz sebagai Persamaan 2.22,

$$\frac{dn}{dH} = \frac{(n^2+2)^2}{6n} k_m S \left(1 - \frac{f}{f_c}\right) \quad (2.22)$$

dengan  $k_m$  adalah tingkat bias molar yang dibagi dengan berat molekul air,  $S$  adalah kelembababn terlarut dari polimer,  $F$  adalah fraksi dari kelembabababn yang diserap dan dapat memberikan konstribusi pada peningkatan volume polimer,  $f_c$  dimana  $k_m \rho_m \frac{n_p^2+2}{n_p^2-1}$ , dengan  $n_p$  adalah indeks bias polimer tanpa kelembaban,  $\rho_m$  adalah massa jenis air,  $dn$  adalah indek bias polimer saat pembekakan,  $dH$  adalah ikatan hidrogen (uap air).

## 2.12 Cahaya

Medan elektrik dan magnetik yang berfluktuasi bersama dapat membentuk gelombang terpropagasi, yang sering dinamakan sebagai gelombang elektromagnetik, atau yang biasa disebut cahaya. Perubahan medan magnetik dapat menghasilkan medan elektrik karena kebanyakan benda dialam seimbang. Perubahan ini akan menghasilkan perubahan medan megnetik yang lain. Gelombang hasil perubahan medan ini dapat juga menghasilkan sinar UV, sinar X, dan sinar Gamma (Adi, 2013).

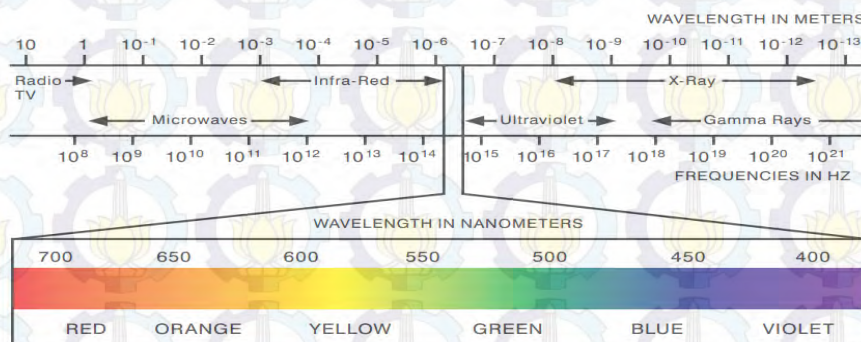
Sebuah gelombang elektromagnetik memiliki frekuensi, kecepatan, dan panjang gelombang yang dikaitkan dengan Persamaan 2.23,

$$v = f \times \lambda \quad (2.23)$$

dimana  $v$  adalah kecepatan gelombang cahaya,  $f$  adalah frekuensi gelombang, dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang. Pada ruang hampa udara, kecepatan gelombang akan sama dengan kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s), jadi akan menjadi Persamaan 2.24.

$$c = f \times \lambda \quad (2.24)$$

Gambar 2.33 adalah spektrum gelombang cahaya. Mata manusia hanya dapat melihat cahaya pada panjang gelombang 380nm sampai 750nm, merupakan cahaya tampak (*visible light*). Cahaya dengan panjang gelombang diatas *visible light* diantaranya *infra-red* atau dibawah *visible light* diantaranya *Ultraviolet*. Apabila panjang gelombang cahaya menjauhi panjang gelombang *visible light*, maka panjang gelombang cahaya tersebut tidak terlihat oleh mata.



Gambar 2.33 Spektrum gelombang cahaya

Tabel 2.2 Hubungan antara cahaya tampak, frekuensi, dan panjang gelombang

| Warna  | Frekuensi   | Panjang Gelombang |
|--------|-------------|-------------------|
| Violet | 668-789 THz | 380-450 nm        |
| Blue   | 606-668 THz | 450-495 nm        |
| Green  | 526-606 THz | 495-570 nm        |
| Yellow | 508-526 THz | 570-590 nm        |
| Orange | 484-508 THz | 590-620 nm        |
| Red    | 400-484 THz | 620-750 nm        |

Tabel 2.2 mendeskripsikan *frequency* dan *wavelegh* pada cahaya tampak. Warna violet pada spektrum cahaya tampak memiliki panjang gelombang terpendek dan memiliki *frequency* paling tinggi. Sedangkan warna merah memiliki panjang gelombang terpanjang dan memiliki *frequency* paling rendah.

### 2.13 LED (*Light Emitting Diode*)

LED adalah sebuah sumber cahaya semikonduktor yang memiliki banyak panjang gelombang. Panjang gelombang cahaya dan emisi dari LED tergantung bahan LED dan energi gap pada material yang membentuk p-n junction. Proses emisi dari LED disebut *inverse photo electric effect* (Zheludev, 2007). Untuk mendapatkan emisi cahaya pada semikonduktor, doping yang digunakan adalah Galium Arsenida (GaAs), Galium Arsenida Phospida (GaAsP), dan Galium Phospida (GaP). Bahan GaAs menghasilkan cahaya infra merah, bahan GaAsP menghasilkan cahaya merah atau kuning, dan bahan GaP menghasilkan cahaya merah atau hijau. Dalam memilih LED selain warna, perlu diperhatikan tegangan kerja, arus maksimum dan disipasi dayanya.

LED mempunyai pita energi yang berhubungan dengan pancaran cahaya adalah pita energi valensi dan pita energi konduksi. Apabila elektron pada pita valensi mendapatkan energi maka akan tereksitasi ke pita konduksi sehingga tempat yang ditinggalkan elektron disebut *hole* bermuatan positif. Elektron pada pita konduksi dapat turun kembali ke pita valensi mengisi *hole*, peristiwa ini disebut rekombinasi. Pada peristiwa rekombinasi akan dipancarkan cahaya bersesuaian dengan selisih kedua pita energi tersebut. Gambar 2.34 adalah proses perpindahan energi pada LED sehingga menghasilkan cahaya.

Panjang gelombang yang dipancarkan ( $\lambda$ ) bergantung dengan gap energi antara pita konduksi dan pita valensi, sehingga membentuk Persamaan 2.25,

$$\lambda = \frac{h.c}{E_g} \cong \frac{1.2398}{E_g(eV)} \mu m \quad (2.25)$$

dimana  $c$  adalah kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s),  $h$  adalah tetapan Planck ( $6.624 \times 10^{-34}$  J/S) dan  $E_g$  adalah energi gap antara pita konduksi dan pita valensi yang merupakan karakteristik dari material semikonduktor.

## 2.14 Fotodioda

*Fotodetector* berfungsi untuk mengubah besaran dari gelombang cahaya menjadi besaran listrik (Widodo, 1995). *Fotodetector* yang digunakan pada perancangan sistem ini adalah fotodioda. Fotodioda digunakan karena terbaik dalam melakukan identifikasi dan cepat dalam domain waktu (Adi, 2013). LED dan fotodioda merupakan pasangan penting dalam *spectroscopy* yang sederhana dan biaya rendah. Kedua komponen ini mampu bekerja pada frekwensi tinggi dan level sinyal rendah (Joseph dkk, 2007).

Kemampuan fotodioda untuk menambah arus bias sebagai hasil dari penambahan intensitas cahaya disebut sebagai responsivitas. Responsivitas dari fotodioda diukur dalam miliamper per miliwatt pada panjang gelombang tertentu. Fotodioda adalah dioda silikon *reverse-biassed PN junction* yang mengeluarkan aliran arus tergantung dari cahaya yang diradiasikan. Dioda ini memiliki respon terhadap beberapa panjang gelombang dalam rentang tertentu. Respon dari fotodioda tergolong cepat, sekitar 50ns atau kurang. Hal ini dikarenakan kapasitas yang dimiliki komponen sangat kecil (Tischler, 1992).

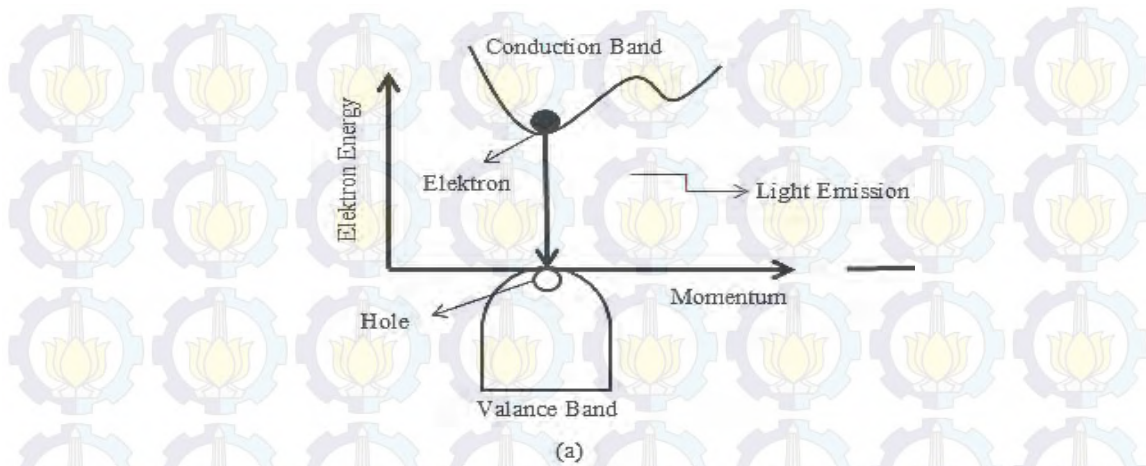
Panjang gelombang adalah penting karena akan menentukan material apa yang digunakan pada fotodioda. Respon spektral relatif untuk Germanium (Ge), Silikon (Si), dan Slenium ditunjukkan pada Gambar 2.35. Spektrum cahaya tampak juga dimasukkan dengan beberapa contoh warna.

Intensitas cahaya memiliki parameter fluks lumen per satuan luas. Fluks lumen diukur dalam satuan lumen (lm) atau watt. Kedua satuan tersebut memiliki hubungan sesuai Persamaan 2.26,

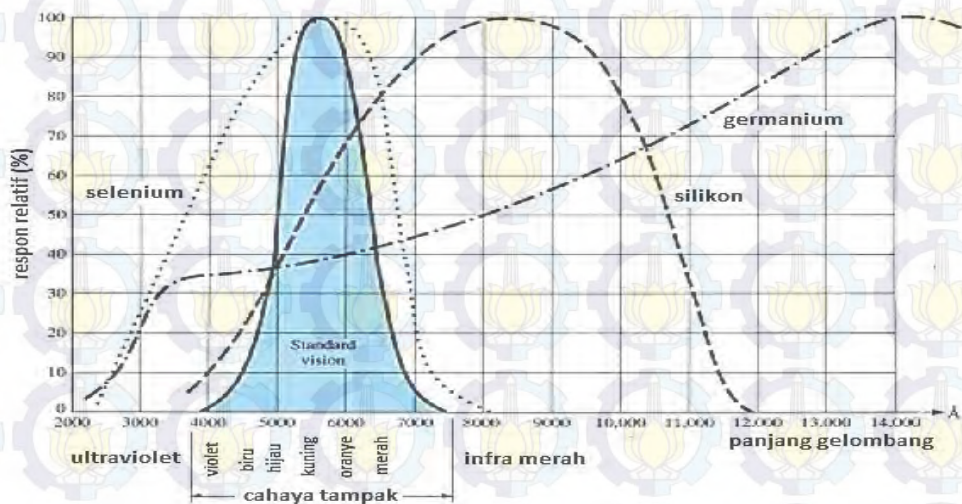
$$1lm = 1.496 \times 10^{-10}W \quad (2.26)$$

intensitas cahaya biasanya diukur dengan satuan  $lm/ft^2$ , footcanles, atau  $W/m^2$ , dimana satuan cahaya sesuai Persamaan 2.27.

$$\frac{1lm}{ft^2} = 1fc = 1.609 \times 10^{-9}W/m^2 \quad (2.27)$$



**Gambar 2.34** Prose perpindahan energi pada LED



**Gambar 2.35** Respon relatif untuk bahan silikon, germanium, dan selenium

### 2.15 Kontrol Suhu

Kontrol suhu ada beberapa jenis, salah satunya adalah kontrol Proportional, Integral dan Derivative (PID). Kontrol PID adalah mekanisme kontrol dengan loop umpan balik yang digunakan secara luas dalam sistem kontrol industri. Perhitungan pada kontroler PID terdiri dari tiga parameter yaitu nilai Proporsional, Integral dan Derivative. Nilai proporsional mempengaruhi reaksi pada *error* yang sedang berlangsung, integral mempengaruhi reaksi atas penjumlahan *error* terbaru sedangkan derivatif menentukan reaksi kecepatan perubahan *error*. Bobot penjumlahan dari tiga aksi ini digunakan untuk mengatur proses melalui elemen kontrol.

Salah satu metode untuk memudahkan tuning adalah metode Ziegler-Nichols yang diperkenalkan oleh John G. Ziegler dan Nathaniel B. Nichols. Pada metode ini yang pertama dilakukan adalah memberikan input step pada sistem dengan kondisi open loop. Kalau plant minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole-pole kompleks, maka reaksi sistem akan berbentuk S sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.36.

Setelah mendapatkan kurva reaksi berbentuk S, maka langkah selanjutnya adalah mencari gradien terbesar pada titik-titik sepanjang kurva S tersebut yang kemudian disebut titik infleksi sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.37. Dari titik infleksi tersebut ditarik garis yang menyinggung banyak titik pada kurva S serta memotong sumbu X dan garis K, sehingga akan dihasilkan dua konstanta yaitu konstanta L dan T. Konstanta L dan T ini akan digunakan untuk tuning PID sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.



**Gambar 2.36** Metode tuning Ziegler – Nichols 1



**Gambar 2.37** Reaksi sistem open loop ketika diberi input step

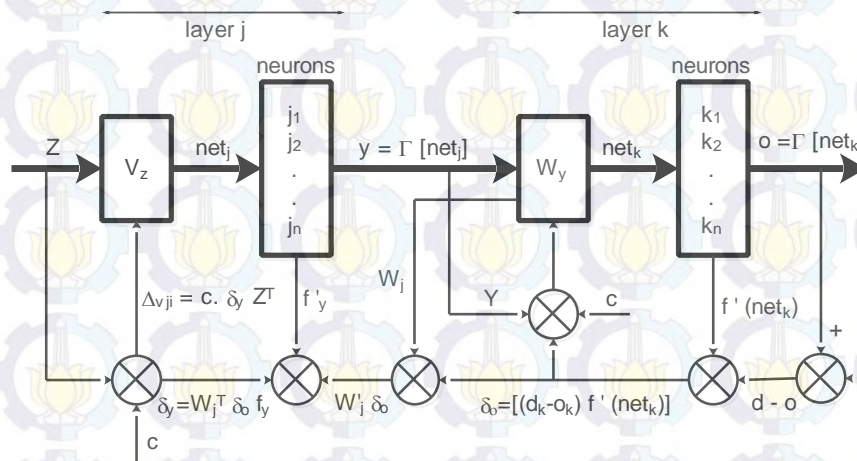
**Tabel 2.3** Tuning PID metode Ziegler-Nichols

| Metode Tuning Ziegler-Nichols |          |         |        |
|-------------------------------|----------|---------|--------|
| Tipe Kontrol                  | $K_p$    | $k_i$   | $K_d$  |
| P                             | $T/L$    | $\sim$  | -      |
| PI                            | $0.9T/L$ | $L/0.3$ | -      |
| PID                           | $1.2T/L$ | $2L$    | $0.5L$ |

### 2.16 Multilayer Perceptron Neural Network

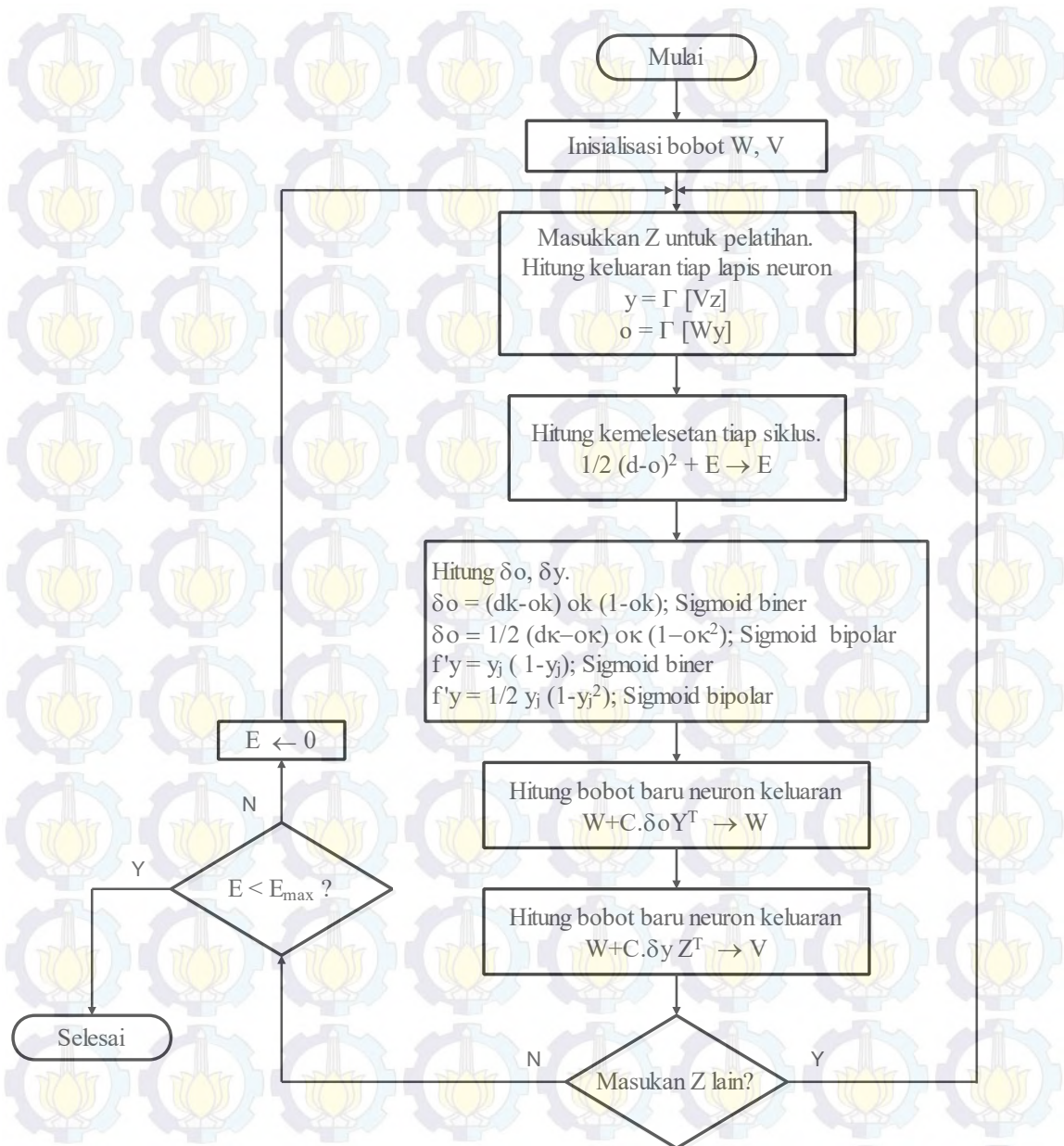
Jaringan saraf tiruan perceptron lapis banyak atau disebut *multilayer perceptron neural network*, yang mana salah satu algoritma pembelajaran disebut *error backpropagation training algorithm* atau algoritma pelatihan *error backpropagation*. Pada algoritma ini proses pembelajaran secara arah maju dan arah balik, apabila hasil tidak sesuai dengan target maka bobot diperbaharui selama proses siklus pembelajaran hingga tercapai nilai kemelesetan minimum yang diharapkan atau keluaran sama dengan target.

Gambar 2.38 adalah aliran data pelatihan *error backpropagation*.  $Z$  adalah argumen masukan,  $d$  adalah target,  $f$  adalah penghitung tahapan pembelajaran dalam tiap siklus,  $C$  adalah konstanta pembelajaran yang menentukan kelajuan proses pembelajaran,  $j$  adalah neurons lapisan tersembunyi,  $k$  adalah neurons lapisan tersembunyi, dan  $o$  adalah keluaran *neural network*. Selama proses pelatihan, arah umpan balik mempengaruhi perhitungan nilai bobot baru untuk lapisan neuron  $W$  dan lapisan neuron  $V$ . Hal yang perlu diperhatikan adalah fungsi aktivitas dapat menggunakan fungsi sigmoid bipolar atau sigmoid biner. Gambar 2.39 adalah bagan diagram pelatihan *error backpropagation*. Fungsi aktivasi perlu untuk diperhatikan, apakah menggunakan sigmoid bipolar atau sigmoid biner.



Gambar 2.38 Aliran data pelatihan *backpropagation*





**Gambar 2.39** Bagan diagram pelatihan *error backpropagation*

## BAB 3 METODE PENELITIAN

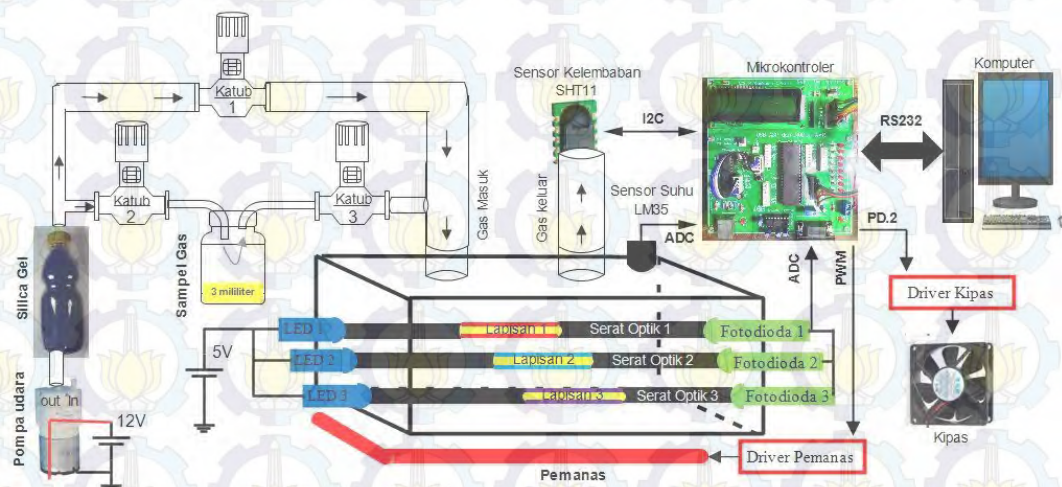
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai diagram blok sistem, perancangan dan pembuatan serat optik, perancangan dan pembuatan sistem sensor serat optik baik perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), prosedur pengambilan dan analisis data, dan proses identifikasi gas .

### 3.1 Diagram Blok Sistem

Perencanaan dan pembuatan sistem sangat diperlukan untuk dapat merealisasikan penelitian ini. Agar proses perencanaan dan pembuatan bisa dilakukan dengan mudah maka terlebih dahulu digambarkan melalui diagram blok sistem yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Prinsip kerja diagram blok sistem secara umum dijelaskan sebagai berikut:

1. Wadah sensor serat optik dibersihkan dengan silica gel melalui dorongan pompa udara.
2. Sampel gas didorong oleh pompa udara masuk ke dalam wadah sensor dengan rentang waktu yang ditentukan.
3. Sampel gas akan berinteraksi dengan lapisan polimer serat optik sehingga menghasilkan data tegangan, selanjutnya masuk ke komputer untuk dilakukan pengolahan data



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

Prinsip kerja secara detail yaitu udara yang berasal dari pompa udara yang berfungsi sebagai fasa gerak pada wadah sensor serat optik. Silika gel berfungsi untuk meminimalisir adanya kandungan uap air sehingga menjadi udara kering yang masuk ke wadah sensor serat optik. Kecepatan aliran udara dari pompa diatur sebesar 0.1 *liter per minute* (LPM). Pada diagram blok sistem terlihat tiga katub yang berfungsi untuk memasukkan sampel gas dan memasukkan udara kering dari silika gel.

Pada saat pertama kali memulai pengujian, wadah sensor dibersihkan terlebih dahulu dengan membuka katub 1 serta menutup katub 2 dan katub 3. Apabila wadah sensor telah bersih, selanjutnya mengalirkan sampel gas dengan cara membuka katub 2 dan katub 3 serta menutup katub 1, dan lamanya waktu untuk mengalirkan sampel gas sekitar 140 detik. Pada penelitian ini, wadah sensor diberi suhu bervariasi dari 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C. Pemberian suhu bervariasi dimaksudkan untuk mengetahui apakah sensor serat optik masih mampu merespon atau tidak. Sensor serat optik yang digunakan ada tiga dengan lapisan polimer Squalane, PEG 20M, dan Apiezone M. Respon dari setiap pengujian sensor serat optik terhadap sampel gas dan perbedaan suhu akan diolah dengan komputer..

### 3.2 Mekanik Sensor Serat Optik

Perancangan mekanik dilakukan dengan cara menggabungkan semua *hardware* yang digunakan selama proses pengujian gas dengan serat optik. *Hardware* terdiri dari mekanik utama dan mekanik pengatur aliran udara. Keseluruhan mekanik yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.

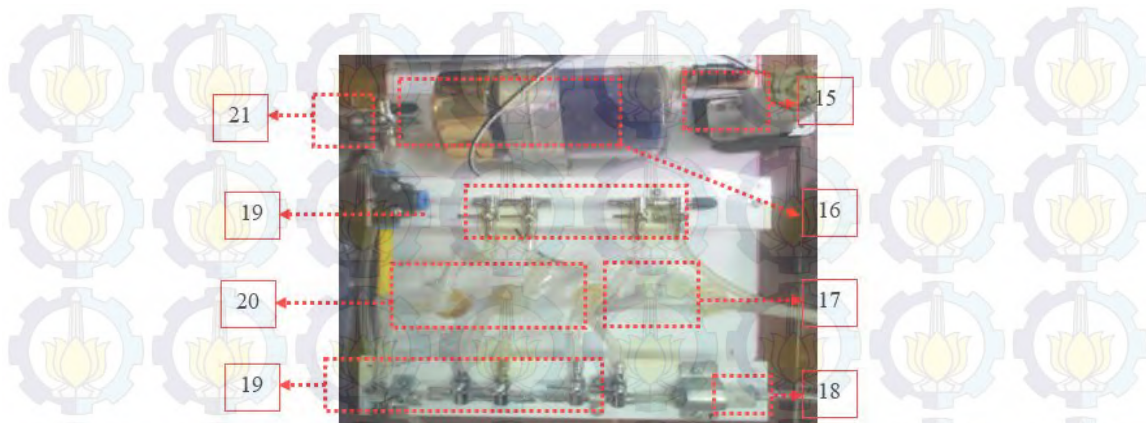
Keterangan Gambar 3.2 dan Gambar 3.3:

1. Fan dan driver fan, digunakan untuk mendinginkan wadah sensor jika melebihi panas yang diinginkan
2. Sensor SHT11 sebagai sensor kelembaban dan sensor LM35 sebagai sensor suhu
3. Sensor fotodiode dan rangkaian sensor, digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya selama pengujian dengan sampel gas

4. Penguat non inverting, digunakan untuk menguatkan sinyal dari fotodiode
5. ATmega16A, sebagai perangkat utama untuk menjalankan sistem
6. RS232, untuk mengirim dan menerima data dari mikrokontroler ke komputer
7. Driver heater, untuk mengendalikan pemanas
8. 2 buah trafo, digunakan untuk *supply* tegangan rangkaian dan *heater*
9. Trafo *Switching*, untuk *supply* tegangan kipas dan pompa udara
10. Rangkaian AC to DC converter (12 V, -12 V, 5 V)
11. DC to DC module display, untuk *supply* tegangan LED
12. Rangkaian LED
13. Rangkaian *heater*
14. Wadah sensor serat optik
15. Pompa udara
16. Silika gel
17. Air
18. Selang menuju wadah sensor
19. Keran untuk memilih sampel gas
20. Wadah sampel gas
21. Keran untuk mengatur tekanan aliran udara menjadi 0.1 LPM



Gambar 3.2 Mekanik utama tampak atas



**Gambar 3.3** Mekanik pengatur aliran udara tampak atas

### 3.3 Perancangan dan Pembuatan Sistem

Perancangan dan pembuatan sistem terdiri dari perancangan *hardware* yaitu: perancangan serat optik (ukuran serat optik, etsa kimia, dan pelapisan polimer), perancangan mekanik aliran udara (silika gel, pompa udara, wadah sampel gas), perancangan LED, fotodioda, penguat *non inverting*, perancangan kontrol suhu (sensor suhu, *driver* pemanas, dan kipas), perancangan sensor kelembaban, perancangan wadah sensor serat optik, perancangan sistem minimum mikrokontroler. Perancangan *software* terdiri dari perancangan pengenalan pola dengan *neural network*.

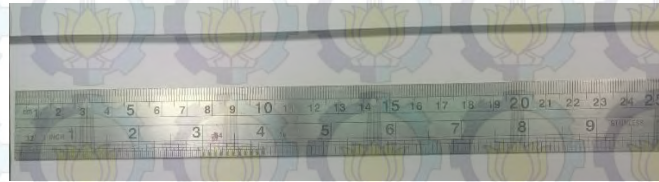
#### 3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Sensor Serat Optik

Perancangan dan pembuatan sensor serat optik terdiri dari perancangan ukuran serat optik, mulai dari ukuran panjang keseluruhan, panjang potongan jaket, ukuran *cladding* dan ukuran ujung-ujungnya. Perencanaan etsa kimia dengan acetone dan alkohol. Serta terakhir adalah melapisi *core* serat optik dengan lapisan polimer.

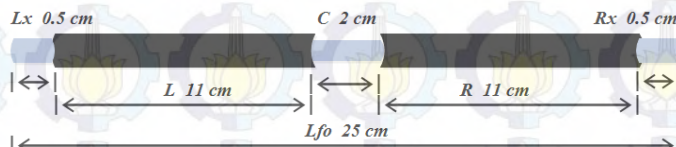
##### 3.3.1.1 Perancangan Ukuran Sensor Serat Optik

Panjang keseluruhan ( $L_{fo}$ ) serat optik yang dirancang dalam penelitian ini adalah 25 cm. Ukuran *cladding* yang digunakan ada dua, yaitu 2 cm dan 3 cm. dimana untuk *cladding* ( $c$ ) 2 cm panjang sisi kanan ( $R$ ) dan kiri ( $L$ ) adalah 11 cm, panjang kanan ( $R_x$ ) dan kiri ( $L_x$ ) masing-masing 0.5 cm. Sedangkan ( $c$ ) 3 cm panjang sisi

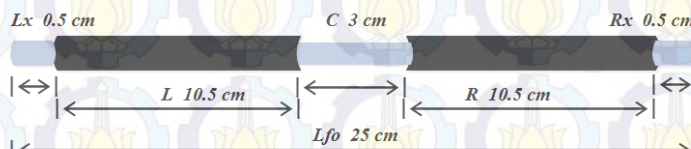
kanan ( $R$ ) dan kiri ( $L$ ) adalah 10.5 cm, panjang kanan ( $R_x$ ) dan kiri ( $L_x$ ) masing-masing 0.5 cm. Konfigurasi ukuran potongan serat optik dapat dilihat pada Gambar 3.4.



(a)



(b)

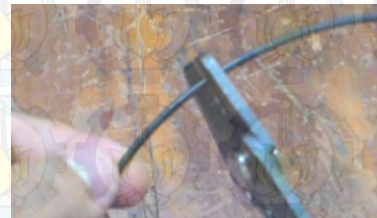


(c)

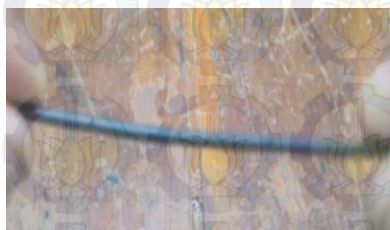
**Gambar 3.4** (a) Ukuran keseluruhan serat optik; (b) Ukuran *cladding* 2 cm; (c) Ukuran *cladding* 3 cm



(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 3.5** (a) *Stripper*; (b) Pembuatan pola ukuran *cladding*; (c) Pola ukuran *cladding* 2 cm; (d) Pengupasan jaket yang melapisi *cladding*.

Setelah menentukan ukuran potongan, selanjutnya pada bagian tengah serat optik dibuat pola potongan dengan menggunakan *stripper*. Pada saat membuat pola potongan melingkar dengan *stripper* diharapkan harus hati-hati, karena dapat melukai *core* sehingga dapat merusak *core*. Selanjutnya pisau *cutter* akan membuka bagian jaket yang melapisi *cladding* sesuai dengan pola yang telah dibuat sebelumnya. Proses pembuatan pola dan pengupasan jaket dapat dilihat pada Gambar 3.5.

### 3.3.1.2 Perancangan Etsa Kimia Serat Optik

Setelah lapisan jaket yang menutupi bagian *cladding* benar-benar bersih, selanjutnya adalah membuka lapisan *cladding* asli. Lapisan *cladding* asli dibuka dengan metode etsa kimia, yaitu dengan cara melumuri permukaan *core* dengan aseton menggunakan alat suntik, dapat dilihat pada Gambar 3.6(a). Etsa kimia mengakibatkan *cladding* asli mengalami pengentalan dan akan lepas dari *core* secara perlahan, dapat dilihat pada Gambar 3.6(b). Proses etsa kimia dilakukan pada suhu ruangan selama kurang lebih dua jam. Setelah *cladding* asli terkelupas, selanjutnya dibersihkan dengan tisu kering yang dilumuri alkohol.

### 3.3.1.3 Pelapisan Serat Optik dengan Polimer

Setelah proses etsa kimia dilakukan, langkah selanjutnya adalah dengan melapisi *core* dengan polimer. Polimer yang digunakan sebagai pengganti *cladding* asli adalah Squalane, PEG 20M, dan Apiezone M, dapat dilihat pada Tabel 3.1. Cara melapisi secara umum dapat menggunakan pipet ukur (*pipette chemistry*) yang banyak digunakan di laboratorium kimia. Dimana secara perlahan lapisan *core* dilumuri polimer dengan pipet ukur dengan takaran yang ditentukan, ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.7. Setelah dilumuri polimer yang menempel pada permukaan *core* dibiarkan mengering selama lebih kurang tiga jam.

**Tabel 3.1** Jenis-jenis polimer

| Lapisan   | Jenis Polimer | Konstanta |
|-----------|---------------|-----------|
| Lapisan 1 | Squalane      | Non-polar |
| Lapisan 2 | Apiezone M    | Non-Polar |
| Lapisan 3 | PEG 20M       | Polar     |



Gambar 3.6 (a) *Cladding* asli dilumuri aseton; (b) Proses etsa kimia



Gambar 3.7 Ilustrasi melapisi *core* serat optik dengan polimer

### 3.3.2 Perancangan Mekanik Aliran Udara

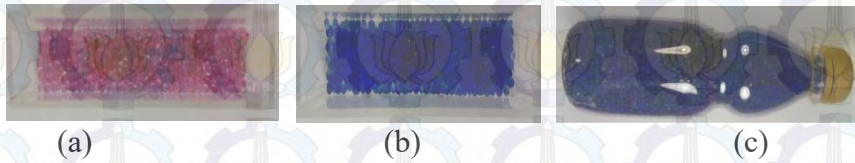
Perancangan mekanik aliran udara terdiri dari perancangan silika gel, perancangan pompa udara, perancangan wadah sampel gas, perancangan mekanik saluran aliran udara yang diatur oleh katub-katub.

#### 3.3.2.1 Perancangan Silika Gel

Silika gel merupakan butiran-butiran kecil seperti kaca yang berbentuk zat padat (bukan gel) dan sangat berpori. Pori-pori pada silika gel memiliki ukuran rata-rata 2.4 nanometer. Silika gel dibuat dengan sintesis atau melalui proses pengumpalan sol Natrium Silikat ( $\text{NaSiO}_2$ ). Silika gel memiliki sifat yang tidak elastis sehingga dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering, dan penopang katalis.

Silika gel yang digunakan dalam penelitian ini adalah silika gel biru. Apabila silika gel berubah warna menjadi merah muda, hal tersebut menandakan bahwa silika gel berada pada kondisi jenuh. Silika gel kondisi baik dan kondisi jenuh dapat dilihat pada Gambar 3.8(a)(b). Fungsi silika gel pada penelitian ini adalah untuk menyerap dan meminimalkan kandungan uap air pada wadah sensor. Silika gel yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.8(c).

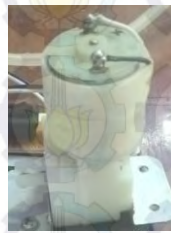




**Gambar 3.8** (a) Silika gel kondisi jenuh; (b) Silika gel kondisi baik; (c) Silika gel

### 3.3.2.2 Perancangan Pompa Udara

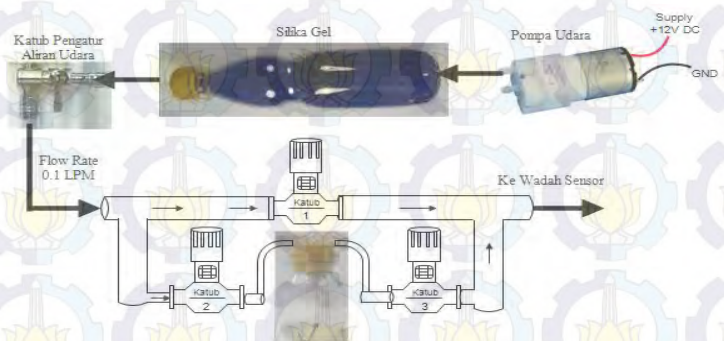
Pompa udara berfungsi sebagai fasa gerak untuk mengalirkan udara ke wadah uji sensor serat optik. Pompa udara yang digunakan dalam penelitian ini adalah pompa motor DC 12 Volt, yang ditunjukkan pada Gambar 3.9. Pompa udara memiliki lubang hisap dan lubang buang. Lubang hisap (*in*) adalah tempat masuknya udara, sedangkan lubang buang (*out*) adalah tempat keluarnya udara. Lubang *out* diintegrasikan dengan silika gel dan kecepatan aliran udara diatur sebesar 0.1 LPM dengan menggunakan katub. Integrasi pompa udara dapat dilihat pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.9** Pompa udara



**Gambar 3.10** Integrasi pompa udara



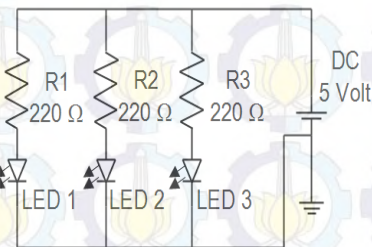
**Gambar 3.11** Integrasi pompa udara dan wadah sampel gas

### 3.3.2.3 Perancangan Wadah Sampel Gas

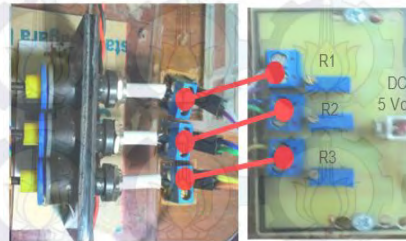
Sampel gas yang diuji berasal dari cairan sampel dengan volume 3 mililiter. Sampel diletakkan didalam botol dengan Tinggi 6cm dan diameter botol 2.5cm. Pada bagian tutup atau atas botol dibuat dua lubang yang berfungsi sebagai lubang masuk dan lubang keluar. Gas dari sampel akan didorong oleh udara yang berasal dari pompa udara melalui lubang masuk dengan kecepatan 0.1 LPM. Integrasi wadah sampel dan pompa udara dapat dilihat pada Gambar 3.11.

### 3.3.3 Perancangan LED

Jenis LED yang digunakan sebagai sumber cahaya dalam penelitian ini adalah LED warna biru dengan panjang gelombang 450nm. LED yang digunakan sebanyak tiga buah dengan ukuran 3 mm menggunakan sumber tegangan 5 Volt. Resistor sebanyak tiga buah dengan nilai tahanan  $220\Omega$  dipasang pada kaki anoda. Fungsi resistor sebagai pembatas arus pada LED, sehingga LED tidak rusak. Skematik rangkaian LED dan bentuk fisik LED pada sistem dapat dilihat pada Gambar 3.12.

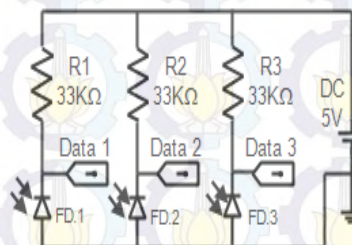


(a)

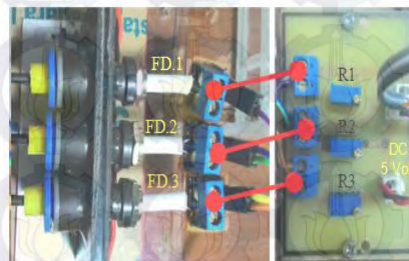


(b)

**Gambar 3.12** (a) Skematik rangkaian LED; (b) Bentuk fisik rangkaian LED



(a)



(b)

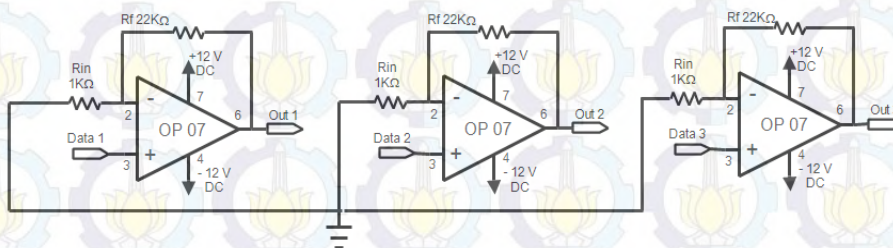
**Gambar 3.13** (a) Skematik rangkaian fotodiode; (b) Bentuk fisik rangkaian fotodiode

### 3.3.4 Perancangan Fotodiode

Fotodiode yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak tiga buah dengan sumber tegangan DC 5 Volt. Rangkaian fotodiode menggunakan konsep pembagi tegangan dengan memberikan resistor  $33\text{K}\Omega$  pada setiap kaki katoda. Konsep pembagi tegangan sesuai dengan skematik rangkaian Gambar 3.13, apabila fotodiode terkena cahaya maka resistansinya berkurang dan jika tidak terkena cahaya maka resistansinya meningkat. Jika resistansinya menurun maka tegangan yang terukur pada data 1, data 2, dan data 3 akan menurun dan jika resistansinya naik, maka tegangan akan naik. Selanjutnya data 1, data 2, dan data 3 akan masuk ke rangkaian penguat *non-inverting*.

### 3.3.5 Perancangan Penguat *Non-Inverting*

Tegangan yang berasal dari fotodiode terbaca sangat kecil yaitu dalam skala milivolt. Maka dibutuhkan penguatan agar tegangan dari data 1, data 2, dan data 3 dapat dibaca dalam skala volt. Penguatan operasional dengan IC OpAmp 07 yang digunakan dalam sistem ini didesain *non-inverting*. Dengan sinyal input yang diberikan pada terminal input *non-inverting*, maka besarnya penguatan tegangan tergantung pada harga  $R_{in}$  dan  $R_f$  yang dipasang. Besarnya penguatan tegangan *output* dari rangkaian penguat tak membalik dapat dituliskan dalam Persamaan 3.1.



Gambar 3.14 Skematik rangkaian penguat *non-inverting*



Gambar 3.15 Bentuk fisik penguat *non-inverting*

Pada skematik rangkaian penguat yang ditunjukkan pada Gambar 3.14, rangkaian menggunakan Resistor  $R_f$  22K $\Omega$  dan  $R_{in}$  1K $\Omega$ . Penggunaan  $R_f$  dan  $R_{in}$  diharapkan dapat mengatkan tegangan dari fotodioda sebanyak 23 kali. Skematik rangkaian penguat *non-inverting* dapat dilihat pada Gambar 3.14 dan bentuk fisik pada Gambar 3.15.

$$Penguatan = \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right) + 1 \quad (3.1)$$

### 3.3.6 Perancangan Kontrol Suhu

Perancangan kontrol suhu terdiri dari perancangan sensor suhu, perancangan *driver* pemanas, perancangan kipas pendingin, integrasi dengan mikrokontroler ATmega 16, dan kontrol PID.

#### 3.3.6.1 Perancangan Sensor Suhu

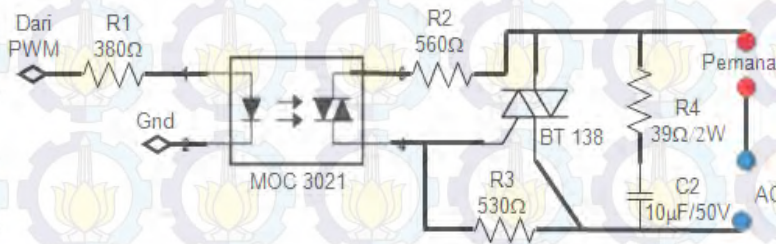
Dalam perancangan sensor suhu pada sistem ini, sensor yang digunakan adalah LM35. Sensor suhu LM35 berfungsi untuk mendeteksi suhu pada wadah sensor serat optik. Sensor ini bisa mendeteksi suhu 0-100 derajat Celcius dengan karakteristik 10mV pada *output* mewakili 1°C. Sensor LM35 mempunyai tiga kaki, yaitu Vcc, Dq (data), dan Ground (Gnd). Kaki data menuju ADC Mikrokontroler untuk diolah datanya. Rangkaian LM35 dapat dilihat pada Gambar 3.16.

#### 3.3.6.2 Perancangan *Driver* Pemanas

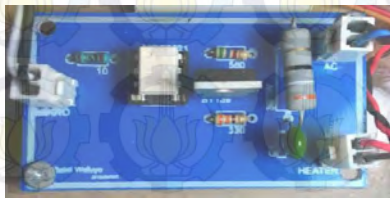
Perancangan *driver* pemanas menggunakan rangkaian utama berupa MOC3021 dan BT138 (TRIAC). penggunaan MOC3021 sebagai optoisolator untuk menghubungkan rangkaian pengendali dengan rangkaian daya dan juga pengaman rangkaian pengendali. MOC3020 bekerja secara optik, dengan memanfaatkan *infrared emitting diode* dan photo triac yang tidak terhubung secara elektrik. Prinsip kerja rangkaian *driver* pemanas pada Gambar 3.27 adalah saat PWM dari Mikrokontroler mengirimkan pulsa, maka arus akan mengalir menuju R1 380 $\Omega$  kemudian menuju MOC3021. Hal ini menyebabkan MOC3021 “ON”, maka TRIAC BTA138 akan ikut “ON”, sehingga tegangan 220 AC akan melewati TRIAC dan menuju pemanas, sehingga pemanas aktif. Skematik *driver* pemanas dapat dilihat pada Gambar 3.17, dan bentuk fisik *driver* pemanas pada Gambar 3.18.



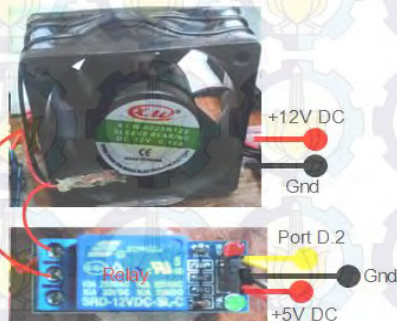
Gambar 3.16 Bentuk fisik rangkaian LM35



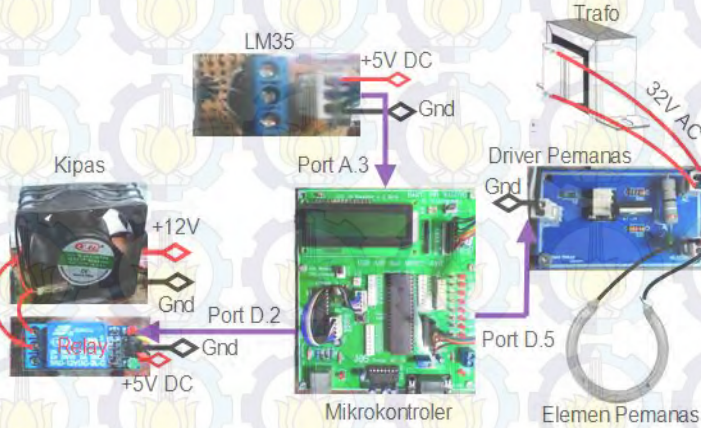
Gambar 3.17 Skematik rangkaian *driver* pemanas



Gambar 3.18 Bentuk fisik rangkaian *driver* pemanas



Gambar 3.19 Bentuk fisik rangkaian kipas pendingin



Gambar 3.20 Integrasi pengontrolan suhu

### 3.3.6.3 Perancangan Kipas Pendingin

Kipas pendingin yang dikonfigurasi pada sistem ini digunakan untuk mendinginkan wadah sensor serat optik. Kipas menggunakan sumber tegangan 12V DC dan dikendalikan oleh relay 5V DC. Relay mendapat kendali dari mikrokontroler melalui Port B.2, dimana hanya akan memberikan logika “high” dan “low”. Bentuk fisik rangkaian kipas pendingin dan relay dapat dilihat pada Gambar 3.19.

### 3.3.6.4 Intergrasi dengan Mikrokontroler ATmega16

Integrasi pengontrolan suhu yang terdiri dari sensor suhu LM35, driver pemanas, rangkaian kipas pendingin, dan elemen pemanas ditunjukkan pada Gambar 3.20. Nilai suhu yang terbaca dari LM35 dikirim ke port A.3 (ADC.3) mikrokontroler, kemudian ditampilkan pada LCD 2x16.

### 3.3.6.5 Kontrol PID

Pada sistem ini kontrol Proportional–Integral–Derivative (PID) digunakan dalam mengontrol suhu. Kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Sehingga dengan memberikan kontrol PID suhu yang diinginkan tetap terjaga. PID adalah kontrol yang terdiri dari proportional ( $K_p$ ), integral ( $K_i$ ), dan derivative ( $K_d$ ).

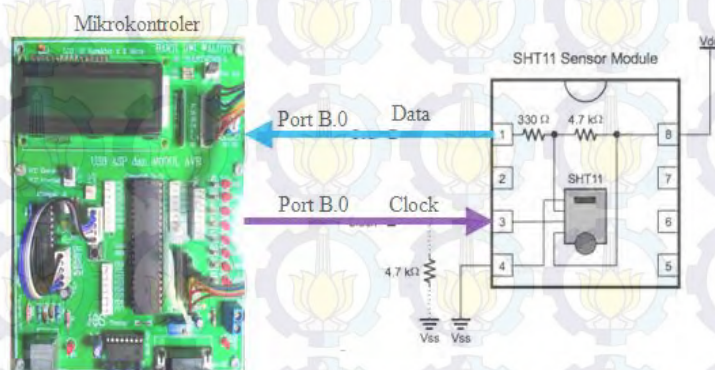
Nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dicari secara manual dengan mengamati respon dari suhu yang terbaca pada LM35. Sehingga dapat dibuat logika pemrograman seperti berikut :

1. Menentukan *set point* (suhu yang diinginkan) dan waktu sampling.
2. Kontrol proportional
  - a. Mendapatkan *error* proportional dengan mengurangi *set point* dengan nilai dari sensor LM35.
  - b. Keluaran kontrol proportional hasil dari  $K_p$  *tuning manual* dikali nilai *error*.
3. Kontrol Integral
  - a. Mendapatkan *error* integral dengan cara menambah *error* proportional dengan *error* sebelum integral.

- b. Keluaran kontrol integral adalah hasil kali  $K_i$  *tuning manual* dengan *error* integral dan waktu sampling.
4. Kontrol Derivative
    - a. Mendapatkan *error* derivative dengan mengurangi *error* proportional dengan *error* sebelum derivative.
    - b. Keluaran kontrol derivative adalah hasil kali  $K_d$  *tuning manual* dengan *error* derivative, kemudian dibagi dengan waktu sampling.
  5. Kontrol PID adalah hasil dari penambahan keluaran kontrol proportional, kontrol integral, dan kontrol derivative.

### 3.3.7 Perancangan Sensor Kelembaban

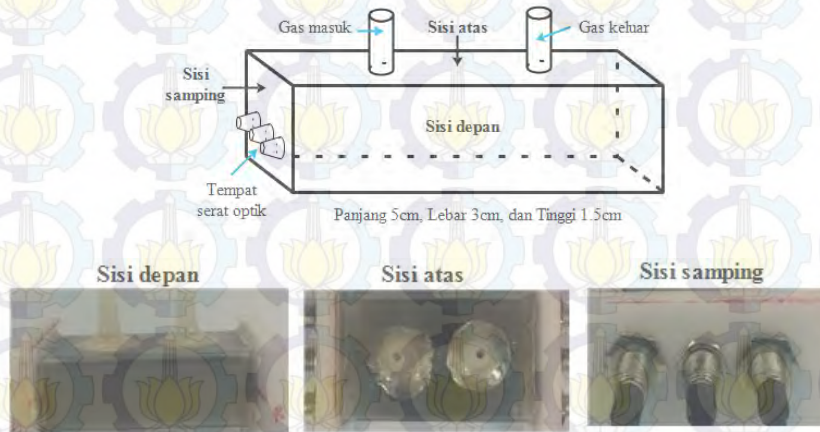
Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah SHT11. Sensor SHT11 digunakan untuk memonitoring perubahan suhu didalam wadah sensor. SHT11 juga dipergunakan sebagai parameter kelembaban relative sensor serat optik terhadap perubahan suhu. Sensor SHT 11 sudah memiliki keluaran digital dan sudah terkalibrasi. Dibagian dalamnya terdapat kapasitas polimer sebagai elemen untuk kelembaban dan sebuah pita regangan sebagai sensor temperatur. Sensor menggunakan komunikasi bidirectional 2-wire, pin data yang terhubung dengan mikrokontroler memberikan perintah pengalamatan “00000101” untuk mengukur kelembaban dan “00000011” untuk mengukur temperatur. Skema rangkaian SHT11 dan pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 3.21. Bentuk fisik rangkaian SHT 11 dapat dilihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.21 Skematik rangkaian sensor SHT11



**Gambar 3.22** Bentuk fisik rangkaian SHT11



**Gambar 3.23** Konfigurasi wadah sensor serat optik

### 3.3.8 Perancangan Wadah Sensor Serat Optik

Tempat atau wadah sensor serat optik didesain kedap terhadap cahaya dari luar. Bahan yang digunakan berasal dari *stainless steel* dimana selain kuat, anti karat, dan mampu menghantar panas dengan baik. Ukuran wadah sensor dibuat dengan panjang 5 cm, lebar 3 cm dan tinggi 1.5 cm. Tutup pada bagian ke dua sisi samping kiri dan kanan dibuat dengan bahan akrilik dengan ketebalan 3mm. Konfigurasi wadah sensor serat optik dapat dilihat pada Gambar 3.23.

### 3.3.9 Perancangan Sistem Minimum Mikrokontroler

Sistem minimum mikrokontroler menggunakan ATmega16, dimana semua proses pengambilan data dan kontrol suhu dikendalikan oleh ATmega16. Data yang berasal dari fotodiode dan LM35 dikirim ke ATmega16 melalui ADC, selanjutnya data dari SHT11 juga dikirim melalui Port B, dan pengendalian *driver* pemanas dan kipas pendingin melalui Port D. Adapun port-port yang digunakan pada ATmega16 dapat dilihat pada Tabel 3.2. Bentuk fisik mikrokontroler ATmega16 dapat dilihat pada Gambar 3.24.



**Tabel 3.2** Port-port ATmega16 yang difungsikan

| No | Port       | Fungsi             |
|----|------------|--------------------|
| 1  | A.0 (ADC0) | Sensor Fotodiode 1 |
| 2  | A.2 (ADC1) | Sensor Fotodiode 2 |
| 3  | A.3 (ADC2) | Sensor Fotodiode 3 |
| 4  | A.4 (ADC3) | Sensor Suhu LM35   |
| 5  | D.5 (PWM)  | Driver Pemanas     |
| 6  | D.2 (INT0) | Kipas Pendingin    |
| 7  | B.0 (TO)   | Data SHT11         |
| 8  | B.1 (TI)   | Clock SHT11        |
| 9  | All Port C | LCD                |



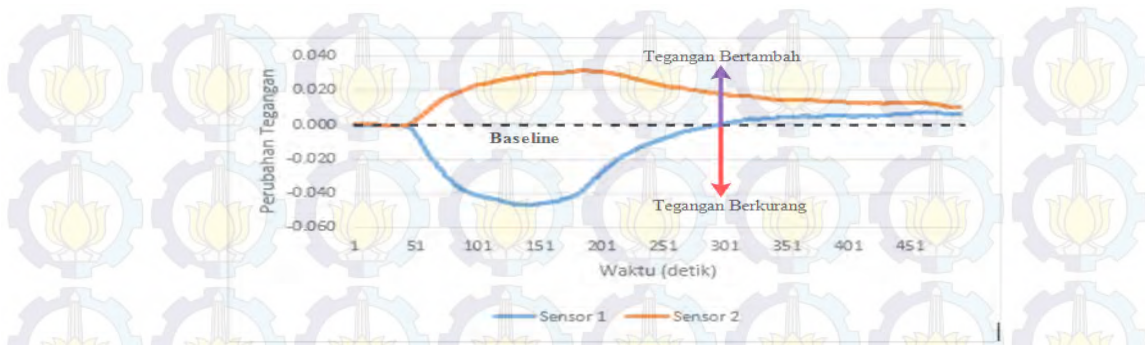
**Gambar 3.24** Bentuk fisik sistem minimum mikrokontroler ATmega16

### 3.3.10 Perancangan *Software* Pembacaan Sensor

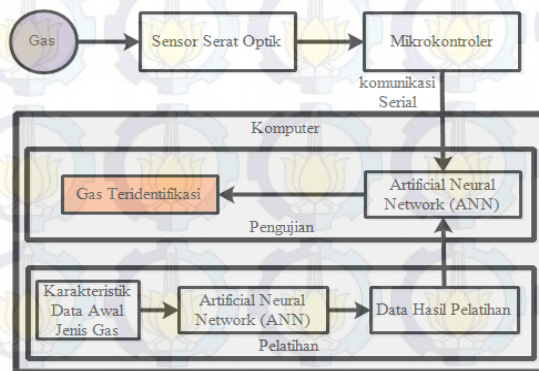
Sensor yang digunakan dalam penelitian ini ada lima buah, dimana tiga fotodiode, LM35 dan SHT11. Maka data yang dikirim dari mikrokontroler ke komputer menjadi banyak. Oleh karena itu digunakan parsing data atau pemecahan data. Parsing data menggunakan penanda (header) agar data tidak saling tertukar dengan data dari sensor lain.

Khusus untuk pembacaan sensor fotodiode dan sensor LM35 digunakan program MAV. Program MAV digunakan untuk menghasilkan keluaran yang setabil atau memperhalus data keluaran, MAV dapat dilihat pada Persamaan 3.2. Karena keluaran dari sensor fotodiode berbeda-beda, maka pada program ditambahkan *baseline*. *Baseline* didapatkan dengan cara mengurangi seluruh data awal sampai akhir dengan data awal pembacaan. Apabila pembacaan sensor bernilai positif, maka tegangan naik sedangkan apabila negatif maka tegangan turun. Penggunaan *baseline* dapat dilihat pada Gambar 3.25.

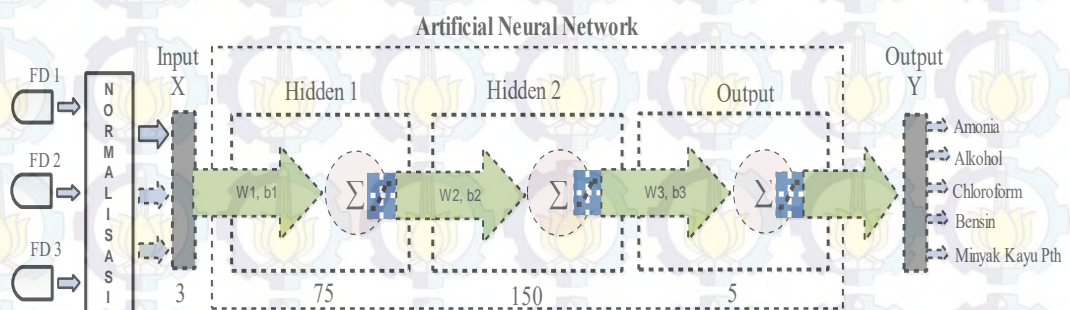
$$filter\_MAV[n] = \frac{x[n]+x[n-1]+x[n-2]+\dots+x[n-9]}{10} \quad (3.2)$$



Gambar 3.25 Contoh penggunaan *baseline*



Gambar 3.26 Rancangan program NN untuk identifikasi jenis gas



Gambar 3.27 Rancangan arsitektur NN

### 3.3.11 Perancangan *Artificial Neural Network*

Pada penelitian ini, *neural network* (NN) digunakan untuk mengenali beberapa jenis sampel gas yang diujikan. Algoritma backpropagation diperlukan dalam proses identifikasi jenis gas, karena selama proses pembelajaran memiliki kemampuan untuk memperbaiki bobot pada layer tersembunyi. Rancangan program NN untuk identifikasi jenis gas dapat diilustrasikan seperti Gambar 3.26.

Arsitektur NN yang didesain dan digunakan pada penelitian ini terdiri dari empat lapisan (*layer*), yaitu *input layer*, *hidden layer 1*, *hidden layer 2*, dan *output layer*. *Input layer* terdiri dari 3 node masukan yang berasal dari normalisasi data tegangan fotodiode yang berjumlah tiga. Data dari *input layer* kemudian menjadi masukan ke *hidden layer 1* yang didesain 70 neuron. Keluaran dari *hidden layer 1* menjadi masukan ke *hidden layer 2* yang didesain 150 neuron. Kemudian keluaran dari *hidden layer 2* diteruskan ke *output layer* yang terdiri dari 5 buah neuron sesuai dengan jumlah sampel gas yang diidentifikasi. Rancangan arsitektur NN dapat dilihat pada Gambar 3.27.

### 3.4 Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data dilakukan untuk perubahan suhu dan perubahan kelembaban, pengambilan data pembelajaran, dan pengambilan data pengujian.

#### 3.4.1 Pengambilan Data Perubahan Suhu dan Kelembaban

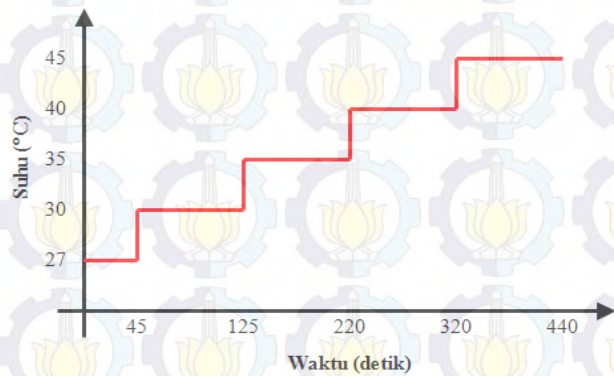
Pengujian serat optik dilakukan pada perubahan suhu dan kelembaban, dimana data yang didapatkan menjadi karakteristik serat optik tersebut. Prosedur pengambilan data perubahan suhu terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

1. Wadah sensor diberi kelembaban dari uap air yang didorong oleh pompa udara.
2. Kelembaban dipertahankan pada tingkat bervariasi, dengan tingkat *Relative Humidity* (RH) 8%, 20%, 45%, 65%, dan 80%.
3. Untuk setiap tahap kelembaban (misalnya RH 8%), maka secara bertahap suhu dinaikkan dari 27°C sampai suhu 45°C. Ilustrasi cara menaikkan suhu dapat dilihat pada Gambar 3.28.
4. Pengujian dan pengambilan data sensor serat optik terhadap perubahan suhu pada setiap tingkatan kelembaban.

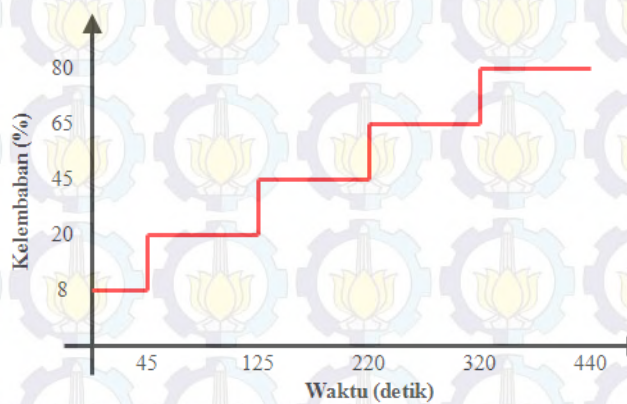
Prosedur pengambilan data perubahan kelembaban terdiri dari beberapa tahap, antara lain :

1. Suhu pada wadah sensor diatur bervariasi, dengan tingkat 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C.

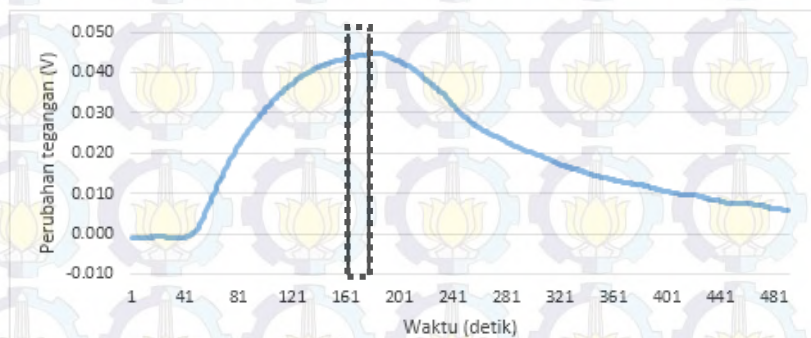
2. Pada setiap tingkatan suhu, maka secara bertahap RH dinaikkan dari 8% sampai 85%, cara menaikkan kelembaban dengan cara mengalirkan uap air yang didorong oleh pompa udara. Ilustrasi cara menaikkan suhu dapat dilihat pada Gambar 3.29.
3. Pengujian dan pengambilan data sensor serat optik terhadap perubahan kelembaban pada setiap tingkatan suhu.



**Gambar 3.28** Ilustrasi menaikkan suhu pada saat pengujian



**Gambar 3.29** Ilustrasi cara menaikkan kelembaban pada saat pengujian



**Gambar 3.30** Contoh penentuan nilai data pembelajaran dan identifikasi

### 3.4.2 Pengambilan Data Pembelajaran *Neural Network*

Pengambilan data pembelajaran *neural network* (NN) dilakukan sebanyak lima kali pada setiap sampel gas. Data dalam domain waktu diambil sebanyak 500 detik untuk setiap jenis gas. Pada setiap pengambilan data, udara bersih dimasukkan dari detik ke 0 sampai detik ke 30, selanjutnya mengalirkan gas dari detik ke 31 sampai detik ke 170, kemudian mengalirkan udara bersih kembali dari detik ke 171 sampai detik ke 500. Data yang dijadikan pembelajaran adalah rerata nilai tegangan dari detik ke 160 sampai detik ke 170.

Pada saat pengambilan data pembelajaran, variasi suhu dapat dirubah dengan memasukan nilai suhu dalam derajat celcius pada “Suhu Diinginkan”, kemudian tekan tombol “JALANKAN”. Selama proses pengambilan data pembelajaran seluruh data tercatat di dalam StringGrid 1 dan dapat disimpan dengan cara menekan tombol “SIMPAN DATA TEGANGAN” untuk menyimpan keseluruhan data tegangan sensor dari awal sampai akhir pengambilan data. Tombol “SIMPAN NORMALISASI” adalah untuk menyimpan data normalisasi tegangan yang tercatat pada StringGrid 2 dan nantinya digunakan sebagai data pembelajaran.

Setelah data normalisasi dari beberapa sampel gas disimpan, langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data normalisasi dan menentukan target *output* NN yang akan digunakan untuk pembelajaran NN. Data pembelajaran dan terget *output* NN dikumpulkan dan dijadikan dalam satu file serta diberi nama “Pembelajaran”, proses pengumpulan data untuk pembelajaran, target *output*, dan pemberian nama file dilakukan secara manual. Tampilan program yang digunakan untuk pengambilan data pembelajaran NN dapat dilihat pada Gambar 3.31.

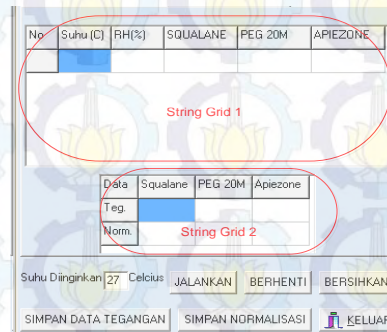
### 3.4.3 Prosedur Pembelajaran *Neural Network*

Prosedur pembelajaran pada NN adalah dengan menekan tombol “MASUKKAN DATA”, dimana secara otomatis program akan mencari file dengan nama “Pembelajaran” pada folder yang telah ditentukan. Selanjutnya tekan tombol “MASUKKAN BOBOT RANDOM” untuk memasukkan bobot acak ke dalam NN. Sebelum dilakukan pembelajaran sebaiknya tentukan *Error Target*, MIU, dan Alpha. Jika sudah ditentukan, maka tekan tombol “JALANKAN PEMBELAJARAN”, dan proses pembelajaran akan berjalan. Proses pembelajaran

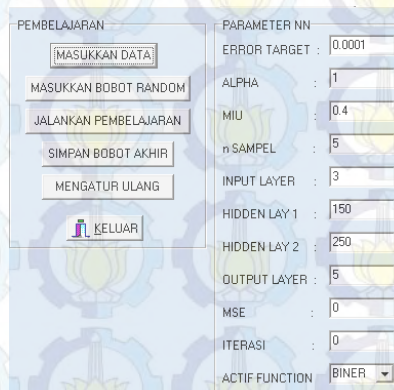
akan berhenti secara otomatis apabila nilai MSE memenuhi *error target* yang ditentukan atau mencapai batas iterasi yang ditentukan. Langkah terakhir adalah menyimpan bobot akhir dengan cara menekan tombol “SIMPAN BOBOT AKHIR”, bobot akhir akan tersimpan secara otomatis dengan nama “Weight\_Updated” dan bobot akhir ini digunakan pada proses identifikasi jenis gas. Tampilan program pembelajaran NN dapat dilihat pada Gambar 3.32.

### 3.4.4 Prosedur Identifikasi Gas

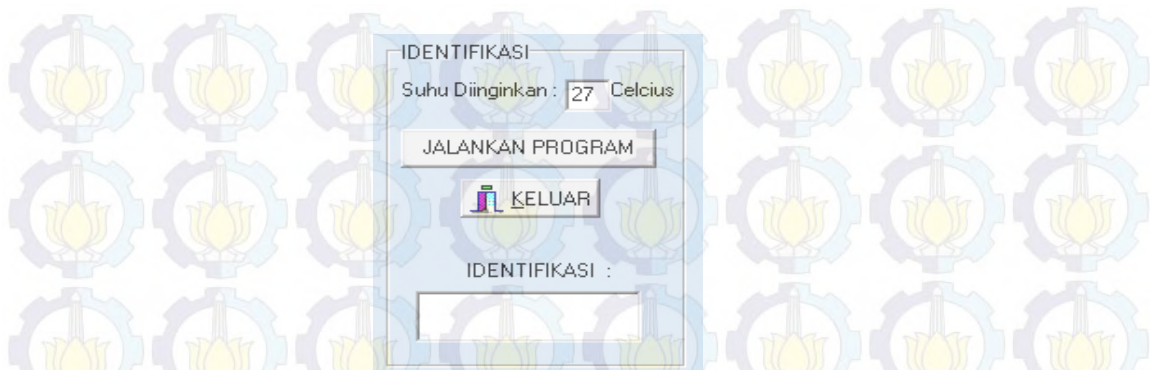
Identifikasi jenis gas dapat dilakukan diberbagai variasi suhu, hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah sensor dapat mengidentifikasi jenis gas dengan suhu yang berubah-ubah. Identifikasi gas dilakukan dengan cara menekan tombol “JALANKAN PROGRAM”, secara otomatis bobot akhir dengan nama “Weight\_Updated” akan digunakan sebagai bobot pada proses identifikasi. Kemudian setelah detik ke 170 secara otomatis gas akan diidentifikasi. Tampilan program proses identifikasi gas dapat dilihat pada Gambar 3.33.



Gambar 3.31 Tampilan program untuk pengambilan data pembelajaran pada NN



Gambar 3.32 Tampilan program pembelajaran pada NN



**Gambar 3.33** Tampilan program untuk proses identifikasi gas.

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengujian dan analisa terhadap hasil perancangan dan pembuatan sistem pada bab sebelumnya. Adapun pengujian yang dilakukan terdiri dari :

1. Pengujian hasil pembuatan sensor serat optik
2. Pengujian aliran udara
3. Pengujian kontrol suhu
4. Pengujian kalibrasi sensor serat optik
5. Pengujian serat optik terhadap perubahan suhu dengan kelembaban tetap
  - 5.1 Pengujian serat optik *cladding* 2cm terhadap perubahan suhu
  - 5.2 Pengujian serat optik *cladding* 3cm terhadap perubahan suhu
6. Pengujian serat optik terhadap perubahan Kelembaban dengan suhu tetap
  - 6.1 Pengujian serat optik *cladding* 2cm terhadap perubahan kelembaban
  - 6.2 Pengujian serat optik *cladding* 3cm terhadap perubahan kelembaban
7. Pengujian serat optik *cladding* 2cm terhadap sampel gas dan pengaruh perubahan suhu
  - 7.1 Pengujian serat optik *cladding* 2cm terhadap gas amonia
  - 7.2 Pengujian serat optik *cladding* 2cm terhadap gas alkohol
  - 7.3 Pengujian serat optik *cladding* 2cm terhadap gas chloroform
  - 7.4 Pengujian serat optik *cladding* 2cm terhadap gas bensin
  - 7.5 Pengujian serat optik *cladding* 2cm terhadap gas minyak kayu putih
8. Pengujian serat optik *cladding* 3cm terhadap sampel gas dan pengaruh perubahan suhu
  - 8.1 Pengujian serat optik *cladding* 3cm terhadap gas amonia
  - 8.2 Pengujian serat optik *cladding* 3cm terhadap gas alkohol
  - 8.3 Pengujian serat optik *cladding* 3cm terhadap gas chloroform
  - 8.4 Pengujian serat optik *cladding* 3cm terhadap gas bensin
  - 8.5 Pengujian serat optik *cladding* 3cm terhadap gas minyak kayu putih



9. Perbandingan Kelima Sampel Gas Terhadap Perubahan Suhu dengan *cladding* 2cm dan 3cm
10. Pengujian serat optik terhadap minyak wangi
11. Perbandingan waktu respon serat optik *cladding* 2cm dan 3cm terhadap sampel gas dan perubahan suhu.
12. Pengujian *Neural Network*
13. Pengujian *Neural Network* sebagai pengenalan jenis gas

#### 4.1 Pengujian Hasil Pembuatan Sensor Serat Optik

##### 4.1.1 Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil dari pembuatan sensor serat optik, mulai dari pemotongan, etsa kimia, dan pelapisan dengan polimer. Kemudian sensor serat optik diujikan kepada sistem yang telah dibuat.

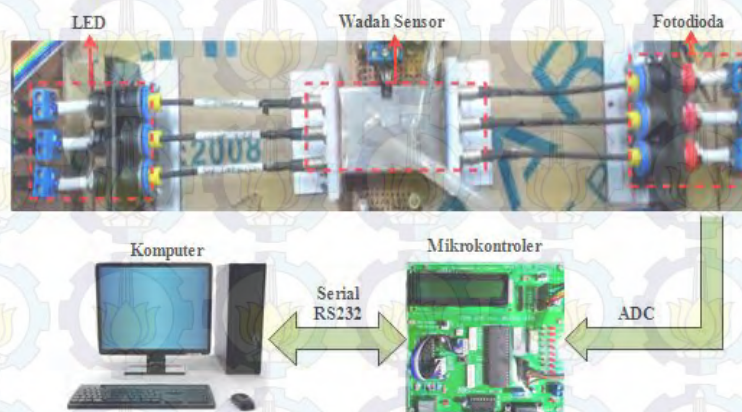
##### 4.1.2 Prosedur Pengujian

Serat optik yang telah dilakukan etsa kimia dengan ukuran *cladding* 2cm dan 3cm selanjutnya dilapisi polimer. Serat optik dengan lapisan polimer Squalane, PEG 20M dan Apiezone M, serat optik terlapis polimer dapat dilihat pada Gambar 4.1. Selanjutnya diujikan terhadap sistem yang telah dibuat, dimana pengujian ini bertujuan apakah serat optik yang telah dibuat dapat dijadikan sensor atau tidak.

Langkah pertama pengujian dengan menempatkan serat optik dalam wadah sensor. Kemudian pada ujung-ujung serat optik dihubungkan kepada LED dan fotodioda. Kemudian program komputer dijalankan dan diamati respon tegangan fotodioda yang berupa tampilan grafik. Gambar 4.2 adalah konfigurasi pengujian awal sensor serat optik.



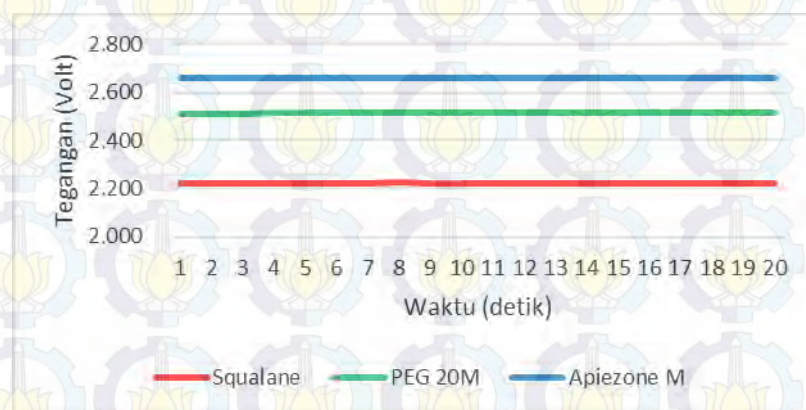
**Gambar 4.1** Serat optik dengan lapisan polimer berbeda



**Gambar 4.2** Konfigurasi pengujian awal sensor serat optik

#### 4.1.3 Hasil dan Analisa Pengujian

Hasil pengujian awal sensor serat optik setelah diberi lapisan polimer dilakukan selama 20 detik. Dari pengujian awal didapatkan rerata tegangan serat optik dengan lapisan Squalane adalah 2.222 Volt, serat optik dengan lapisan PEG 20M adalah 2.513 Volt, dan serat optik dengan lapisan Apiezone M adalah 2.659 Volt. Dara rerata tegangan ketiga sensor menunjukkan bahwa serat optik dengan lapisan Apiezone M memiliki respon tegangan paling besar, karena lapisan Apiezone M terlihat lebih hitam, sehingga intensitas cahaya yang diterima oleh fotodioda sedikit. Data pengujian awal sensor serat optik dapat dilihat pada Tabel 4.1, dan Gambar 4.3 adalah plot grafik tegangannya.



**Gambar 4.3** Grafik tegangan pengujian awal

Tabel 4.1 Tegangan pengujian awal sensor serat optik

| Waktu (detik) | Tegangan (Volt) |         |            |
|---------------|-----------------|---------|------------|
|               | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1             | 2.222           | 2.512   | 2.659      |
| 2             | 2.222           | 2.512   | 2.659      |
| 3             | 2.221           | 2.512   | 2.659      |
| 4             | 2.222           | 2.513   | 2.659      |
| 5             | 2.222           | 2.513   | 2.659      |
| 6             | 2.222           | 2.514   | 2.659      |
| 7             | 2.222           | 2.513   | 2.659      |
| 8             | 2.224           | 2.515   | 2.660      |
| 9             | 2.223           | 2.513   | 2.659      |
| 10            | 2.222           | 2.513   | 2.659      |
| 11            | 2.223           | 2.514   | 2.659      |
| 12            | 2.222           | 2.513   | 2.659      |
| 13            | 2.222           | 2.513   | 2.660      |
| 14            | 2.222           | 2.514   | 2.659      |
| 15            | 2.223           | 2.513   | 2.659      |
| 16            | 2.223           | 2.513   | 2.659      |
| 17            | 2.223           | 2.514   | 2.659      |
| 18            | 2.222           | 2.513   | 2.659      |
| 19            | 2.222           | 2.513   | 2.658      |
| 20            | 2.222           | 2.513   | 2.659      |

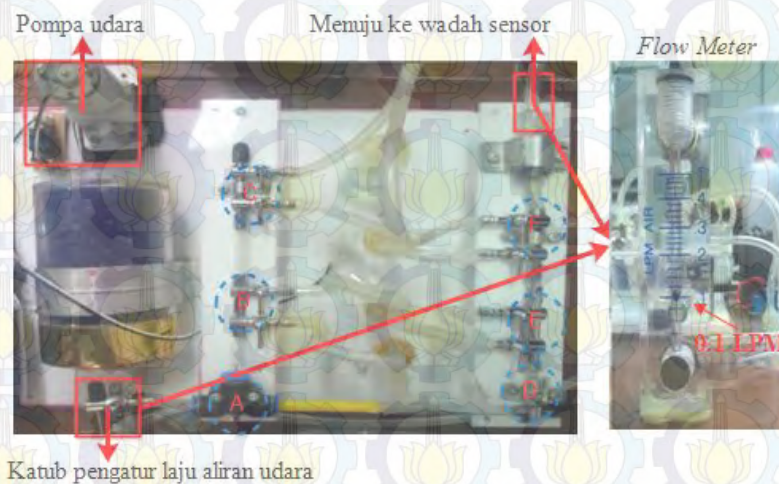
## 4.2 Pengujian Aliran Udara

### 4.2.1 Tujuan Pengujian

Pengujian mekanik saluran aliran udara bertujuan untuk mengetahui apakah disetiap titik persambungan terjadi kebocoran atau tidak.

### 4.2.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian saluran aliran udara terlebih dahulu memberikan aliran udara yang berasal dari pompa udara. Pada katub pengatur laju aliran udara disetting pada ukuran 0.1 LPM. Pengecekan dilakukan dengan *flow meter* pada bagian keluaran katub pengatur laju aliran udara dan saluran yang menuju ke wadah sensor. Prosedur pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.4



**Gambar 4.4** Pengecekan saluran aliran udara

**Tabel 4.2** Hasil pengecekan saluran udara

| No | Titik Pengukuran | Hasil Pengukuran (LPM) |
|----|------------------|------------------------|
| 1  | A                | 0.1                    |
| 2  | B                | 0.1                    |
| 3  | C                | 0.1                    |
| 4  | D                | 0.1                    |
| 5  | E                | 0.1                    |
| 6  | F                | 0.1                    |

#### 4.2.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Dari beberapa titik yang dilakukan pengecekan, tidak ditemukan adanya kebocoran. Namun pada saluran yang menuju ke wadah sensor terjadi penurunan  $\pm 0.08$  LPM. Sejumlah titik pengecekan dapat dilihat pada Gambar 44, dan hasil dari pengecekan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

### 4.3 Pengujian Kontrol Suhu

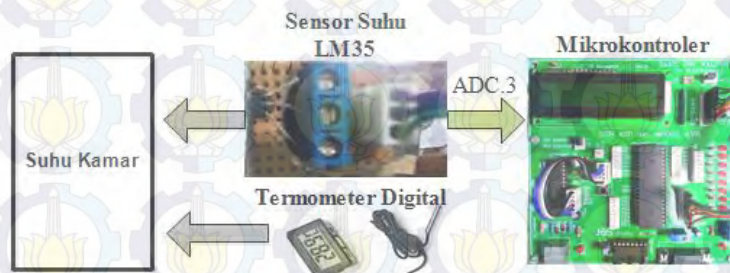
#### 4.3.1 Tujuan Pengujian

Kontrol suhu merupakan hal terpenting didalam sistem sensor serat optik. Kontrol suhu berfungsi untuk mengendalikan suhu pada wadah sensor serat optik. Apabila kontrol suhu tidak berfungsi dengan baik maka dapat mempengaruhi hasil pengujian sensor terhadap gas. Hal terpenting didalam sistem kontrol suhu adalah sensor suhu. Apabila sensor suhu berkerja dengan baik, maka proses pengendalian suhu juga akan berjalan dengan baik.

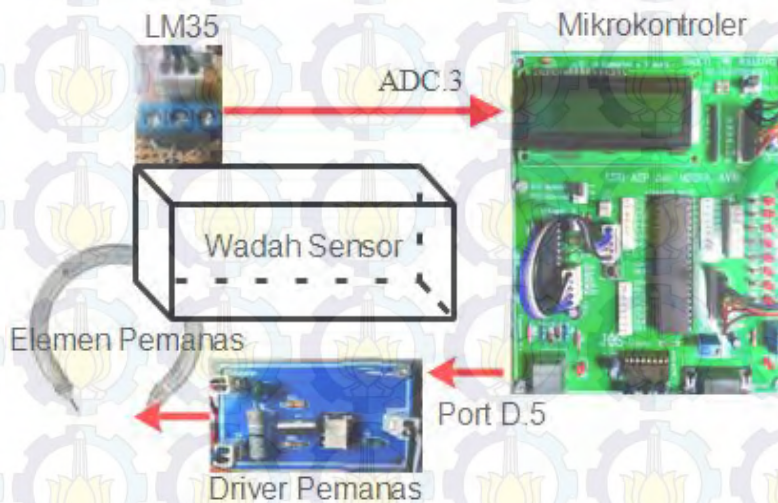
### 4.3.2 Prosedur Pengujian

Pengujian terlebih dahulu dilakukan terhadap sensor suhu LM35. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan kaki data LM35 ke PortA.3 (ADC.3) pada mikrokontroler ATmega16. Kemudian mengamati dan membandingkan nilai yang muncul pada LCD 2x16 dengan nilai yang muncul pada termometer digital. Skema pengujian sensor suhu LM35 dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Selanjutnya pengujian terhadap kontrol suhu. Pengujian dilakukan dengan cara memberi *set-point* suhu 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, dan 50°C. Kemudian mengamati respon suhu menggunakan program antara muka pada komputer. Sekema pengujian kontrol suhu dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.5 Skema pengujian sensor LM35



Gambar 4.6 Skema pengujian kontrol suhu

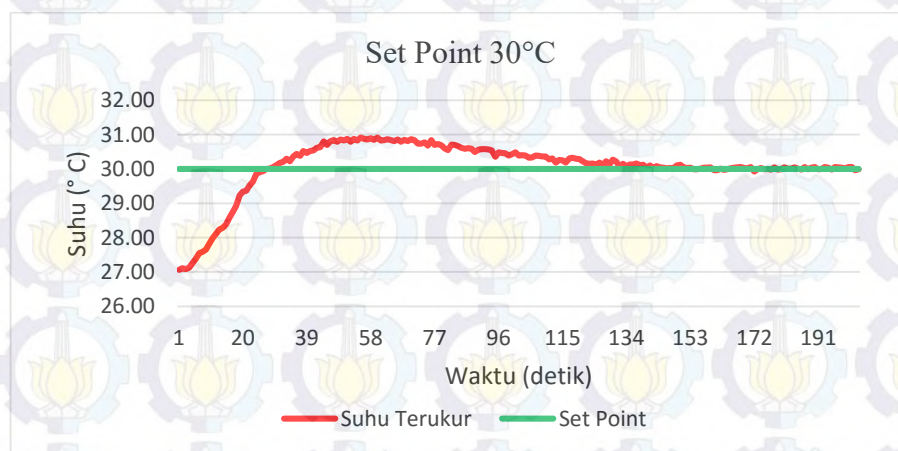
### 4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Berdasarkan hasil pengukuran suhu dengan LM35 dan termometer digital, didapatkan suhu yang terukur dengan LM35 adalah  $27.10^{\circ}\text{C}$  sedangkan dengan termometer digital adalah  $26.7^{\circ}\text{C}$ . Selisih antara pembacaan LM35 dan termometer digital adalah  $0.4^{\circ}\text{C}$ . Hasil pembacaan sensor suhu LM35 dan termometer digital dapat dilihat pada Gambar 4.7.

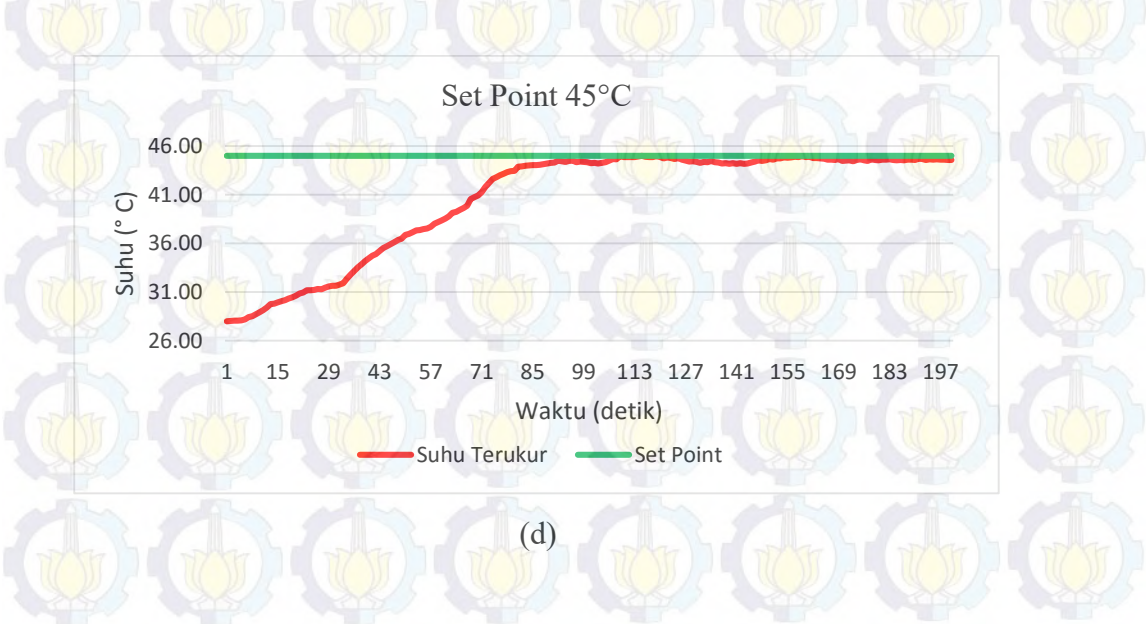
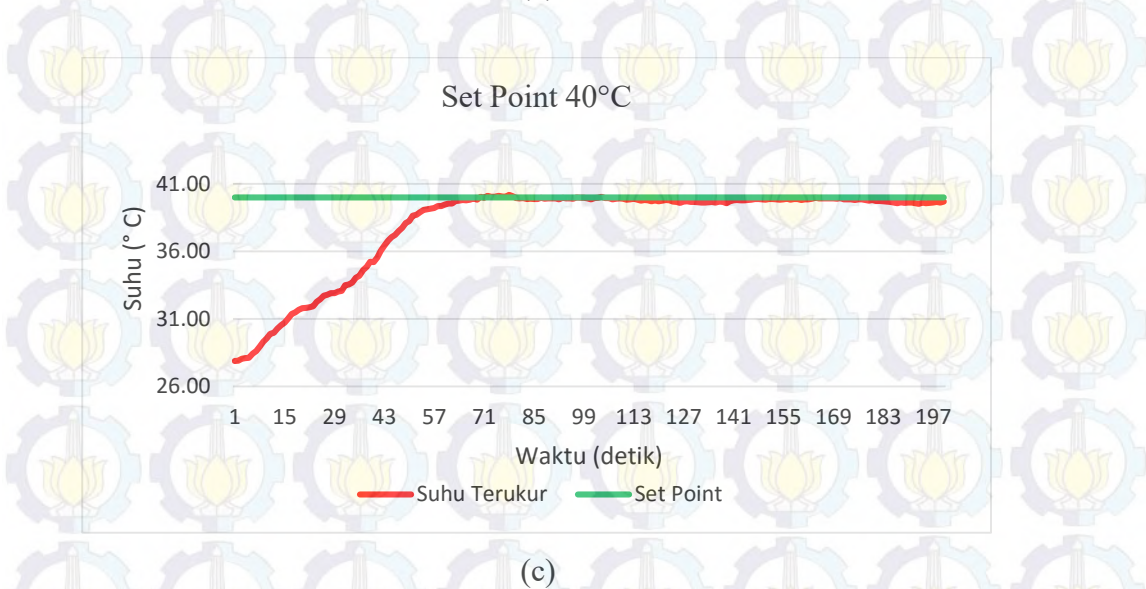
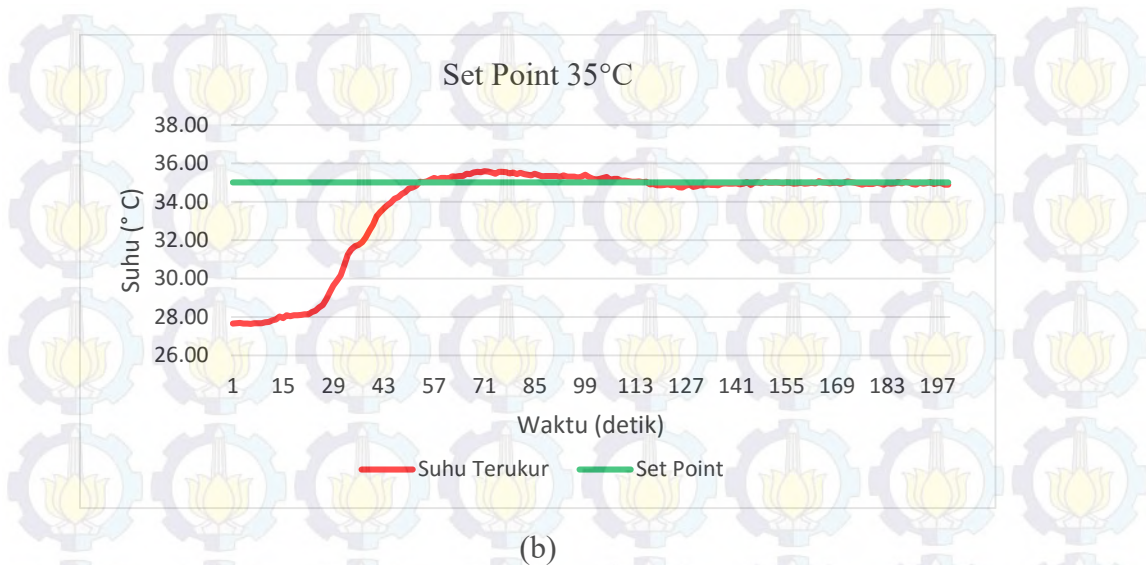
Hasil pengujian terhadap kontrol suhu dapat dilihat pada Gambar 4.8. Dimana hasil dari suhu yang dikontrol berjalan dengan baik. *Overshoot* yang paling tinggi ketika *setpoint* diingkan pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  yaitu  $3.07\%$ , sedangkan *overshoot* akan hilang apabila *setpoint* diatur besar dari  $45^{\circ}\text{C}$ . Untuk *setpoint*  $50^{\circ}\text{C}$  dibutuhkan waktu paling lama untuk mencapai *settling time*, yaitu 220 detik dan *steady state error* sebesar  $1.42\%$ . Keseluruhan efek yang disebabkan oleh parameter-parameter dalam kontrol PID dapat dilihat pada Tabel 4.3.

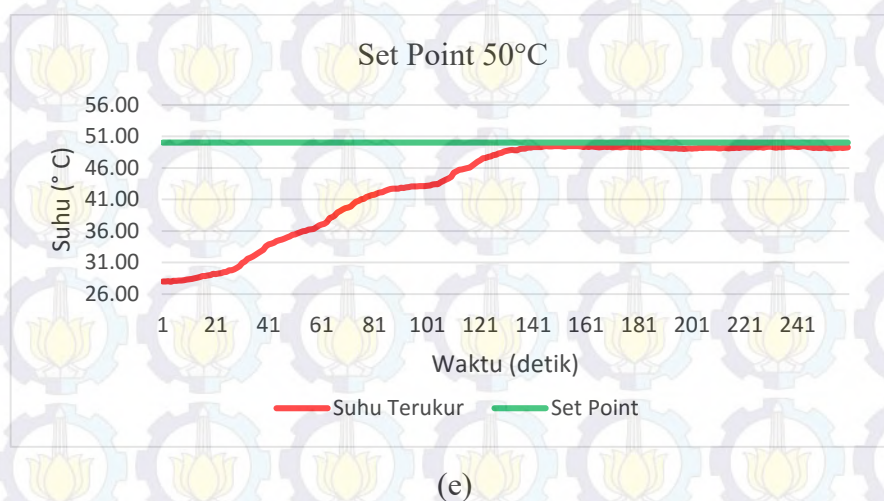


**Gambar 4.7** Pembacaan suhu antara LM35 dengan termometer digital



(a)





**Gambar 4.8** Grafik respon suhu, (a) *Set Point* 30°C; (b) *Set Point* 35°C; (c) *Set Point* 40°C; (d) *Set Point* 45°C; (e) *Set Point* 50°C

**Tabel 4.3** Efek yang disebabkan oleh parameter kontrol PID

| Set-Point | Settling Time (detik) | Rise Time (detik) | Over Shoot (%) | Stady State Error (%) |
|-----------|-----------------------|-------------------|----------------|-----------------------|
| 30        | 160                   | 25                | 3.07           | 0.05                  |
| 35        | 140                   | 53                | 1.66           | 0.10                  |
| 40        | 150                   | 64                | 0.45           | 0.57                  |
| 45        | 180                   | 89                | 0              | 0.92                  |
| 50        | 220                   | 140               | 0              | 1.42                  |

#### 4.4 Pengujian Kalibrasi Sensor Serat Optik

##### 4.4.1 Tujuan Pengujian

Pengujian kalibrasi sensor bertujuan untuk mengetahui sensor dalam keadaan bersih atau tidak terkontaminasi dengan gas apapun. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar sensor serat optik dapat merespon dengan baik ketika gas atau uap melewatinya. Sehingga respon ketika berinteraksi dengan gas lebih akurat tanpa adanya *noise* (gas lain yang menyebabkan tidak stabil).

##### 4.4.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan terhadap serat optik dengan ukuran *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Prosedur pengujian dilakukan dengan cara mengalirkan udara kering dari silica gel dengan kecepatan aliran udara 0.1 LPM. Udara kering dialirkan ke wadah sensor yang berisi serat optik selama 300 detik. Respon serat optik diamati

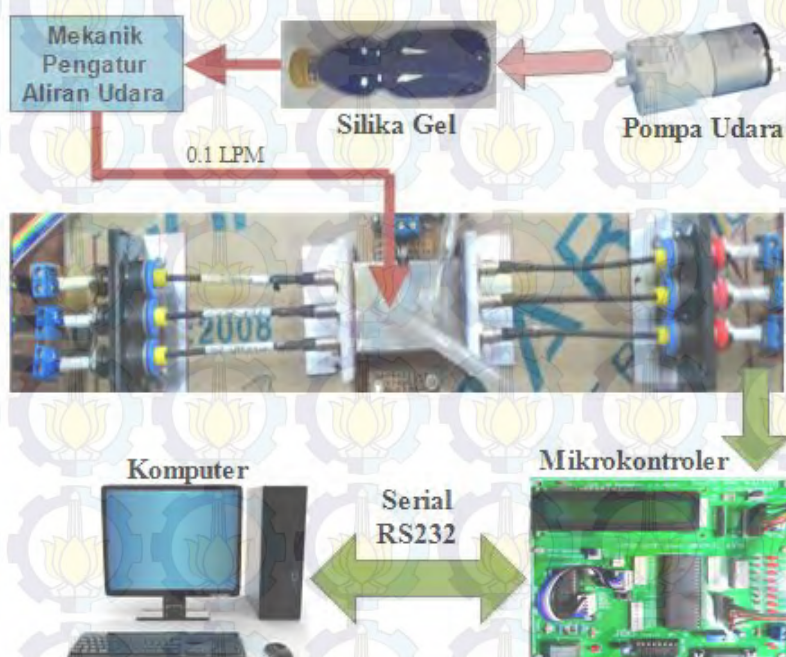


melalui program pada komputer, selanjutnya disimpan. Sekema pengujian kalibrasi sensor dapat dilihat pada Gambar 4.9.

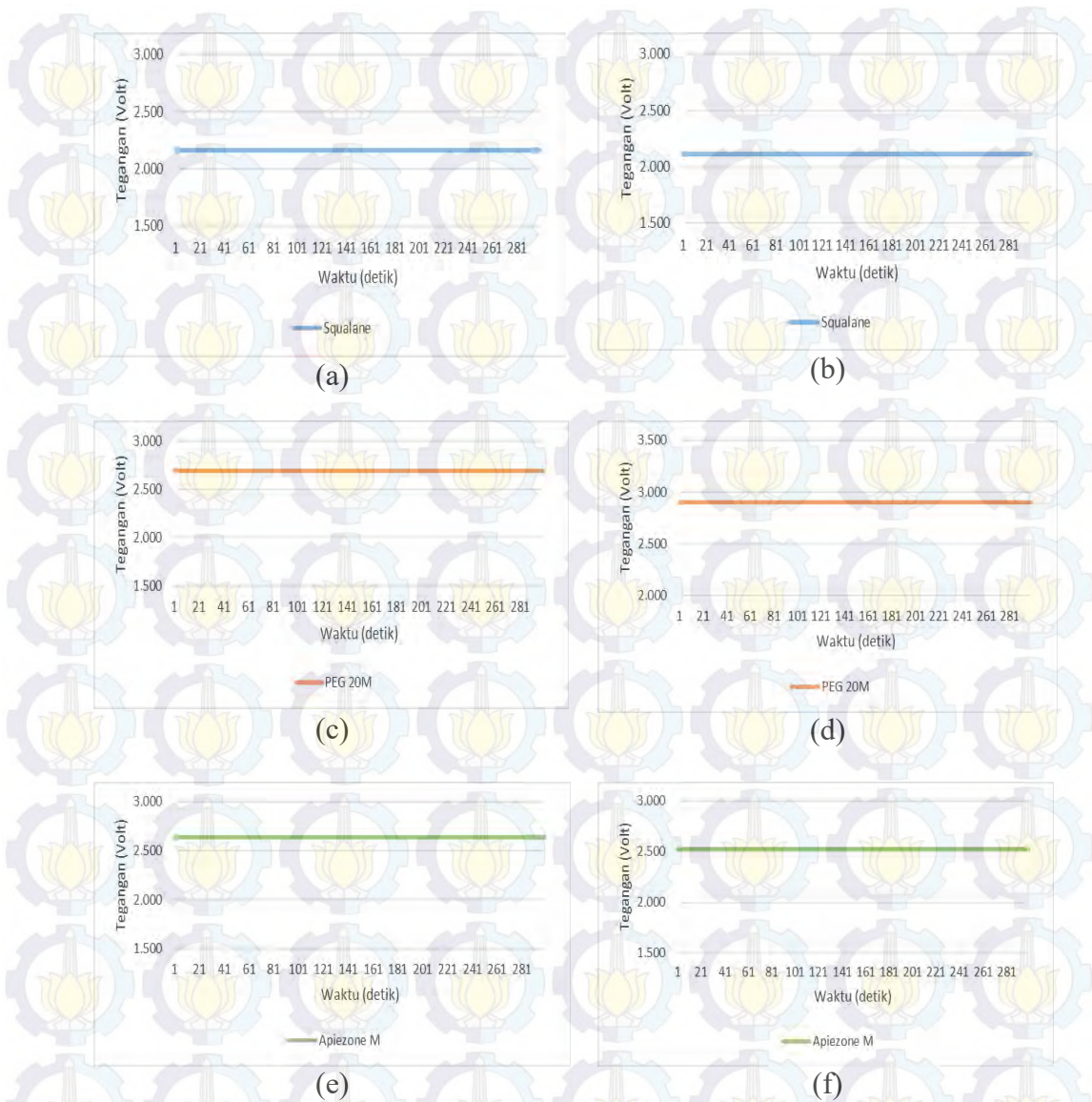
#### 4.4.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Dari hasil pengujian didapatkan respon tegangan dari setiap serat optik. Pengujian dilakukan dari detik ke 0 sampai detik ke 300, dan didapatkan respon yang beragam. Respon tegangan yang berbeda-beda dikarenakan setiap serat optik menggunakan lapisan polimer berbeda. Respon tegangan serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm dapat dilihat pada Gambar 4.10.

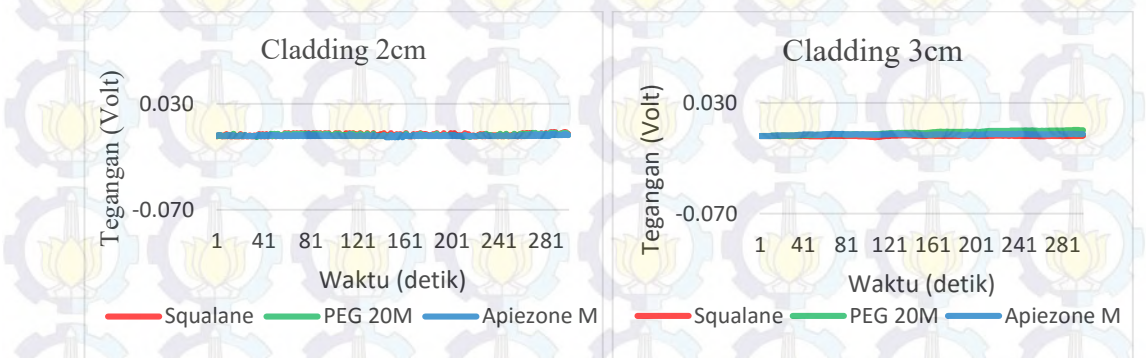
Data yang ditampilkan pada Tabel 4.4 adalah data yang mewakili respon tegangan serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Data yang diperoleh kemudian dibuat mendekati nol (*baseline*). Pembuatan *baseline* dilakukan untuk mempermudah analisa ketika serat optik berinteraksi dengan gas. *Baseline* dibuat dengan cara mengurangi antara data pembacaan sensor dengan referensi. Nilai referensi berasal dari rata-rata 10 data pertama sensor, sehingga apabila dikurangi hasilnya mendekati nol. Hasil kalibrasi sensor serat optik dengan *baseline* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.9 Skema kalibrasi sensor serat optik



**Gambar 4.10** Respon tegangan serat optik *cladding* 2cm dengan lapisan (a) Squalane; (c) PEG 20M; (e) Apiezone M. *Cladding* 3cm (b) Squalane; (d) PEG 20M; (f) Apiezone M



**Gambar 4.11** Kalibrasi sensor serat optik dengan *baseline* pada *Cladding* 2cm *Cladding* 3cm.

Tabel 4.4 Data respon tegangan serat optik pada saat kalibrasi

| No | Serat Optik <i>Cladding</i> 2cm |         |            | Serat Optik <i>Cladding</i> 3cm |         |            |
|----|---------------------------------|---------|------------|---------------------------------|---------|------------|
|    | Squalane                        | PEG 20M | Apiezone M | Squalane                        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.112                           | 2.902   | 2.527      |
| 2  | 2.166                           | 2.689   | 2.637      | 2.113                           | 2.902   | 2.527      |
| 3  | 2.166                           | 2.690   | 2.637      | 2.113                           | 2.902   | 2.527      |
| 4  | 2.166                           | 2.690   | 2.637      | 2.115                           | 2.903   | 2.529      |
| 5  | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.114                           | 2.903   | 2.528      |
| 6  | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.113                           | 2.903   | 2.528      |
| 7  | 2.166                           | 2.689   | 2.636      | 2.115                           | 2.904   | 2.530      |
| 8  | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.113                           | 2.902   | 2.527      |
| 9  | 2.167                           | 2.690   | 2.637      | 2.113                           | 2.903   | 2.528      |
| 10 | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.113                           | 2.902   | 2.528      |
| 11 | 2.166                           | 2.690   | 2.637      | 2.113                           | 2.903   | 2.528      |
| 12 | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.113                           | 2.903   | 2.528      |
| 13 | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.113                           | 2.903   | 2.528      |
| 14 | 2.165                           | 2.689   | 2.637      | 2.115                           | 2.903   | 2.529      |
| 15 | 2.167                           | 2.691   | 2.637      | 2.113                           | 2.903   | 2.528      |
| 16 | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.114                           | 2.903   | 2.529      |
| 17 | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.113                           | 2.902   | 2.528      |
| 18 | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.115                           | 2.903   | 2.529      |
| 19 | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.113                           | 2.902   | 2.528      |
| 20 | 2.165                           | 2.689   | 2.636      | 2.113                           | 2.902   | 2.528      |

#### 4.5 Pengujian Serat Optik Terhadap Perubahan Suhu pada Kelembaban

##### Tetap

##### 4.5.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana karakteristik respon tegangan setiap serat optik dengan *cladding* polimer terhadap perubahan suhu pada tingkat kelembaban tetap. Dengan mengetahui respon tegangan setiap serat optik, maka dapat diketahui tingkat sensitifitas serat optik pada tingkat suhu tertentu.

##### 4.5.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Wadah sensor terlebih dahulu dibersihkan dengan udara kering dari silika gel, dengan kecepatan aliran udara 0.1 LPM.

2. Kelembaban relative (RH) pada wadah sensor diatur bervariasi dari 8%, 20%, 45%, 65%, sampai 80%.
3. Variasi kelembaban pada wadah sensor diatur dengan mengatur aliran uap air secara manual, kemudian diamati menggunakan sensor kelembaban.
4. Setiap variasi kelembaban, suhu secara bertahap dinaikkan dari 27°C sampai 50°C. Cara menaikkan suhu dapat dilihat pada Gambar 3.28.
5. Pengujian dilakukan untuk serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm.
6. Perubahan tegangan pada setiap variasi kelembaban diamati dan disimpan dengan program pada komputer.

#### **4.5.3 Hasil Pengujian dan Analisa**

Pengamatan perubahan suhu dilakukan dengan cara mengamati perubahan respon serat optik dengan kriteria suhu+1. Pengamatan dilakukan untuk variasi kelembaban 8%, 20%, 45%, 65%, 80%. Parameter suhu yang diambil sebanyak 12 tahap atau kriteria, yaitu 27°C, 30°C, 32°C, 34°C, 36°C, 38°C, 40°C, 42°C, 44°C, 46°C, 48°C, dan 50°C. Keseluruhan data dapat dilihat pada Lampiran 1.A.

##### **4.5.3.1 Hasil Pengujian dan Analisa pada RH 8%**

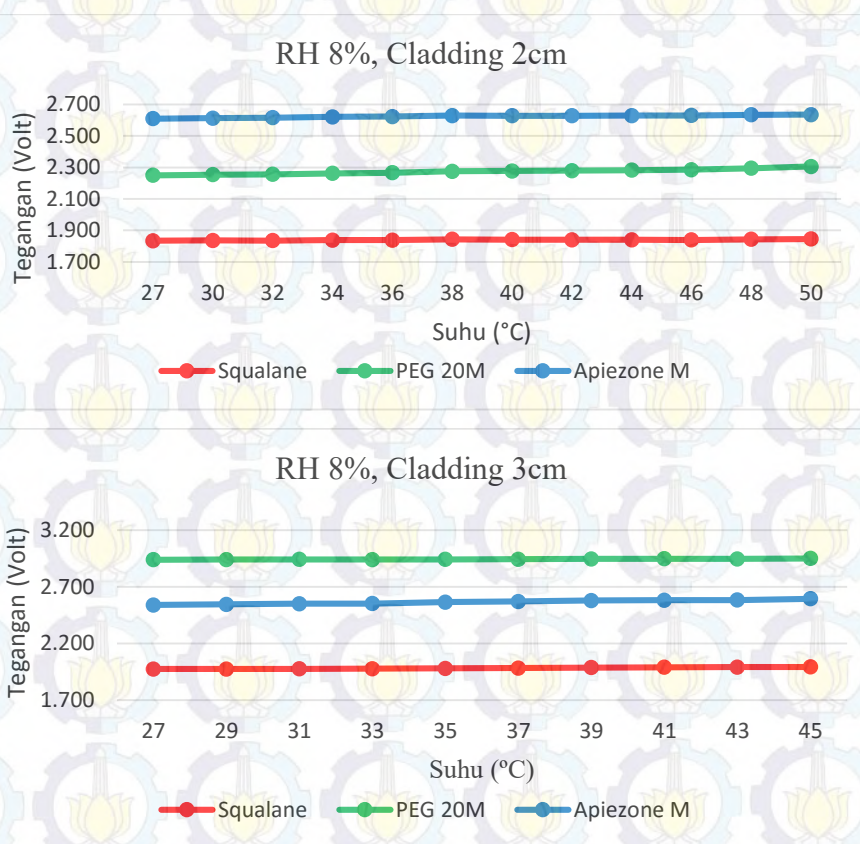
Hasil pengujian serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm pada RH 8% dapat dilihat pada Gambar 4.12. Ketika suhu dinaikkan dari 27°C sampai 50°C, setiap lapisan polimer pada masing-masing ukuran *cladding* mengalami kenaikan tegangan.

Pada ukuran *cladding* 2cm, tegangan pada lapisan Squalane naik dari 1.835V pada suhu 27°C menjadi 1.846V di suhu 50°C, hal ini menunjukkan bahwa perubahan tegangan sebesar 0.011V. Pada lapisan PEG 20M juga mengalami kenaikan tegangan dari 2.250V menjadi 2.306V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.056V. Begitu juga lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.610V menjadi 2.635V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.026V.

Pada ukuran *cladding* 3cm, tegangan pada lapisan Squalane naik dari 1.974V pada suhu 27°C menjadi 1.994V pada suhu 50°C, perubahan tegangan sebesar 0.020V. Pada lapisan PEG 20M juga mengalami kenaikan tegangan dari 2.939V menjadi 2.951V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.012V. Begitu juga

lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.540V menjadi 2.595V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.055V.

Data yang diperlihatkan pada Tabel 4.5 menunjukkan regresi linear dari serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Pada lapisan Squalane nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9672, sehingga kenaikan setiap 1°C adalah 0.0024Volt. Lapisan PEG 20M nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 2cm yaitu 0.9693, nilai kenaikan setiap 1°C adalah 0.0047Volt. Lapisan Apiezone M nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9842, nilai kenaikan setiap 1°C adalah 0.0061Volt.



**Gambar 4.12** Grafik pengujian serat optik pada RH 8%

**Tabel 4.5** Regresi linear perubahan suhu pada RH 8%

| RH (%) | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                 | $R^2$  |
|--------|----------|-----------------|------------------------|--------|
| 8      | 2 cm     | Squalane        | $y = 0.0008x + 1.8346$ | 0.7288 |
|        |          | PEG 20M         | $y = 0.0047x + 2.2436$ | 0.9693 |
|        |          | Apiezone M      | $y = 0.0022x + 2.6103$ | 0.9087 |
|        | 3 cm     | Squalane        | $y = 0.0024x + 1.9701$ | 0.9672 |
|        |          | PEG 20M         | $y = 0.0012x + 2.9376$ | 0.9266 |
|        |          | Apiezone M      | $y = 0.0061x + 2.5332$ | 0.9842 |

#### 4.5.3.2 Hasil Pengujian dan Analisa pada RH 20%

Hasil pengujian serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm pada RH 20% dapat dilihat pada Gambar 4.13. Ketika suhu dinaikkan dari 27°C sampai 50°C, setiap lapisan polimer pada masing-masing ukuran *cladding* mengalami kenaikan dan penurunan tegangan.

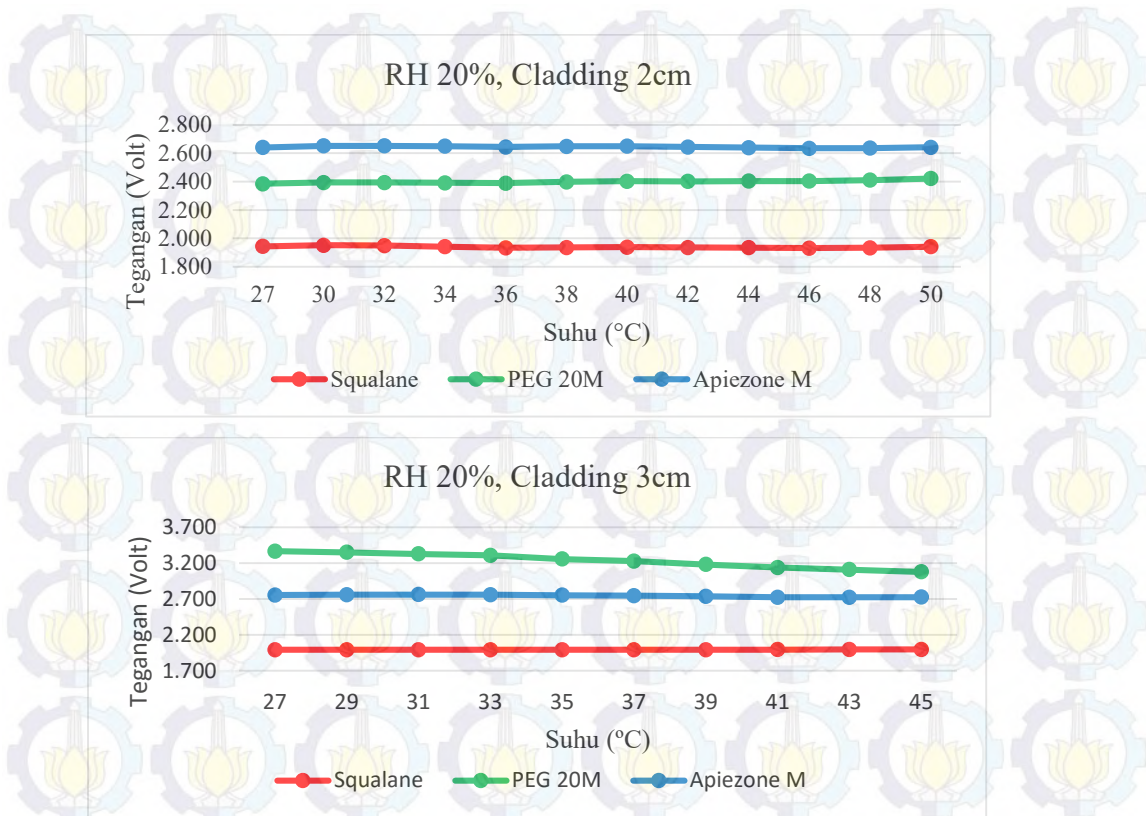
Pada ukuran *cladding* 2cm, tegangan pada lapisan Squalane turun dari 1.943V pada suhu 27°C menjadi 1.941V pada suhu 50°C, hal ini menunjukkan bahwa perubahan tegangan sebesar 0.002V. Pada lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.385V menjadi 2.422V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.037V. Pada lapisan Apiezone M mengalami penurunan tegangan dari 2.641V menjadi 2.642V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.001V.

Pada ukuran *cladding* 3cm, tegangan pada lapisan Squalane naik dari 1.993V pada suhu 27°C menjadi 1.997V pada suhu 50°C, perubahan tegangan sebesar 0.003V. Pada lapisan PEG 20M mengalami penurunan tegangan dari 3.366V menjadi 3.079V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.288V. Begitu juga lapisan Apiezone M mengalami penurunan tegangan dari 2.756V menjadi 2.727V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.030V.

Data yang diperlihatkan pada Tabel 4.6 menunjukkan regresi linear dari serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Pada lapisan Squalane nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.6271, sehingga nilai kenaikannya adalah 0.0005V/°C. Lapisan PEG 20M nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9857, nilai kenaikannya -0.0342V/°C. Lapisan Apiezone M nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.8413, nilai kenaikannya -0.0045V/°C.

**Tabel 4.6** Regresi linear perubahan suhu pada RH 20%

| RH (%) | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                  | $R^2$  |
|--------|----------|-----------------|-------------------------|--------|
| 20     | 2 cm     | Squalane        | $y = -0.0012x + 1.9464$ | 0.4367 |
|        |          | PEG 20M         | $y = 0.0026x + 2.3829$  | 0.8316 |
|        |          | Apiezone M      | $y = -0.0011x + 2.6516$ | 0.4183 |
|        | 3 cm     | Squalane        | $y = 0.0005x + 1.9911$  | 0.6271 |
|        |          | PEG 20M         | $y = -0.0342x + 3.4237$ | 0.9857 |
|        |          | Apiezone M      | $y = -0.0045x + 2.7706$ | 0.8413 |



**Gambar 4.13** Grafik pengujian serat optik pada RH 20%

#### 4.5.3.3 Hasil Pengujian dan Analisa pada RH 45%

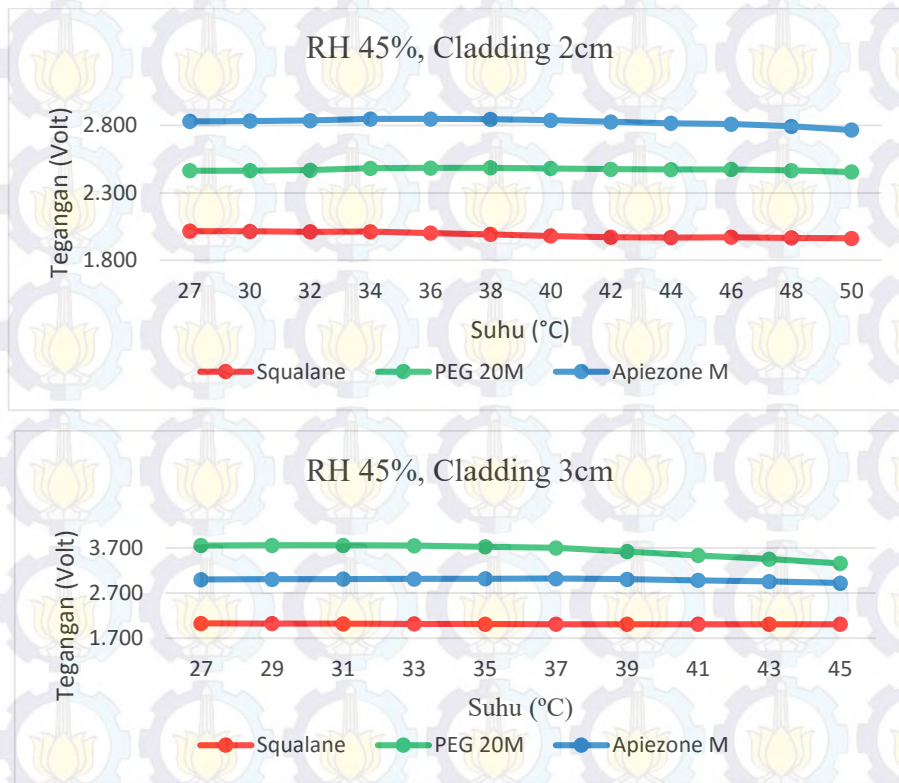
Hasil pengujian serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm pada RH 45% dapat dilihat pada Gambar 4.14. Ketika suhu dinaikkan dari 27°C sampai 50°C, setiap lapisan polimer pada masing-masing ukuran *cladding* mengalami kenaikan dan penurunan tegangan.

Pada ukuran *cladding* 2cm, tegangan pada lapisan Squalane turun dari 2.015V pada suhu 27°C menjadi 1.962V pada suhu 50°C, perubahan tegangan sebesar 0.053V. Pada lapisan PEG 20M mengalami penurunan tegangan dari 2.465V menjadi 2.456V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.010V. Begitu juga lapisan Apiezone M mengalami penurunan tegangan dari 2.831V menjadi 2.766V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.064V.

Pada ukuran *cladding* 3cm, tegangan pada lapisan Squalane turun dari 2.026V pada suhu 27°C menjadi 2.008V pada suhu 50°C, perubahan tegangan sebesar 0.017V. Pada lapisan PEG 20M juga mengalami penurunan tegangan dari 3.758V menjadi 3.361V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.397V. Begitu juga

lapisan Apiezone M mengalami penurunan tegangan dari 3.000V menjadi 2.922V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.077V.

Data yang diperlihatkan pada Tabel 4.7 menunjukkan regresi linear dari serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Pada lapisan Squalane nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 2cm yaitu 0.9296, sehingga nilai sensitivitasnya adalah -0.0057V setiap kenaikan 1°C. Lapisan PEG 20M nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.8318, nilai sensitivitasnya -0.0439V setiap kenaikan 1°C. Lapisan Apiezone M mempunyai linearitas yang tidak baik, namun nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 2cm yaitu 0.5712, nilai sensitivitasnya -0.0052V setiap kenaikan 1°C.



Gambar 4.14 Grafik pengujian serat optik pada RH 45%

Tabel 4.7 Regresi linear perubahan suhu pada RH 45%

| RH (%) | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                | $R^2$  |
|--------|----------|-----------------|-----------------------|--------|
| 45     | 2 cm     | Squalane        | $y=-0.0057x + 2.0252$ | 0.9296 |
|        |          | PEG 20M         | $y=-0.0005x + 2.4762$ | 0.0316 |
|        |          | Apiezone M      | $y=-0.0052x + 2.8588$ | 0.5712 |
|        | 3 cm     | Squalane        | $y=-0.0020x + 2.0255$ | 0.8960 |
|        |          | PEG 20M         | $y=-0.0439x + 3.8862$ | 0.8318 |
|        |          | Apiezone M      | $y=-0.0073x + 3.0352$ | 0.4807 |



#### 4.5.3.4 Hasil Pengujian dan Analisa pada RH 65%

Hasil pengujian serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm pada RH 65% dapat dilihat pada Gambar 4.15. Ketika suhu dinaikkan dari 27°C sampai 50°C, setiap lapisan polimer pada masing-masing ukuran *cladding* mengalami kenaikan dan penurunan tegangan.

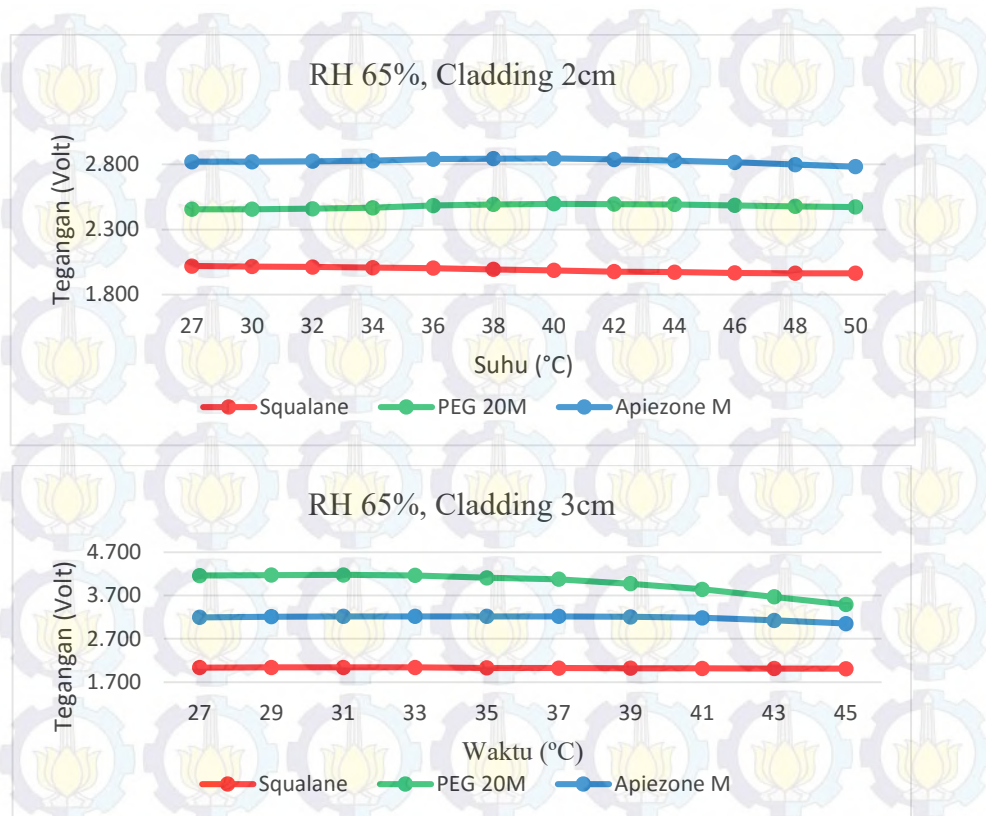
Pada ukuran *cladding* 2cm, tegangan pada lapisan Squalane turun dari 2.020V pada suhu 27°C menjadi 1.963V pada suhu 50°C, perubahan tegangan sebesar 0.056V. Pada lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.456V menjadi 2.472V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.016V. Namun lapisan Apiezone M mengalami penurunan tegangan dari 2.820V menjadi 2.783V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.038V.

Pada ukuran *cladding* 3cm, tegangan pada lapisan Squalane turun dari 2.038V pada suhu 27°C menjadi 2.012V pada suhu 50°C, perubahan tegangan sebesar 0.026V. Pada lapisan PEG 20M juga mengalami penurunan tegangan dari 4.158V menjadi 3.490V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.668V. Begitu juga lapisan Apiezone M mengalami penurunan tegangan dari 3.198V menjadi 3.051V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.147V.

Data yang diperlihatkan pada Tabel 4.8 menunjukkan regresi linear dari serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Pada lapisan Squalane nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 2cm yaitu 0.9800, sehingga nilai sensitivitasnya adalah -0.0058V setiap kenaikan 1°C. Lapisan PEG 20M nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.8099, nilai sensitivitasnya -0.0715V setiap kenaikan 1°C. Lapisan Apiezone M mempunyai linearitas yang tidak baik, namun nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 2cm yaitu 0.5025, nilai sensitivitasnya -0.013Volt setiap kenaikan 1°C.

**Tabel 4.8** Regresi linear perubahan suhu pada RH 65%

| RH (%) | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                | $R^2$  |
|--------|----------|-----------------|-----------------------|--------|
| 65     | 2 cm     | Squalane        | $y=-0.0058x + 2.0278$ | 0.9800 |
|        |          | PEG 20M         | $y= 0.0025x + 2.4614$ | 0.3489 |
|        |          | Apiezone M      | $y=-0.0024x + 2.8393$ | 0.2086 |
|        | 3 cm     | Squalane        | $y=-0.0036x + 2.0483$ | 0.9128 |
|        |          | PEG 20M         | $y=-0.0715x + 4.3759$ | 0.8099 |
|        |          | Apiezone M      | $y=-0.013x + 3.2575$  | 0.5025 |



**Gambar 4.15** Grafik pengujian serat optik pada RH 65%

#### 4.5.3.5 Hasil Pengujian dan Analisa pada RH 80%

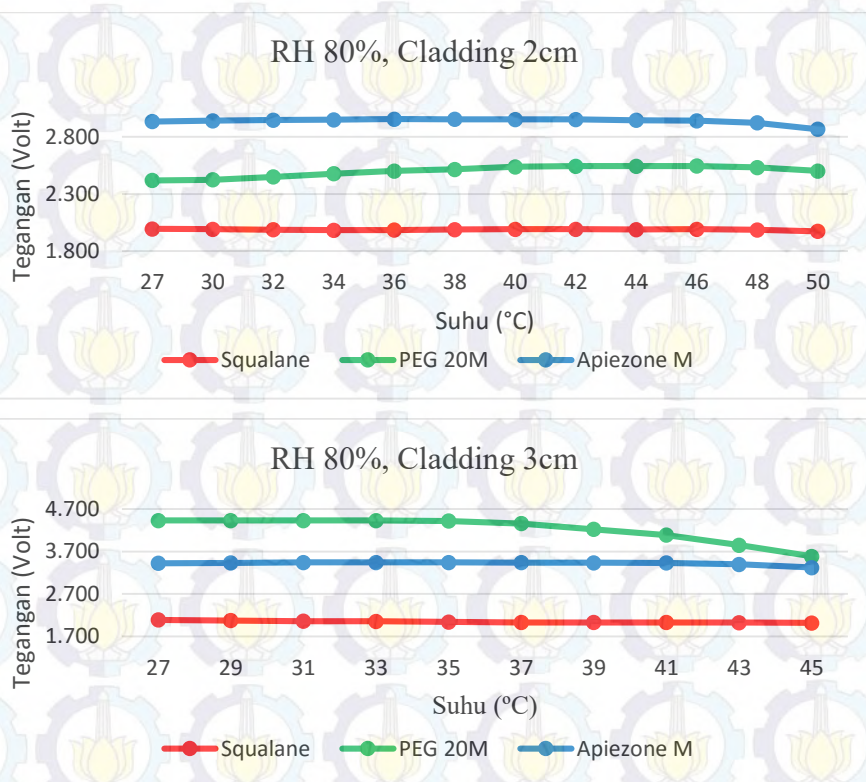
Hasil pengujian serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm pada RH 80% dapat dilihat pada Gambar 4.15. Ketika suhu dinaikkan dari 27°C sampai 50°C, setiap lapisan polimer pada masing-masing ukuran *cladding* mengalami kenaikan dan penurunan tegangan.

Pada ukuran *cladding* 2cm, tegangan pada lapisan Squalane turun dari 1.996V pada suhu 27°C menjadi 1.974V pada suhu 50°C, perubahan tegangan sebesar 0.022V. Pada lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.419V menjadi 2.502V, terjadi perubahan tegangan sebesar 0.083V. Namun lapisan Apiezone M mengalami penurunan tegangan dari 2.935V menjadi 2.867V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.068V.

Pada ukuran *cladding* 3cm, tegangan pada lapisan Squalane turun dari 2.089V pada suhu 27°C menjadi 2.019V pada suhu 50°C, perubahan tegangan sebesar 0.071V. Pada lapisan PEG 20M juga mengalami penurunan tegangan dari 4.430V menjadi 3.587V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.843V. Begitu juga

lapisan Apiezone M mengalami penurunan tegangan dari 3.423V menjadi 3.323V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.100V.

Data yang diperlihatkan pada Tabel 4.9 menunjukkan regresi linear dari serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Pada lapisan Squalane nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9034, sehingga kenaikan setiap 1°C adalah -0.0075V. Lapisan PEG 20M nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.7543, kenaikan setiap 1°C adalah -0.085V. Lapisan Apiezone M mempunyai linearitas yang tidak baik, namun nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.3719, nilai kenaikan setiap 1°C - 0.0075Volt setiap kenaikan 1°C.



**Gambar 4.16** Grafik pengujian serat optik pada RH 80%

**Tabel 4.9** Regresi linear perubahan suhu pada RH 80%

| RH (%) | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                | $R^2$  |
|--------|----------|-----------------|-----------------------|--------|
| 80     | 2 cm     | Squalane        | $y=-0.0007x + 1.9933$ | 0.2090 |
|        |          | PEG 20M         | $y= 0.0106x + 2.4311$ | 0.6715 |
|        |          | Apiezone M      | $y=-0.0034x + 2.9608$ | 0.2545 |
|        | 3 cm     | Squalane        | $y=-0.0075x + 2.0851$ | 0.9034 |
|        |          | PEG 20M         | $y=-0.085x + 4.6925$  | 0.7543 |
|        |          | Apiezone M      | $y=-0.0075x + 3.4616$ | 0.3719 |

## **4.6 Pengujian Serat Optik Terhadap Perubahan Kelembaban pada Suhu Tetap**

### **4.6.1 Tujuan Pengujian**

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana intensitas cahaya serat optik dengan *cladding* polimer berbeda terhadap perubahan kelembaban jika diuji pada suhu tetap. Perubahan intensitas cahaya terhadap perubahan kelembaban menjadi informasi apabila serat optik dilakukan pada penelitian selanjutnya.

### **4.6.2 Prosedur Pengujian**

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Wadah sensor terlebih dahulu dibersihkan dengan udara kering dari silika gel, dengan kecepatan aliran udara 0.1 LPM.
2. Suhu diatur bervariasi mulai dari 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, sampai 50°C.
3. Variasi suhu pada wadah sensor diatur menggunakan sistem kontrol suhu.
4. Setiap variasi suhu, kelembaban secara bertahap dinaikkan dari RH 8% sampai RH 80%. Cara menaikkan suhu dapat dilihat pada Gambar 3.29.
5. Pengujian dilakukan untuk serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Pada pengujian *cladding* 3cm dengan variasi suhu 50°C tidak dilakukan karena dapat merusak serat optik.
6. Perubahan tegangan pada setiap pengujian diamati dan disimpan menggunakan program di komputer.

### **4.6.3 Hasil Pengujian dan Analisa**

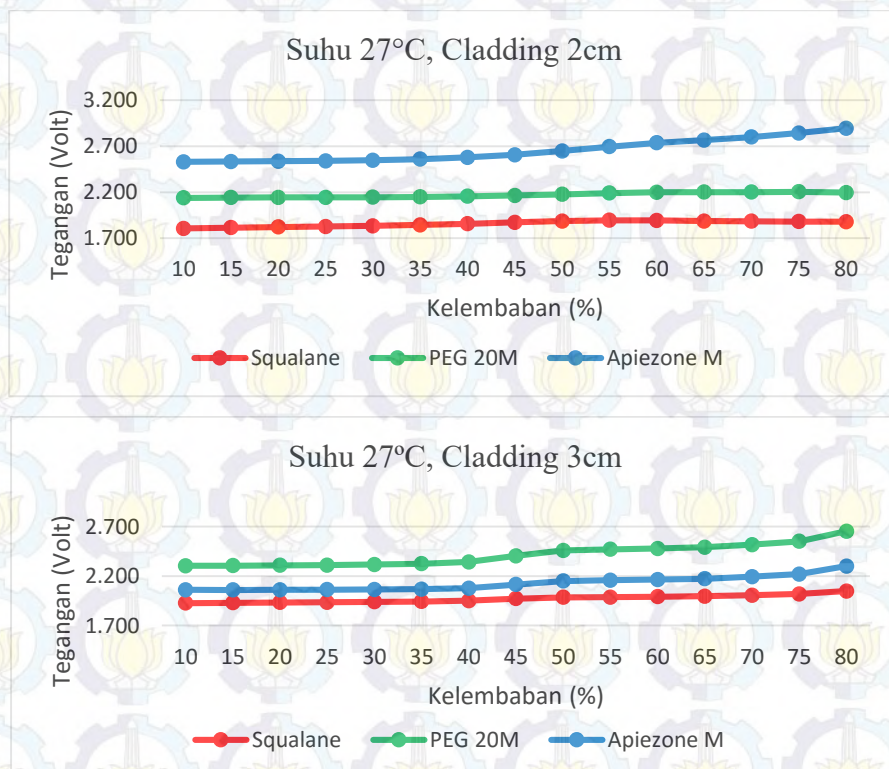
Pengamatan perubahan kelembaban dilakukan dengan cara mengamati perubahan respon serat optik dengan kriteria ( $\text{suhu} \pm 2$ ). Pengamatan dilakukan untuk variasi suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 50°C. Parameter kelembaban yang diambil sebanyak 15 tahap atau kriteria, yaitu 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%. Hasil pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.A.

#### 4.6.3.1 Hasil Pengujian dan Analisa pada Suhu 27°C

Perubahan RH dari 8% sampai 80% pada serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm dengan masing-masing lapisan polimer dapat diamati sesuai Gambar 4.17. Serat optik *cladding* 2cm dengan lapisan Squalane mengalami kenaikan tegangan dari 1.806V sampai 1.880V, sehingga perubahan tegangan sebesar 0.074V. Lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.139V sampai 2.197V, terjadi perubahan tegangan sebesar 0.058V. lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.531V sampai 2.896V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.366V.

**Tabel 4.10** Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu 27°C

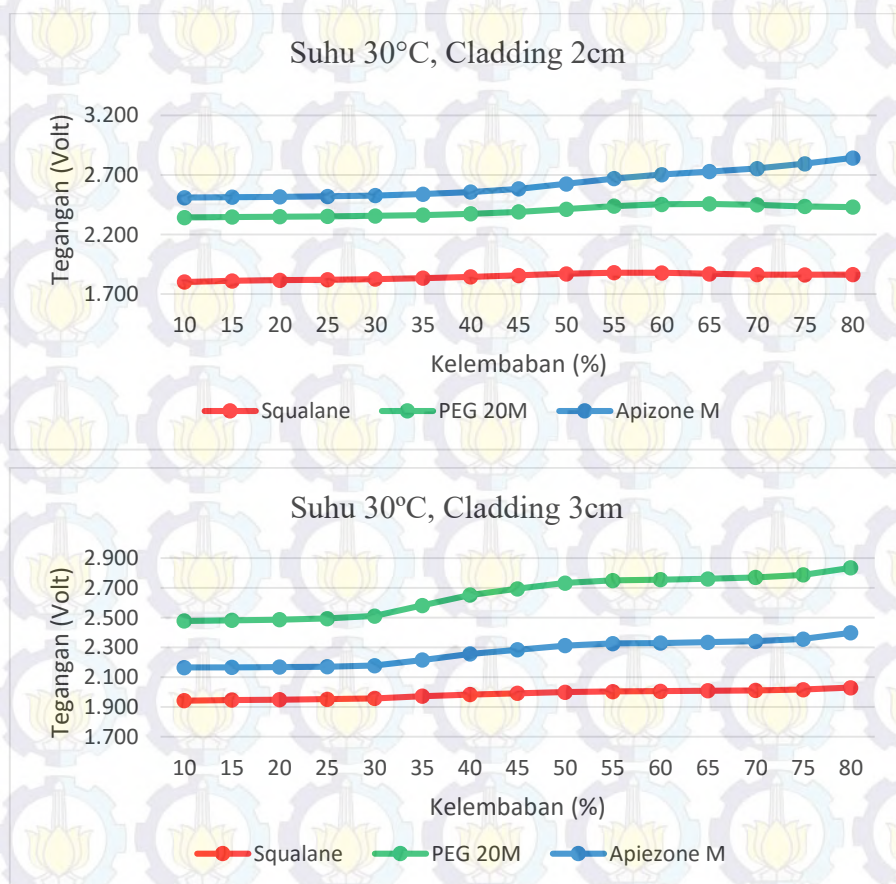
| Suhu (°C) | Cladding | Lapisan Polimer | Linear               | R <sup>2</sup> |
|-----------|----------|-----------------|----------------------|----------------|
| 27        | 2 cm     | Squalane        | $y=0.0063x + 1.8087$ | 0.8206         |
|           |          | PEG 20M         | $y=0.0056x + 2.1259$ | 0.9114         |
|           |          | Apiezone M      | $y=0.0269x + 2.4393$ | 0.9180         |
|           | 3 cm     | Squalane        | $y=0.0080x + 1.9065$ | 0.9416         |
|           |          | PEG 20M         | $y=0.0235x + 2.2277$ | 0.9082         |
|           |          | Apiezone M      | $y=0.0153x + 2.0059$ | 0.8718         |



**Gambar 4.17** Grafik pengujian serat optik pada suhu 27°C

Pada serat optik *cladding* 3cm, lapisan Squalane mengalami kenaikan tegangan dari 1.927V sampai 2.047V, sehingga perubahan tegangan sebesar 0.120V. Lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.304V sampai 2.652V, perubahan tegangan sebesar 0.349V. lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.060V sampai 2.300V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.240V.

Data yang diperlihatkan pada Tabel 4.10 menunjukkan regresi linear dari serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Pada lapisan Squalane nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9416, sehingga kenaikan setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah 0.008V. Lapisan PEG 20M nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 2cm yaitu 0.9114, kenaikan setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah 0.0056V. Lapisan Apiezone M mempunyai nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 2cm yaitu 0.9180, nilai kenaikan setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah 0.0269Volt.



**Gambar 4.18** Grafik pengujian serat optik pada suhu 30°C

**Tabel 4.11** Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu 30°C

| Suhu (°C) | Cladding | Lapisan Polimer | Linear               | R <sup>2</sup> |
|-----------|----------|-----------------|----------------------|----------------|
| 30        | 2 cm     | Squalane        | $y=0.0052x + 1.8057$ | 0.7831         |
|           |          | PEG 20M         | $y=0.0091x + 2.3247$ | 0.8529         |
|           |          | Apiezone M      | $y=0.0246x + 2.4295$ | 0.9255         |
|           | 3 cm     | Squalane        | $y=0.0064x + 1.9333$ | 0.9656         |
|           |          | PEG 20M         | $y=0.0284x + 2.4237$ | 0.9347         |
|           |          | Apiezone M      | $y=0.018x + 2.1229$  | 0.9464         |

#### 4.6.3.2 Hasil Pengujian dan Analisa pada Suhu 30°C

Perubahan RH dari 8% sampai 80% pada serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm dengan masing-masing lapisan polimer dapat diamati pada Gambar 4.18. Serat optik *cladding* 2cm dengan lapisan Squalane mengalami kenaikan tegangan dari 1.802V sampai 1.864V, sehingga perubahan tegangan sebesar 0.062V. Lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.344V sampai 2.432V, terjadi perubahan tegangan sebesar 0.088V. lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.511V sampai 2.843V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.332V.

Pada serat optik *cladding* 3cm, lapisan Squalane mengalami kenaikan tegangan dari 1.943V sampai 2.029V, sehingga perubahan tegangan sebesar 0.086V. Lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.478V sampai 2.835V, perubahan tegangan sebesar 0.357V. lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.164V sampai 2.398V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.234V.

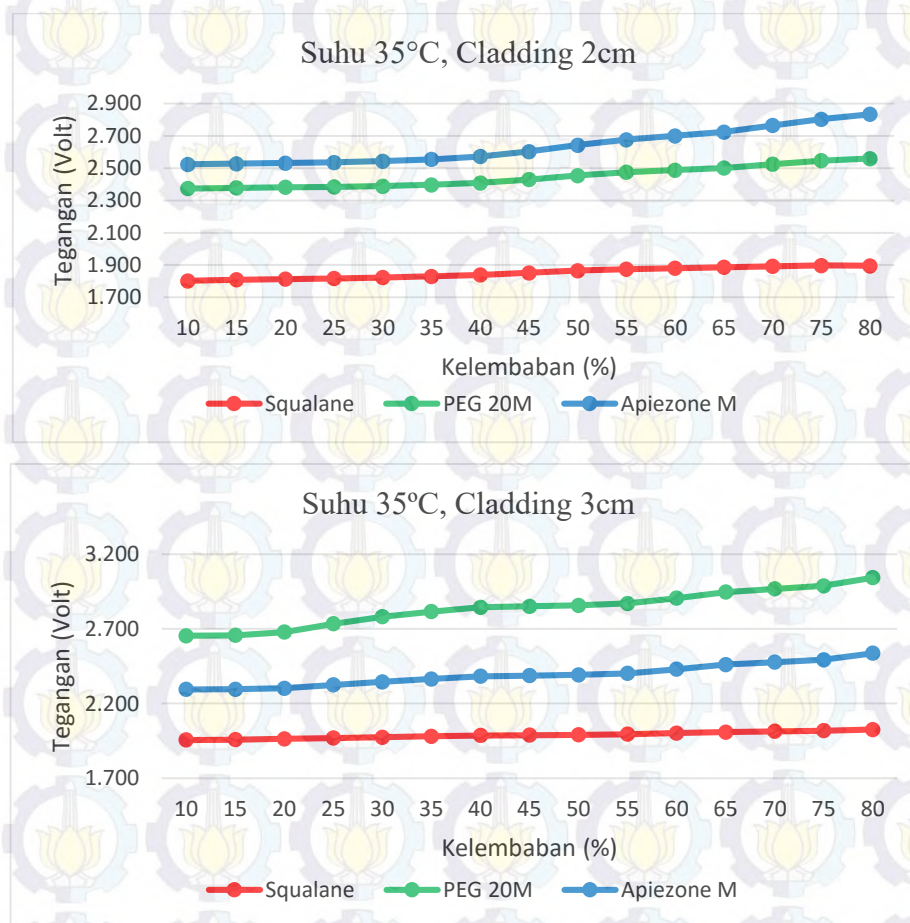
Data yang diperlihatkan pada Tabel 4.11 menunjukkan regresi linear dari serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Pada lapisan Squalane nilai R<sup>2</sup> terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9656, sehingga kenaikan setiap 1°C adalah 0.0064V. Lapisan PEG 20M nilai R<sup>2</sup> terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9347, kenaikan setiap 1°C adalah 0.0284V. Lapisan Apiezone M mempunyai nilai R<sup>2</sup> terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9464, nilai kenaikan setiap 1°C adalah 0.018Volt.

#### 4.6.3.3 Hasil Pengujian dan Analisa pada Suhu 35°C

Perubahan RH dari 8% sampai 80% pada serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm dengan masing-masing lapisan polimer dapat diamati pada Gambar

4.19. Serat optik *cladding* 2cm dengan lapisan Squalane mengalami kenaikan tegangan dari 1.802V sampai 1.895V, sehingga perubahan tegangan sebesar 0.094V. Lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.374V sampai 2.559V, terjadi perubahan tegangan sebesar 0.186V. lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.524V sampai 2.834V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.310V.

Pada serat optik *cladding* 3cm, lapisan Squalane mengalami kenaikan tegangan dari 1.956V sampai 2.025V, sehingga perubahan tegangan sebesar 0.069V. Lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.653V sampai 3.042V, perubahan tegangan sebesar 0.389V. lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.294V sampai 2.537V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.242V.



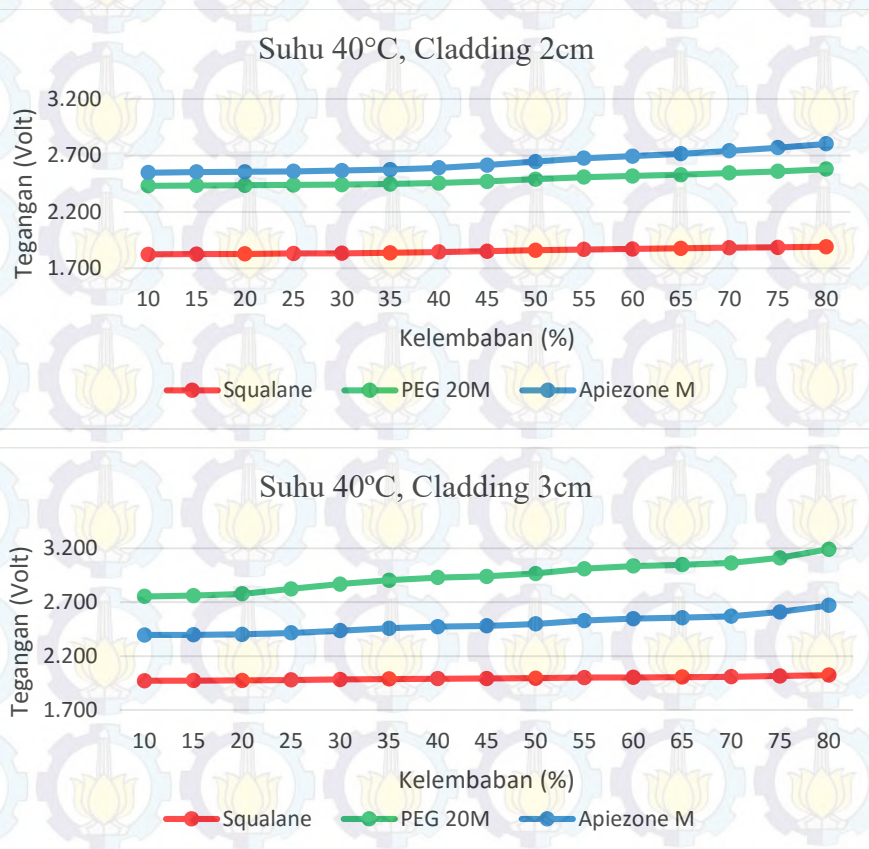
Gambar 4.19 Grafik pengujian serat optik pada suhu 35°C



**Tabel 4.12** Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu 35°C

| Suhu (°C) | Cladding | Lapisan Polimer | Linear               | R <sup>2</sup> |
|-----------|----------|-----------------|----------------------|----------------|
| 35        | 2 cm     | Squalane        | $y=0.0077x + 1.7901$ | 0.9760         |
|           |          | PEG 20M         | $y=0.0143x + 2.3321$ | 0.9494         |
|           |          | Apiezone M      | $y=0.0233x + 2.4498$ | 0.9342         |
|           | 3 cm     | Squalane        | $y=0.0049x + 1.9493$ | 0.9925         |
|           |          | PEG 20M         | $y=0.0268x + 2.6248$ | 0.9758         |
|           |          | Apiezone M      | $y=0.0166x + 2.2596$ | 0.9705         |

Data yang diperlihatkan pada Tabel 4.12 menunjukkan regresi linear dari serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Pada lapisan Squalane nilai R<sup>2</sup> terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9925, sehingga kenaikan setiap 1°C adalah 0.0049V. Lapisan PEG 20M nilai R<sup>2</sup> terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9758, kenaikan setiap 1°C adalah 0.0268V. Lapisan Apiezone M mempunyai nilai R<sup>2</sup> terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9705, nilai kenaikan setiap 1°C adalah 0.0268V.



**Gambar 4.20** Grafik pengujian serat optik pada suhu 40°C

**Tabel 4.13** Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu 40°C

| Suhu (°C) | Cladding | Lapisan Polimer | Linear               | R <sup>2</sup> |
|-----------|----------|-----------------|----------------------|----------------|
| 40        | 2 cm     | Squalane        | $y=0.0053x + 1.8113$ | 0.9801         |
|           |          | PEG 20M         | $y=0.0110x + 2.3970$ | 0.9402         |
|           |          | Apiezone M      | $y=0.0189x + 2.4894$ | 0.9378         |
|           | 3 cm     | Squalane        | $y=0.0036x + 1.9652$ | 0.9875         |
|           |          | PEG 20M         | $y=0.0295x + 2.7102$ | 0.9830         |
|           |          | Apiezone M      | $y=0.0182x + 2.3508$ | 0.9568         |

#### 4.6.3.4 Hasil Pengujian dan Analisa pada Suhu 40°C

Perubahan RH dari 8% sampai 80% pada serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm dengan masing-masing lapisan polimer dapat diamati pada Gambar 4.20. Serat optik *cadding* 2cm dengan lapisan Squalane mengalami kenaikan tegangan dari 1.822V sampai 1.890V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.068V. Lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.431V sampai 2.579V, sehingga perubahan tegangan sebesar 0.148V. lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.548V menjadi 2.804V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.256V.

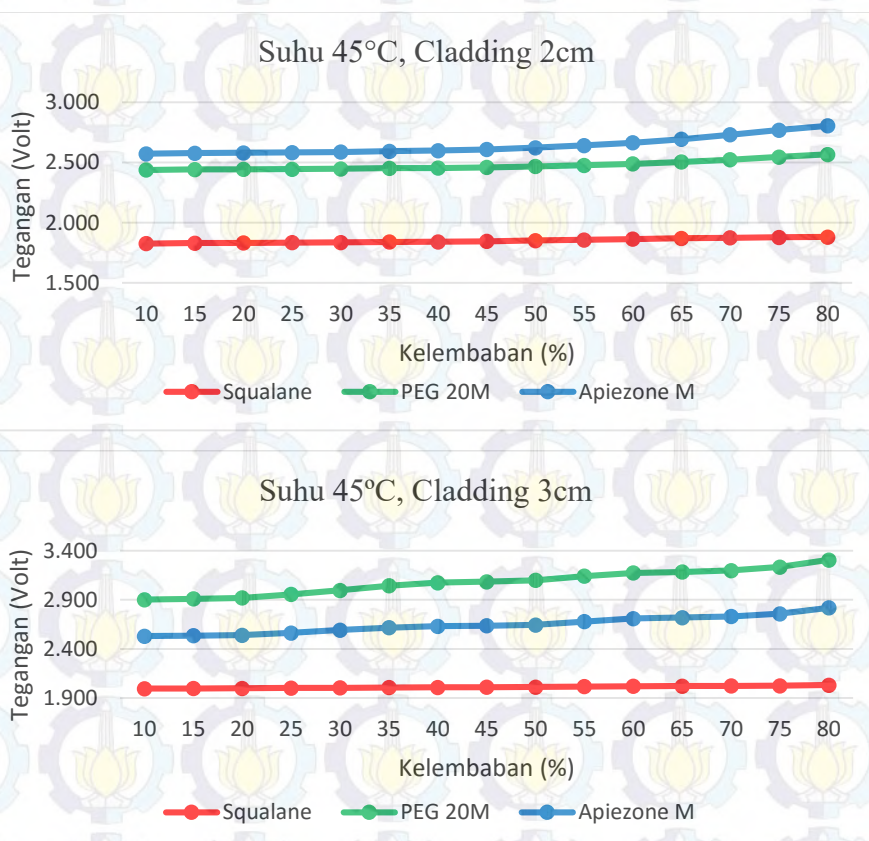
Pada serat optik *cladding* 3cm, lapisan Squalane mengalami kenaikan tegangan dari 1.971V sampai 2.024V, sehingga perubahan tegangan sebesar 0.052V. Lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.755V menjadi 3.192V, perubahan tegangan sebesar 0.438V. lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.397V sampai 2.671V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.274V.

Data yang diperlihatkan pada Tabel 4.13 menunjukkan regresi linear dari serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Pada lapisan Squalane nilai R<sup>2</sup> terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9875, sehingga kenaikan setiap 1°C adalah 0.0036V. Lapisan PEG 20M nilai R<sup>2</sup> terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9830, kenaikan setiap 1°C adalah 0.0295V. Lapisan Apiezone M mempunyai nilai R<sup>2</sup> terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9568, nilai kenaikan setiap 1°C adalah 0.0182V.

#### 4.6.3.5 Hasil Pengujian dan Analisa pada Suhu 45°C

Perubahan RH dari 8% sampai 80% pada serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm dengan masing-masing lapisan polimer dapat diamati pada Gambar

4.21. Serat optik *cladding* 2cm dengan lapisan Squalane mengalami kenaikan tegangan dari 1.827V sampai 1.882V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.055V. Lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.439V sampai 2.567V, sehingga perubahan tegangan sebesar 0.129V. lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.573V menjadi 2.805V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.232V.



**Gambar 4.21** Grafik pengujian serat optik pada suhu 45°C

**Tabel 4.14** Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu 45°C

| Suhu (°C) | Cladding | Lapisan Polimer | Linear               | R <sup>2</sup> |
|-----------|----------|-----------------|----------------------|----------------|
| 45        | 2 cm     | Squalane        | $y=0.0041x + 1.8180$ | 0.9717         |
|           |          | PEG 20M         | $y=0.0084x + 2.4102$ | 0.8510         |
|           |          | Apiezone M      | $y=0.0154x + 2.5188$ | 0.8471         |
|           | 3 cm     | Squalane        | $y=0.0024x + 1.9923$ | 0.9854         |
|           |          | PEG 20M         | $y=0.0279x + 2.8579$ | 0.9834         |
|           |          | Apiezone M      | $y=0.0194x + 2.4917$ | 0.9746         |

Pada serat optik *cladding* 3cm, lapisan Squalane mengalami kenaikan tegangan dari 1.996V sampai 2.032V, sehingga perubahan tegangan sebesar 0.036V. Lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.902V menjadi 3.306V, perubahan tegangan sebesar 0.404V. lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.530V sampai 2.819V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.289V.

Data yang diperlihatkan pada Tabel 4.14 menunjukkan regresi linear dari serat optik *cladding* 2cm dan *cladding* 3cm. Pada lapisan Squalane nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9854, sehingga kenaikan setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah 0.0024V. Lapisan PEG 20M nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9834, kenaikan setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah 0.0279V. Lapisan Apiezone M mempunyai nilai  $R^2$  terbesar pada *cladding* 3cm yaitu 0.9746, nilai kenaikan setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah 0.0194V.

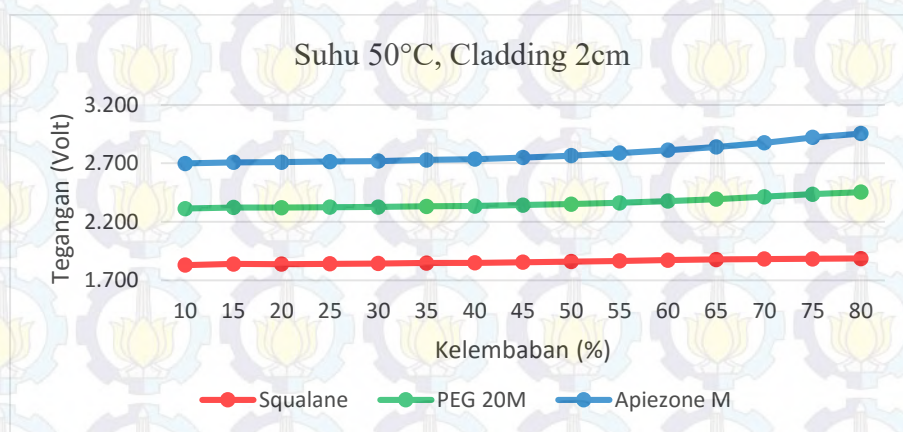
#### 4.6.3.6 Hasil Pengujian dan Analisa pada Suhu $50^\circ\text{C}$

Data yang diperlihatkan pada Tabel 4.15 menunjukkan regresi linear dari serat optik *cladding* 2cm. Pada lapisan Squalane nilai  $R^2$  adalah 0.9781, sehingga kenaikan setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah 0.0041V. Lapisan PEG 20M nilai  $R^2$  adalah 0.8800, kenaikan setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah 0.0094V. Lapisan Apiezone M mempunyai nilai  $R^2$  adalah yaitu 0.8790, nilai kenaikan setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah 0.0173V.

Perubahan RH dari 8% sampai 80% pada serat optik *cladding* 2cm dengan masing-masing lapisan polimer dapat diamati pada Gambar 4.22. Serat optik dengan lapisan Squalane mengalami kenaikan tegangan dari 1.831V sampai 1.887V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.056V. Lapisan PEG 20M mengalami kenaikan tegangan dari 2.313V sampai 2.454V, sehingga perubahan tegangan sebesar 0.140V. lapisan Apiezone M mengalami kenaikan tegangan dari 2.699V menjadi 2.956V, selisih perubahan tegangan sebesar 0.257V.

**Tabel 4.15** Regresi linear perubahan kelembaban pada suhu  $50^\circ\text{C}$

| Suhu ( $^\circ\text{C}$ ) | Cladding | Lapisan Polimer | Linear               | $R^2$  |
|---------------------------|----------|-----------------|----------------------|--------|
| 50                        | 2 cm     | Squalane        | $y=0.0041x + 1.8256$ | 0.9781 |
|                           |          | PEG 20M         | $y=0.0094x + 2.2856$ | 0.8800 |
|                           |          | Apiezone M      | $y=0.0173x + 2.6441$ | 0.8790 |



Gambar 4.22 Grafik pengujian serat optik pada suhu 50°C, *Cladding* 2cm

#### 4.7 Pengujian Serat Optik *Cladding* 2cm Terhadap Sampel Gas dan Pengaruh Perubahan Suhu

##### 4.7.1 Tujuan Pengujian

Pengujian serat optik *cladding* 2cm terhadap perubahan suhu bertujuan untuk memperoleh hubungan antara perubahan suhu dan sampel gas terhadap intensitas cahaya pada serat optik. Sehingga diperoleh informasi mengenai sensitivitas sensor serat optik terhadap tingkatan suhu dan sampel gas.

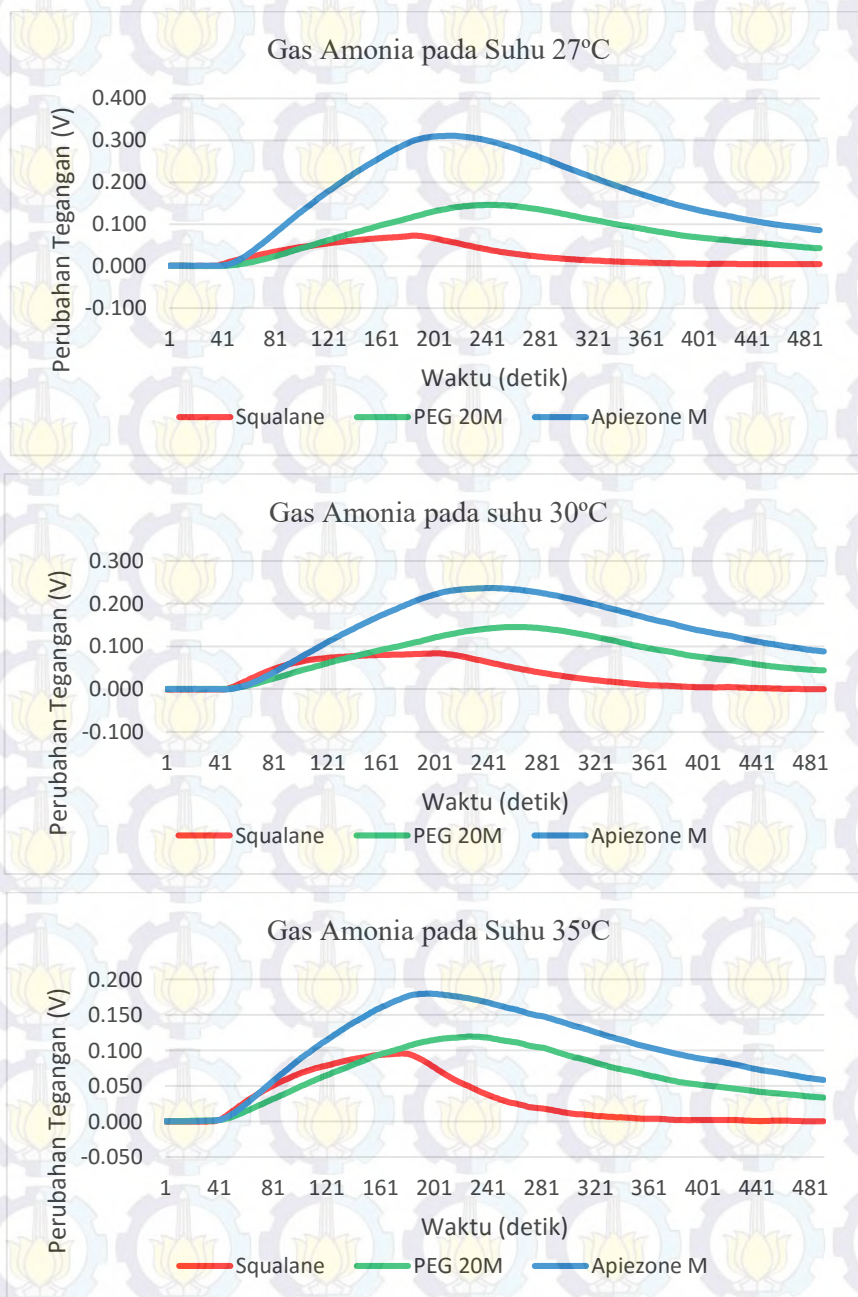
##### 4.7.2 Prosedur Pengujian

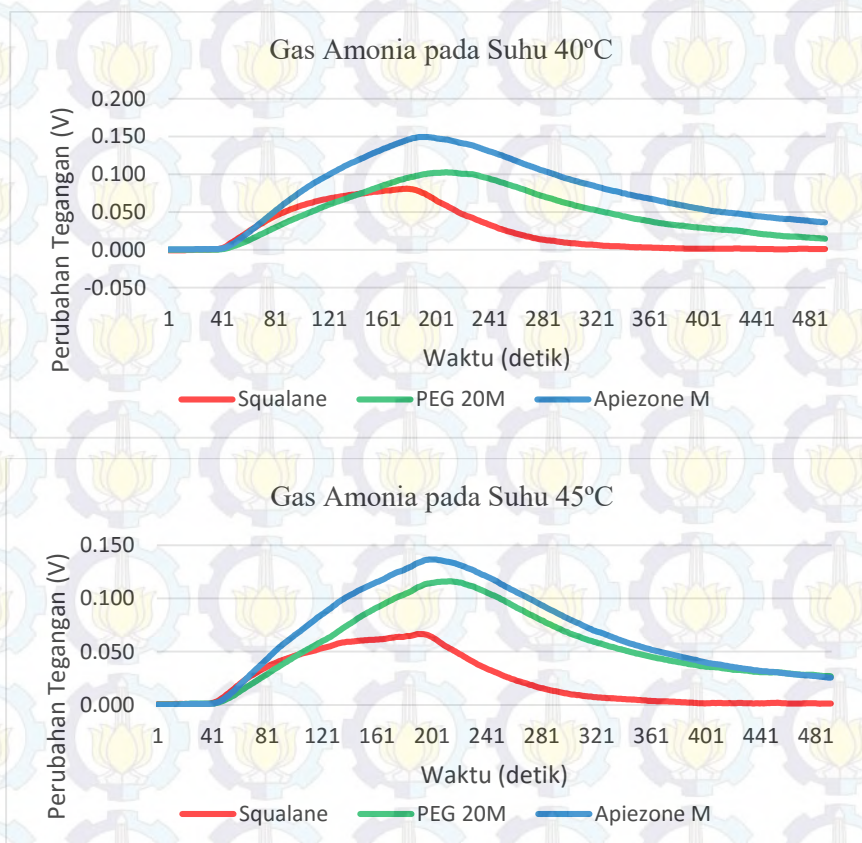
Prosedur pengujian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Wadah sensor terlebih dahulu dibersihkan dengan udara kering dari silika gel dari detik ke 0 sampai detik ke 30.
2. Sampel gas dialirkan ke wadah sensor dari detik ke 31 sampai detik ke 180.
3. Wadah sensor dibersihkan kembali dengan udara kering dari silika gel dari detik ke 181 sampai detik ke 500.
4. Mekanisme aliran udara kering dan sampel gas diatur menggunakan mekanik pengatur aliran udara.
5. Pengujian dilakukan dengan variasi suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C.
6. Setiap variasi suhu dilakukan lima kali pengujian.
7. Hasil pengujian diamati dan disimpan menggunakan program di komputer.

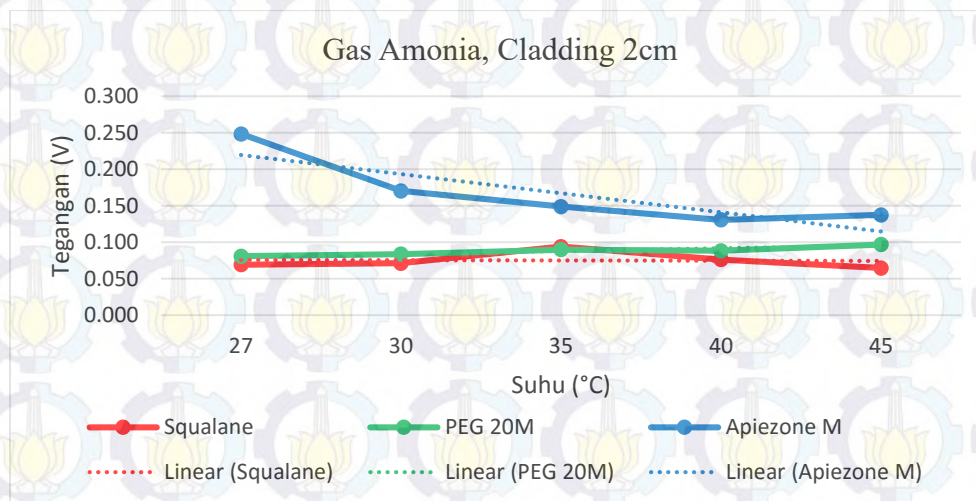
### 4.7.3 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Amonia

Hasil pengujian gas amonia pada suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C dapat dilihat pada Gambar 4.23, dimana setiap lapisan polimer pada serat optik mempunyai respon berbeda. Respon intensitas cahaya serat optik semakin gelap terhadap semua lapisan polimer, hal ini berarti tegangan dari fotodiode semakin tinggi ketika berinteraksi dengan gas amonia. Saat berinteraksi dengan gas amonia, lapisan yang paling sensitif adalah Apiezone M.





**Gambar 4.23** Grafik respon serat optik *cladding* 2cm terhadap gas amonia



**Gambar 4.24** Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik *cladding* 2cm ketika berinteraksi dengan gas amonia

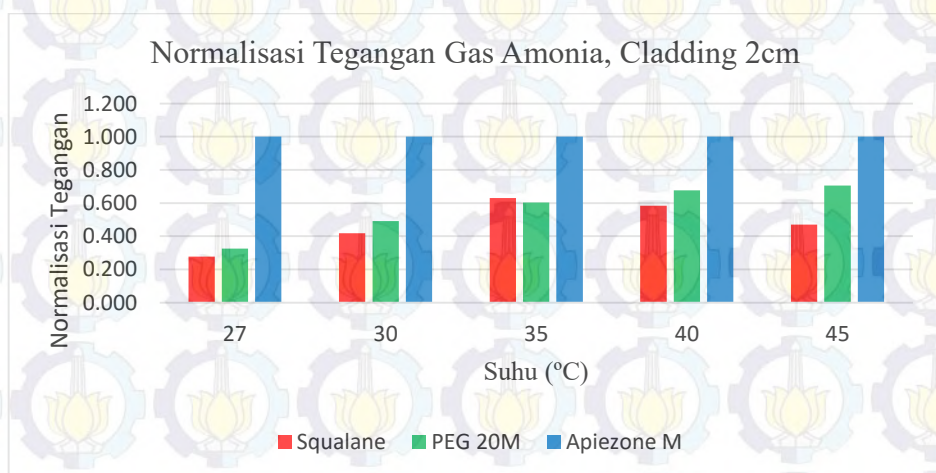
Tabel 4.16 adalah rerata tegangan yang berasal dari lima kali pengujian gas amonia terhadap setiap perubahan suhu, data pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.B. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari detik ke

160 sampai detik ke 170 atau 10 detik terakhir sebelum aliran gas dihentikan. Data yang berasal dari Tabel 4.16 kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan intensitas cahaya ketika berinteraksi dengan gas amonia. Intensitas cahaya yang berupa naik atau turunnya tegangan akan dapat diprediksi untuk setiap 1°C. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.24.

Berdasarkan regresi linear pada Tabel 4.17, lapisan Squalane memiliki linearitas yang buruk terhadap perubahan suhu, hal ini dibuktikan dengan nilai  $R^2 = 0.0028$  dengan penurunan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0004V. Pada lapisan PEG 20M memiliki linearitas perubahan suhu yang baik, dimana  $R^2 = 0.8906$  dengan kenaikan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0037V. Lapisan Apiezone M memiliki linearitas perubahan suhu yang baik, dimana  $R^2 = 0.7471$  dengan penurunan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0262V.

**Tabel 4.16** Rata-rata perubahan tegangan *cladding* 2cm terhadap gas amonia

| No | Gas    | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik <i>Cladding</i> 2cm (V) |              |              |
|----|--------|-----------|---|--------------|--------------|
|    |        |           | Squalane                                    | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1  | Amonia | 27        | <b>0.076</b>                                | <b>0.083</b> | <b>0.231</b> |
| 2  |        | 30        | <b>0.071</b>                                | <b>0.084</b> | <b>0.170</b> |
| 3  |        | 35        | <b>0.094</b>                                | <b>0.090</b> | <b>0.149</b> |
| 4  |        | 40        | <b>0.076</b>                                | <b>0.088</b> | <b>0.131</b> |
| 5  |        | 45        | <b>0.065</b>                                | <b>0.097</b> | <b>0.137</b> |



**Gambar 4.25** Normalisasi rerata tegangan serat optik terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas amonia



**Tabel 4.17** Regresi linear perubahan suhu pada gas amonia dengan *cladding* 2cm

| Gas    | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                  | R <sup>2</sup> |
|--------|----------|-----------------|-------------------------|----------------|
| Amonia | 2cm      | Squalane        | $y = -0.0004x + 0.0761$ | 0.0028         |
|        |          | PEG 20M         | $y = 0.0037x + 0.0768$  | 0.8906         |
|        |          | Apiezone M      | $y = -0.0262x + 0.2457$ | 0.7471         |

Normalisasi data digunakan untuk melihat respon dari ketiga lapisan polimer, sehingga dapat dilihat lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sedang, dan terendah. Normalisasi data berasal dari rerata perubahan tegangan pada Tabel 4.16, dan hasil normalisasi dapat dilihat pada Lampiran 1.B. Berdasarkan normalisasi data untuk setiap perubahan suhu pada Gambar 4.25, dapat diketahui bahwa gas amonia lebih sensitif terhadap lapisan Squalane dan PEG 20M pada suhu 35°C dan terhadap lapisan Apiezone M pada suhu 27°C.

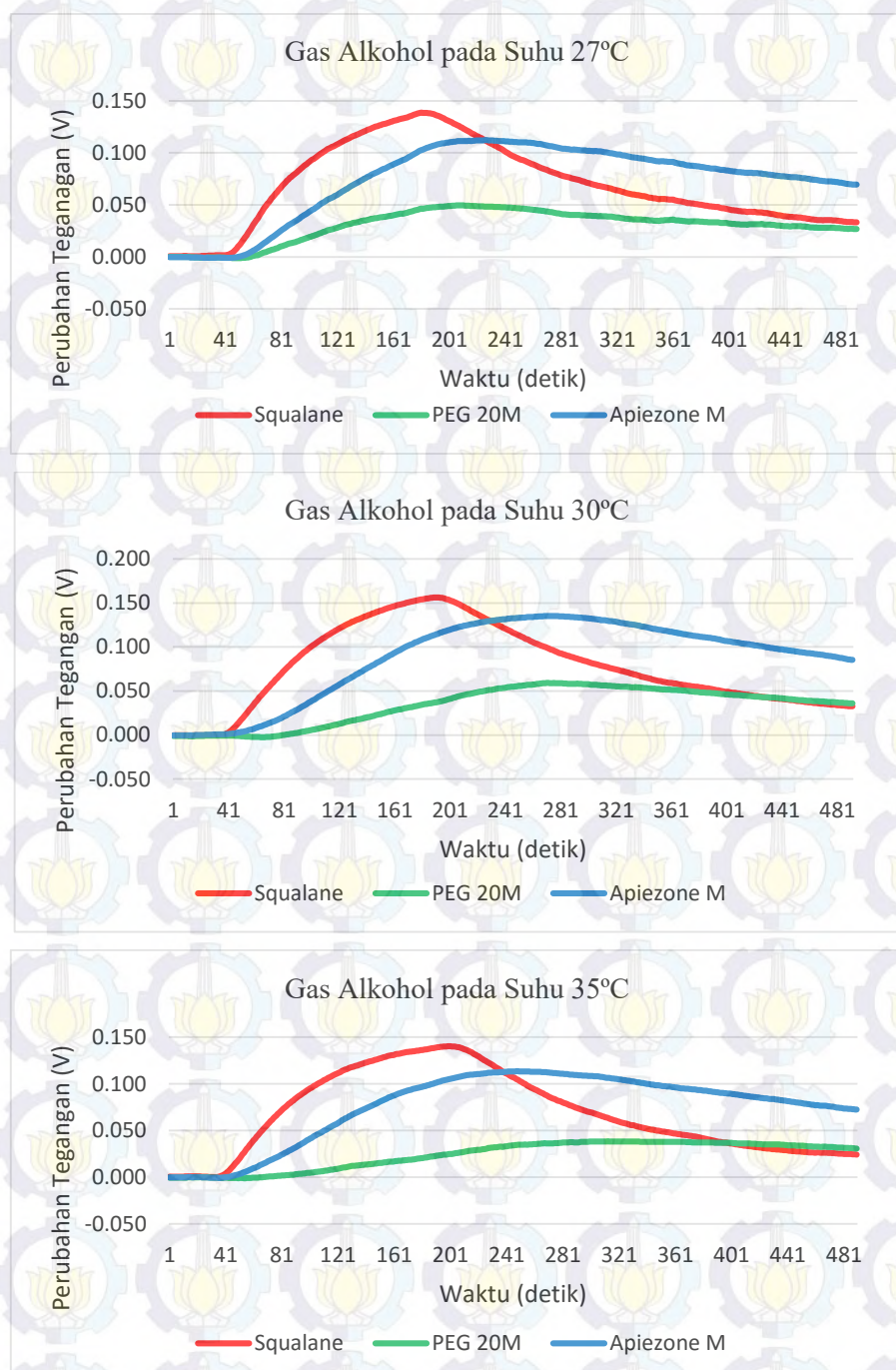
#### 4.7.4 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Alkohol

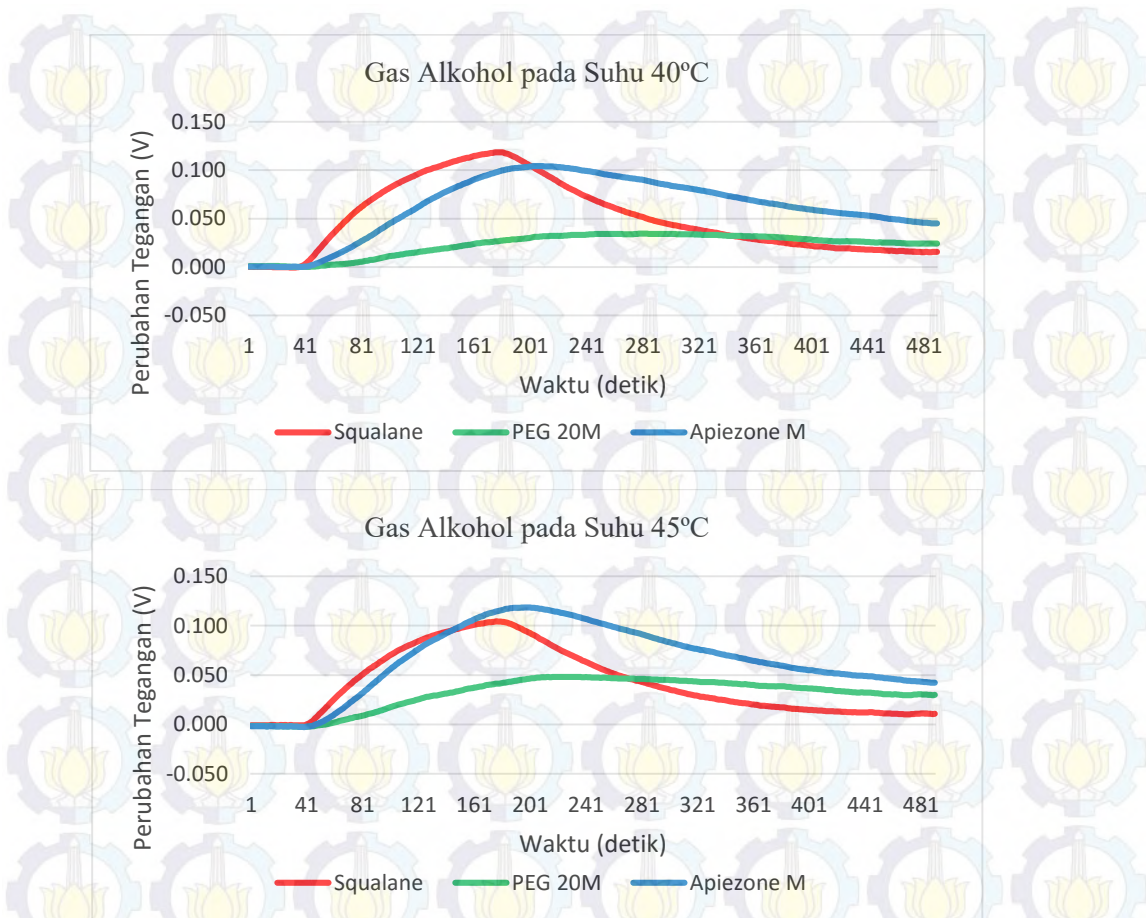
Hasil pengujian gas alkohol pada suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C dapat dilihat pada Gambar 4.26, dimana setiap lapisan polimer pada serat optik mempunyai respon berbeda. Respon intensitas cahaya serat optik semakin gelap terhadap semua lapisan polimer, hal ini berarti tegangan dari fotodiode semakin tinggi ketika berinteraksi dengan gas alkohol. Saat berinteraksi dengan gas alkohol, lapisan yang paling sensitif adalah Squalane.

Tabel 4.18 adalah rerata tegangan yang berasal dari lima kali pengujian gas amonia terhadap setiap perubahan suhu, data pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.B. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari detik ke 160 sampai detik ke 170 atau 10 detik terakhir sebelum aliran gas dihentikan. Data yang berasal dari Tabel 4.18 kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan intensitas cahaya ketika berinteraksi dengan gas amonia. Intensitas cahaya yang berupa naik atau turunnya tegangan akan dapat diprediksi untuk setiap 1°C. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.27.

Berdasarkan regresi linear pada Tabel 4.19, lapisan Squalane memiliki linearitas yang baik terhadap perubahan suhu, hal ini dibuktikan dengan nilai  $R^2 = 0.8577$ , dengan penurunan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0102V. Pada lapisan

PEG 20M memiliki linearitas perubahan suhu yang tidak baik, dimana  $R^2 = 0.0373$  dengan kenaikan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0015\text{V}$ . Lapisan Apiezone M memiliki linearitas perubahan suhu naik turun, dimana  $R^2 = 0.0167$  dengan penurunan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0007\text{V}$ .





**Gambar 4.26** Grafik respon serat optik *cladding* 2cm terhadap gas alkohol

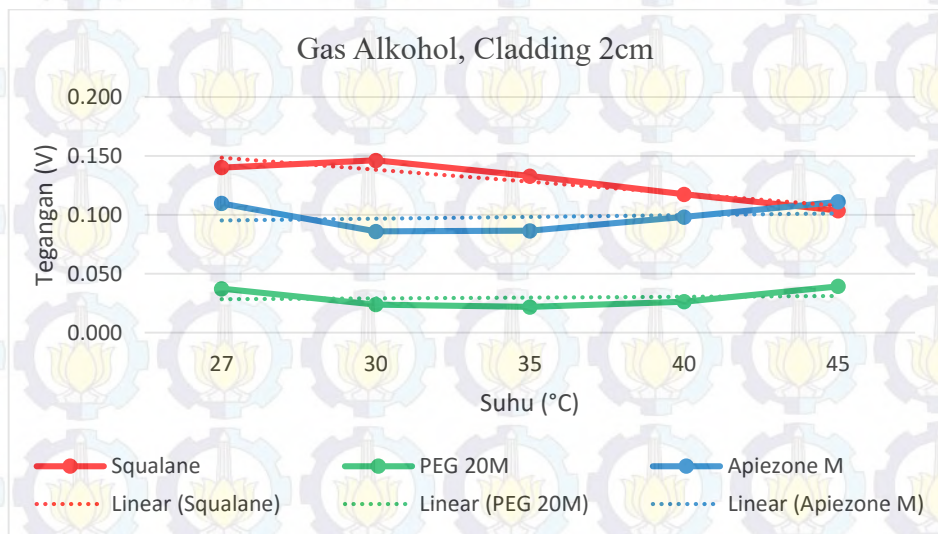
Normalisasi data digunakan untuk melihat respon dari ketiga lapisan polimer, sehingga dapat dilihat lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sedang, dan terendah. Normalisasi data berasal dari rerata perubahan tegangan pada Tabel 4.18, dan hasil normalisasi dapat dilihat pada Lampiran 1.B. Berdasarkan normalisasi data untuk setiap perubahan suhu pada Gambar 4.28, dapat diketahui bahwa gas alkohol lebih sensitif terhadap lapisan Squalane, respon menengah terhadap lapisan Apiezone M dan respon terendah terhadap PEG 20M. Lapisan Squalane paling sensitif pada suhu 30°C, sedangkan lapisan PEG 20M dan Apiezone M pada suhu 45°C.

**Tabel 4.19** Regresi linear perubahan suhu pada gas alkohol dengan *cladding* 2cm

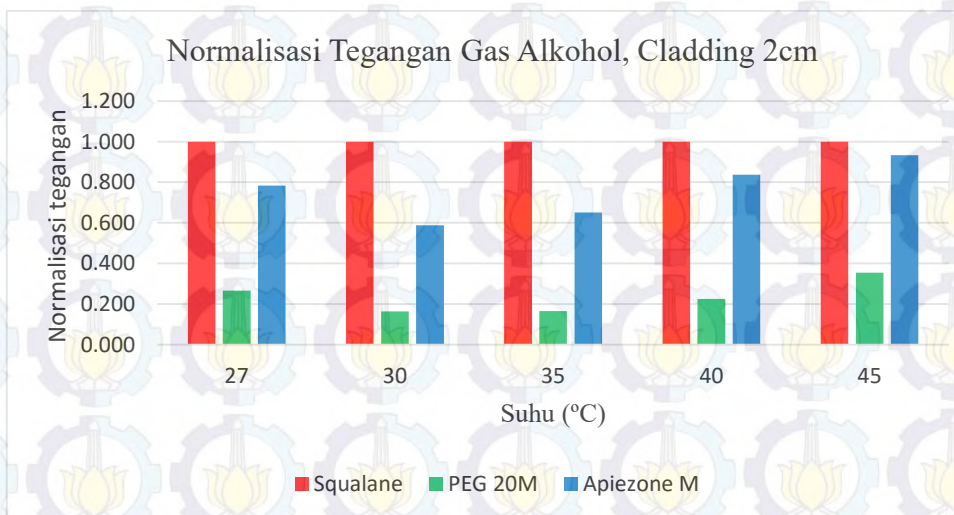
| Gas     | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                  | R <sup>2</sup> |
|---------|----------|-----------------|-------------------------|----------------|
| Alkohol | 2cm      | Squalane        | $y = -0.0102x + 0.1588$ | 0.8577         |
|         |          | PEG 20M         | $y = 0.0015x + 0.0939$  | 0.0373         |
|         |          | Apiezone M      | $y = 0.0007x + 0.0279$  | 0.0167         |

**Tabel 4.18** Rata-rata perubahan tegangan gas alkohol dengan *cladding* 2cm

| No | Gas     | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik <i>Cladding</i> 2cm (V) |              |              |
|----|---------|-----------|---|--------------|--------------|
|    |         |           | Squalane                                    | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1  | Alkohol | 27        | <b>0.140</b>                                | <b>0.037</b> | <b>0.110</b> |
| 2  |         | 30        | <b>0.146</b>                                | <b>0.024</b> | <b>0.086</b> |
| 3  |         | 35        | <b>0.133</b>                                | <b>0.022</b> | <b>0.087</b> |
| 4  |         | 40        | <b>0.117</b>                                | <b>0.026</b> | <b>0.098</b> |
| 5  |         | 45        | <b>0.111</b>                                | <b>0.039</b> | <b>0.104</b> |



**Gambar 4.27** Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik *cladding* 2cm ketika berinteraksi dengan gas alkohol



**Gambar 4.28** Normalisasi rerata tegangan serat optik *cladding* 2cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas alkohol

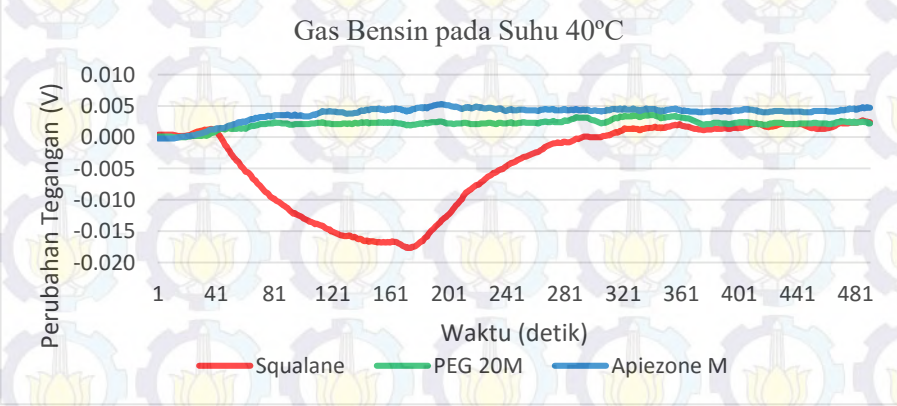
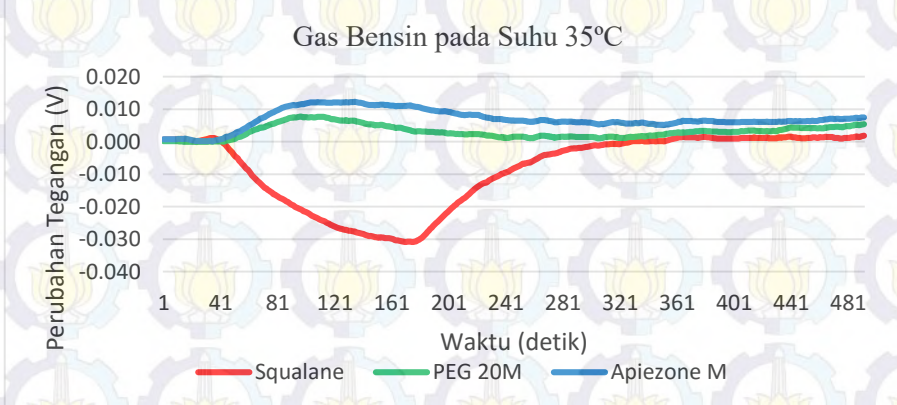
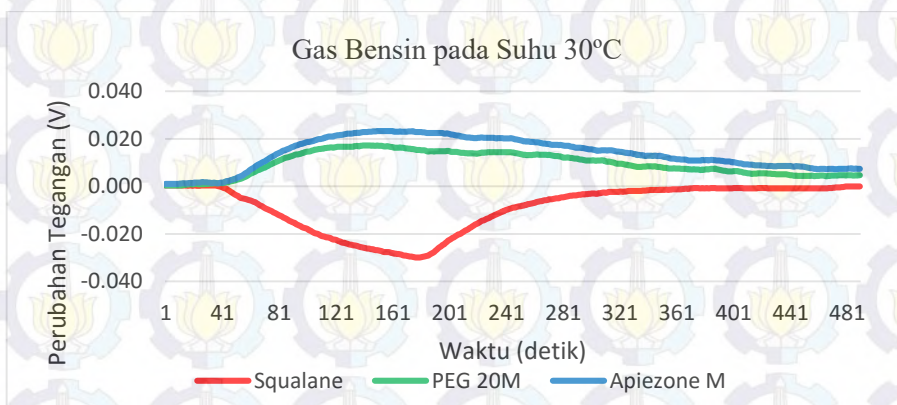
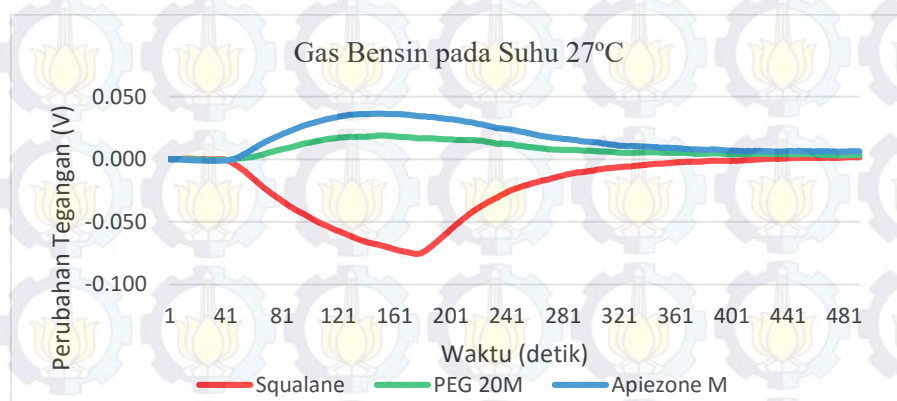
#### 4.7.5 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Bensin

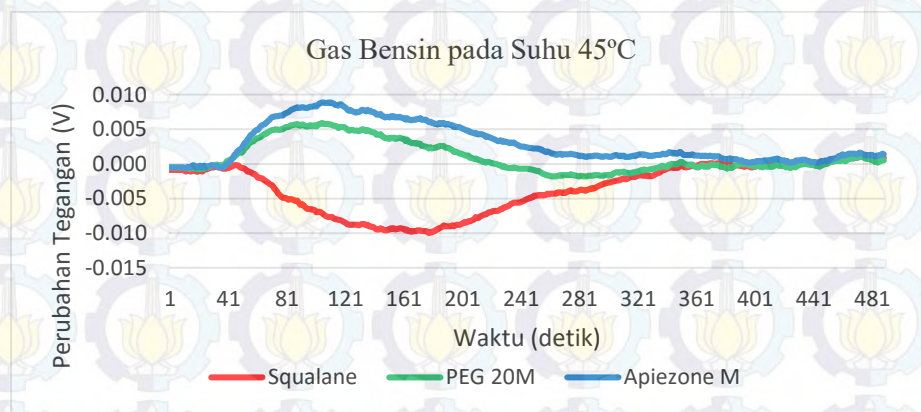
Hasil pengujian gas bensin pada suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C dapat dilihat pada Gambar 4.29, dimana setiap lapisan polimer pada serat optik mempunyai respon berbeda. Respon intensitas cahaya serat optik semakin gelap terhadap lapisan PEG 20M dan Apiezone M, hal ini berarti tegangan dari fotodiode semakin naik. Namun ketika berinteraksi dengan gas bensin, lapisan Squalane membuat intensitas cahaya pada serat optik semakin terang atau tegangan pada fotodiode semakin turun.

Tabel 4.20 adalah rerata tegangan yang berasal dari lima kali pengujian gas bensin terhadap setiap perubahan suhu, data pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.B. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari detik ke 160 sampai detik ke 170 atau 10 detik terakhir sebelum aliran gas dihentikan. Data yang berasal dari Tabel 4.20 kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan intensitas cahaya ketika berinteraksi dengan gas bensin. Intensitas cahaya yang berupa naik atau turunnya tegangan akan dapat diprediksi untuk setiap 1°C. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.30.

Berdasarkan regresi linear pada Tabel 4.21, lapisan Squalane memiliki linearitas yang baik terhadap perubahan suhu, hal ini dibuktikan dengan nilai  $R^2 = 0.9062$ , dengan kenaikan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0129V. Pada lapisan PEG 20M memiliki linearitas perubahan suhu yang kurang baik, dimana  $R^2 = 0.5406$  dengan penurunan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0017V. Lapisan Apiezone M memiliki linearitas perubahan suhu baik, dimana  $R^2 = 0.8372$  dengan penurunan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0026V.

Normalisasi data digunakan untuk melihat respon dari ketiga lapisan polimer, sehingga dapat dilihat lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sedang, dan terendah. Normalisasi data berasal dari rerata perubahan tegangan pada Tabel 4.20, dan hasil normalisasi dapat dilihat pada Lampiran 1.B. Berdasarkan normalisasi data untuk setiap perubahan suhu pada Gambar 4.31, dapat diketahui bahwa gas bensin lebih sensitif terhadap lapisan Squalane, respon menengah terhadap lapisan Apiezone M dan respon terendah terhadap PEG 20M. Lapisan Squalane, PEG 20M dan Apiezone M paling sensitif pada suhu 27°C.

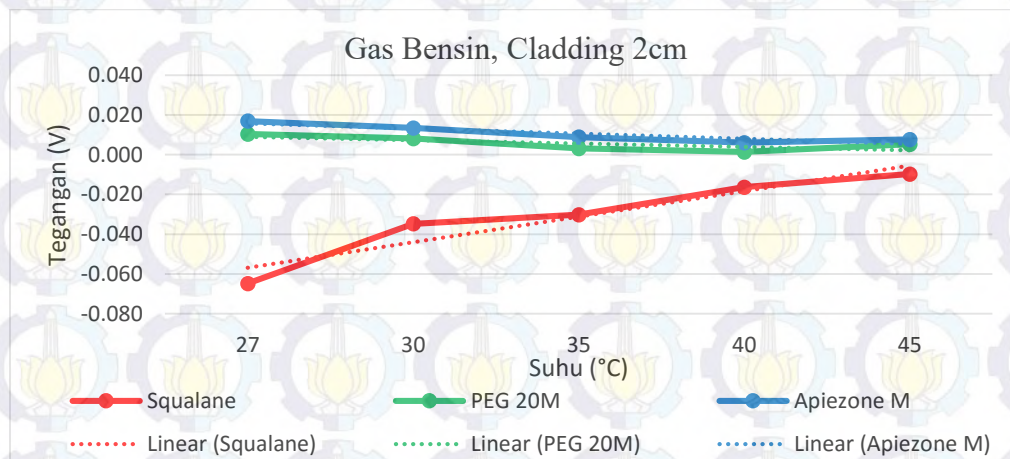




**Gambar 4.29** Grafik respon serat optik *cladding* 2cm terhadap gas bensin

**Tabel 4.20** Rata-rata perubahan tegangan gas bensin dengan *cladding* 2cm

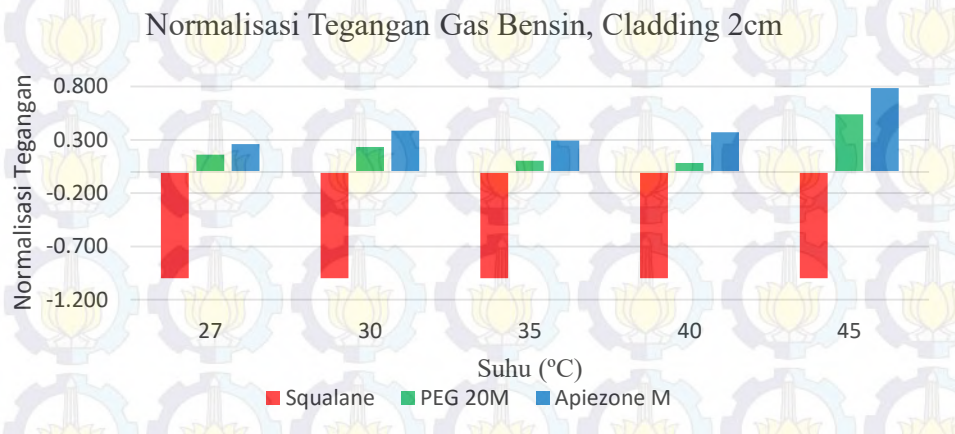
| No | Gas    | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik <i>Cladding</i> 2cm (V) |              |              |
|----|--------|-----------|---|--------------|--------------|
|    |        |           | Squalane                                    | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1  | Bensin | 27        | <b>-0.063</b>                               | <b>0.010</b> | <b>0.018</b> |
| 2  |        | 30        | <b>-0.035</b>                               | <b>0.008</b> | <b>0.013</b> |
| 3  |        | 35        | <b>-0.030</b>                               | <b>0.003</b> | <b>0.009</b> |
| 4  |        | 40        | <b>-0.016</b>                               | <b>0.001</b> | <b>0.006</b> |
| 5  |        | 45        | <b>-0.010</b>                               | <b>0.005</b> | <b>0.008</b> |



**Gambar 4.30** Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik *cladding* 2cm ketika berinteraksi dengan gas bensin

**Tabel 4.21** Regresi linear data perubahan tegangan terhadap suhu dan gas bensin terhadap serat optik *cladding* 2cm

| Gas    | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                  | R <sup>2</sup> |
|--------|----------|-----------------|-------------------------|----------------|
| Bensin | 2cm      | Squalane        | $y = 0.0129x - 0.0697$  | 0.9062         |
|        |          | PEG 20M         | $y = -0.0017x + 0.0107$ | 0.5406         |
|        |          | Apiezone M      | $y = -0.0026x + 0.0183$ | 0.8372         |



**Gambar 4.31** Normalisasi rerata tegangan serat optik *cladding* 2cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas bensin

#### 4.7.6 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Chloroform

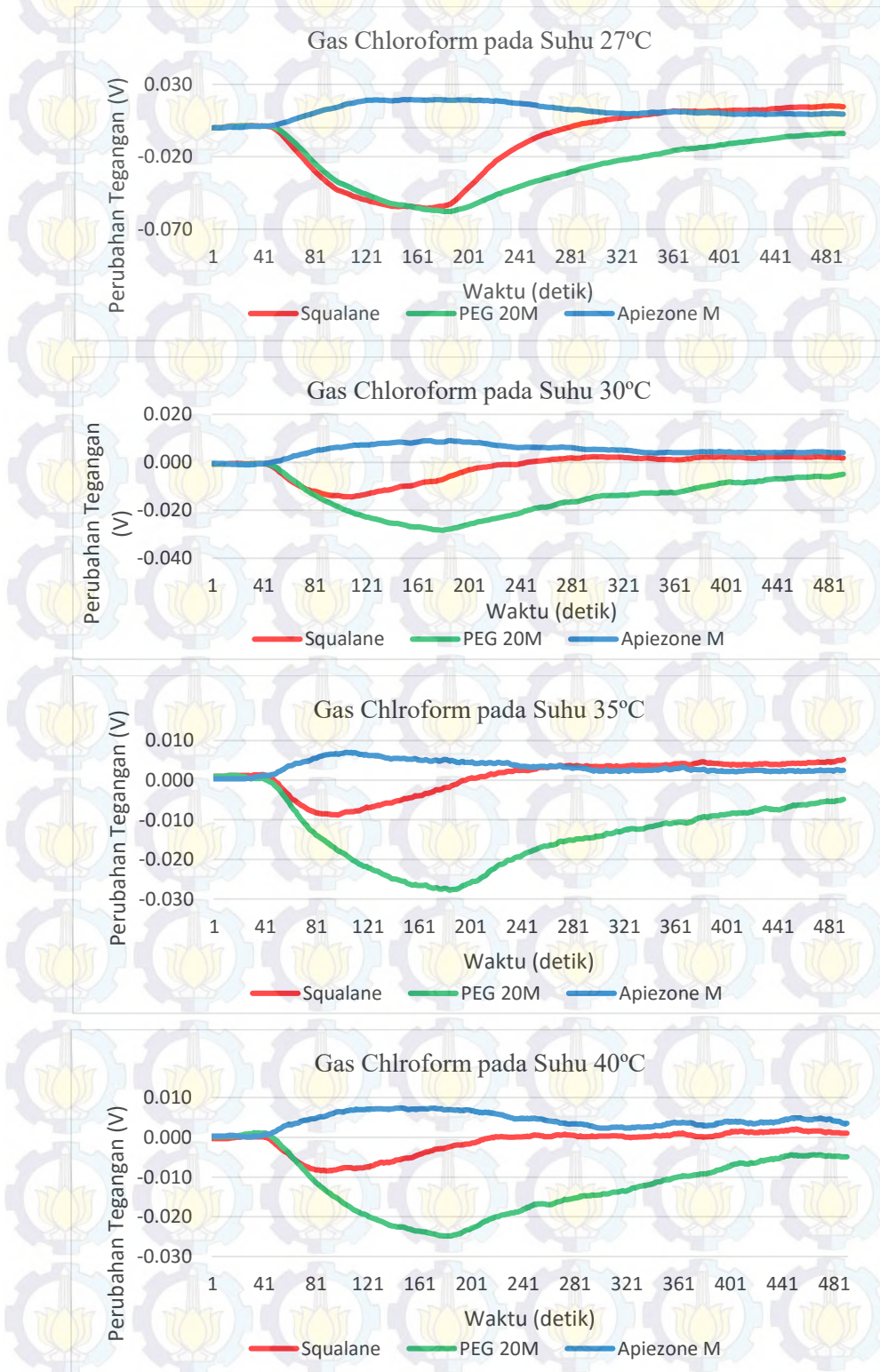
Hasil pengujian gas chloroform pada suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C dapat dilihat pada Gambar 4.32, dimana setiap lapisan polimer pada serat optik mempunyai respon berbeda. Respon intensitas cahaya serat optik semakin gelap terhadap lapisan Apiezone M, hal ini berarti tegangan dari fotodiode semakin naik. Namun ketika berinteraksi dengan gas bensin, lapisan Squalane dan PEG 20M membuat intensitas cahaya pada serat optik semakin terang atau tegangan pada fotodiode semakin turun.

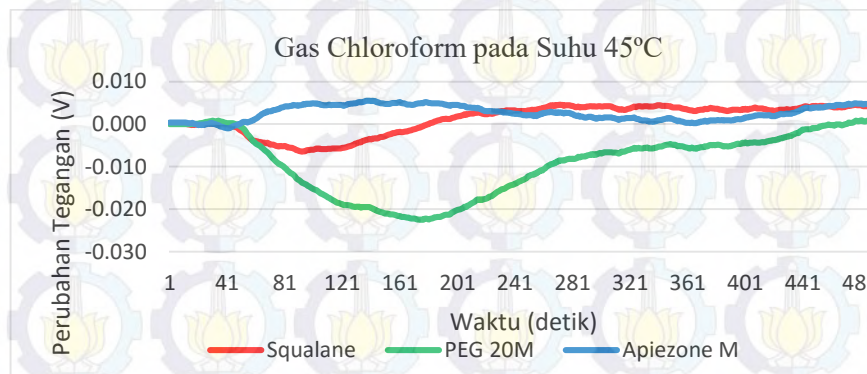
Tabel 4.22 adalah rerata tegangan yang berasal dari lima kali pengujian gas chloroform terhadap setiap perubahan suhu, data pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.B. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari detik ke 160 sampai detik ke 170 atau 10 detik terakhir sebelum aliran gas dihentikan. Data yang berasal dari Tabel 4.22 kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan intensitas cahaya ketika berinteraksi dengan gas chloroform. Intensitas cahaya yang berupa naik atau turunnya tegangan akan dapat diprediksi untuk setiap 1°C. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.33.

Berdasarkan regresi linear pada Tabel 4.23, lapisan Squalane memiliki linearitas yang kurang baik terhadap perubahan suhu, hal ini dibuktikan dengan nilai  $R^2 = 0.6691$ , dengan kenaikan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0083V. Pada lapisan PEG 20M memiliki linearitas perubahan suhu yang kurang baik, dimana  $R^2$



= 0.6752 dengan kenaikan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0038V. Lapisan Apiezone M memiliki linearitas perubahan suhu baik, dimana  $R^2 = 0.8595$  dengan penurunan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0039V.

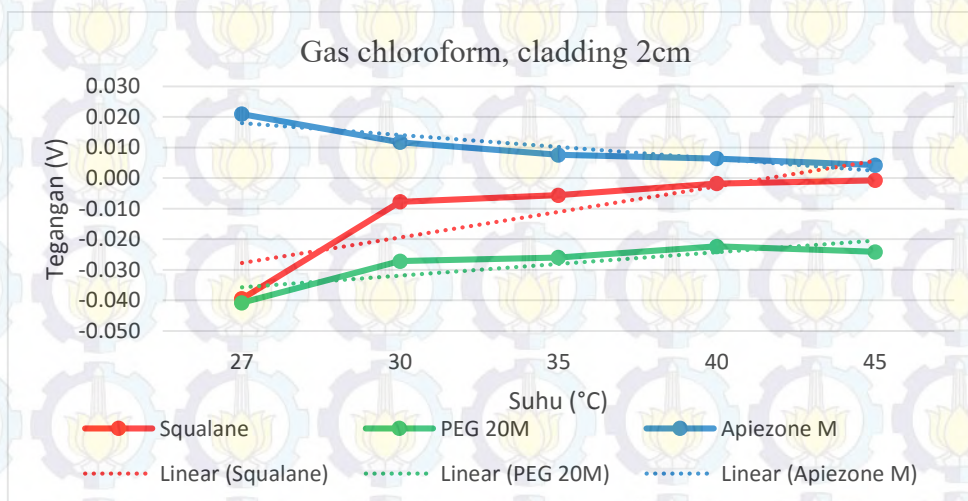




**Gambar 4.32** Grafik respon serat optik *cladding* 2cm terhadap gas chloroform

**Tabel 4.22** Rata-rata perubahan tegangan gas chloroform dengan *cladding* 2cm

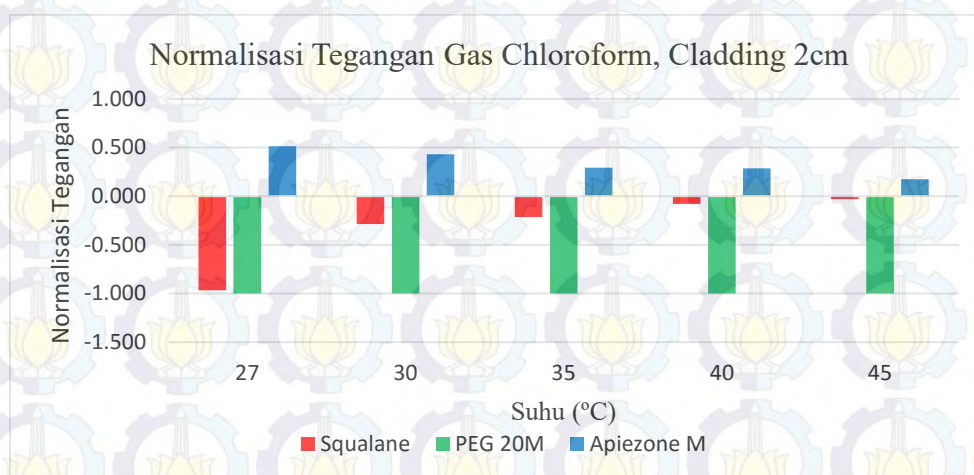
| No | Gas        | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik <i>Cladding</i> 2cm (V) |               |              |
|----|------------|-----------|---|---------------|--------------|
|    |            |           | Squalane                                    | PEG 20M       | Apiezone M   |
| 1  | Chloroform | 27        | <b>-0.039</b>                               | <b>-0.041</b> | <b>0.021</b> |
| 2  |            | 30        | <b>-0.008</b>                               | <b>-0.027</b> | <b>0.012</b> |
| 3  |            | 35        | <b>-0.006</b>                               | <b>-0.026</b> | <b>0.008</b> |
| 4  |            | 40        | <b>-0.002</b>                               | <b>-0.022</b> | <b>0.006</b> |
| 5  |            | 45        | <b>-0.001</b>                               | <b>-0.024</b> | <b>0.004</b> |



**Gambar 4.33** Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik *cladding* 2cm ketika berinteraksi dengan gas chloroform

**Tabel 4.23** Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas chloroform terhadap serat optik *cladding* 2cm

| Gas        | Cladding | Lapisan Polimer | Linear               | R <sup>2</sup> |
|------------|----------|-----------------|----------------------|----------------|
| Chloroform | 2cm      | Squalane        | y= 0.0083x – 0.0361  | 0.6691         |
|            |          | PEG 20M         | y= 0.0038x – 0.0395  | 0.6752         |
|            |          | Apiezone M      | y= -0.0039x + 0.0218 | 0.8595         |



**Gambar 4.34** Normalisasi rerata tegangan serat optik *cladding* 2cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas chloroform

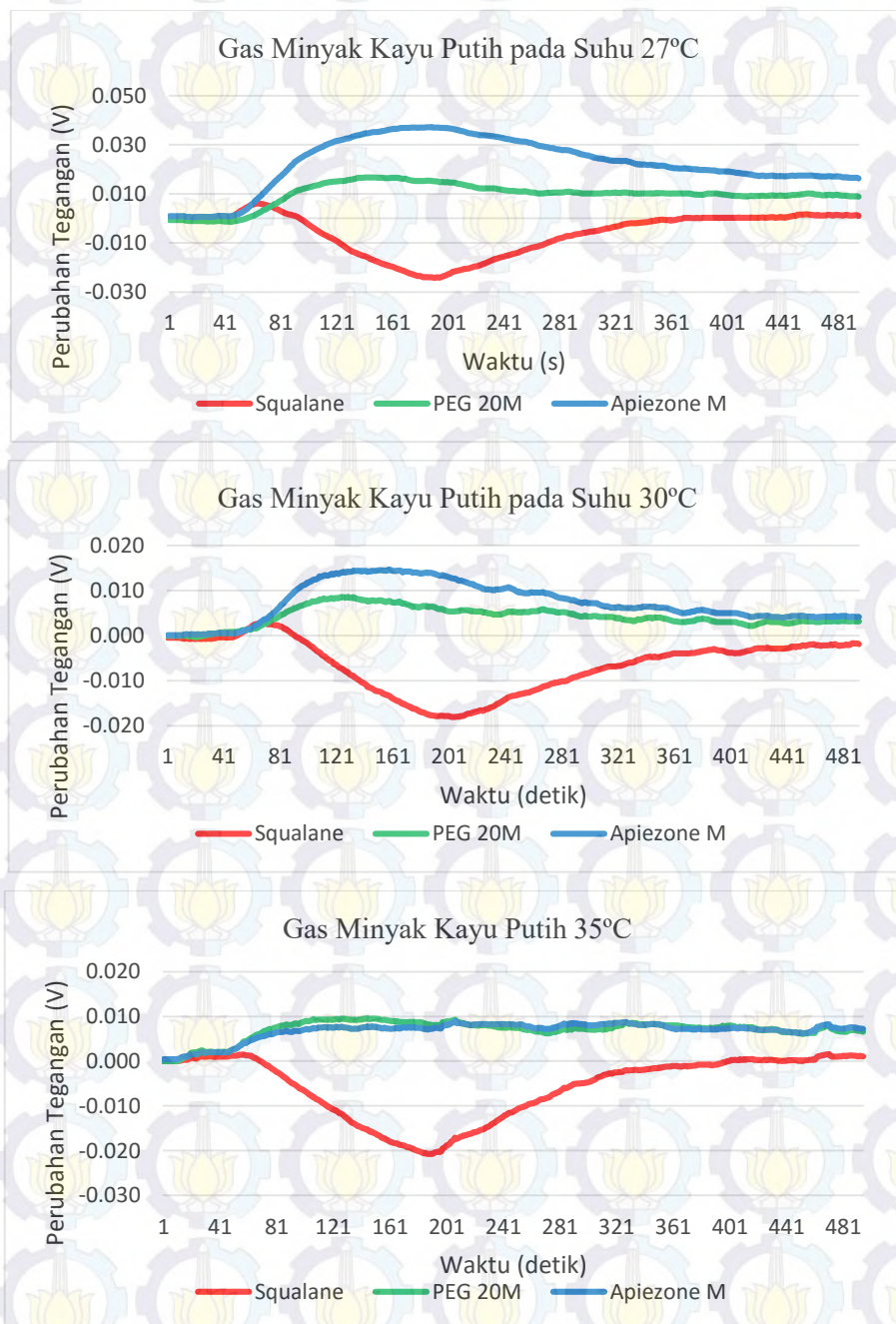
Normalisasi data digunakan untuk melihat respon dari ketiga lapisan polimer, sehingga dapat dilihat lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sedang, dan terendah. Normalisasi data berasal dari rerata perubahan tegangan pada Tabel 4.22, dan hasil normalisasi dapat dilihat pada Lampiran 1.B. Berdasarkan normalisasi data untuk setiap perubahan suhu pada Gambar 4.34, dapat diketahui bahwa gas chloroform lebih sensitif terhadap lapisan PEG 20M, respon menengah terhadap lapisan Apiezone M dan respon terendah terhadap Squalane. Lapisan Squalane, PEG 20M dan Apiezone M paling sensitif pada suhu 27°C.

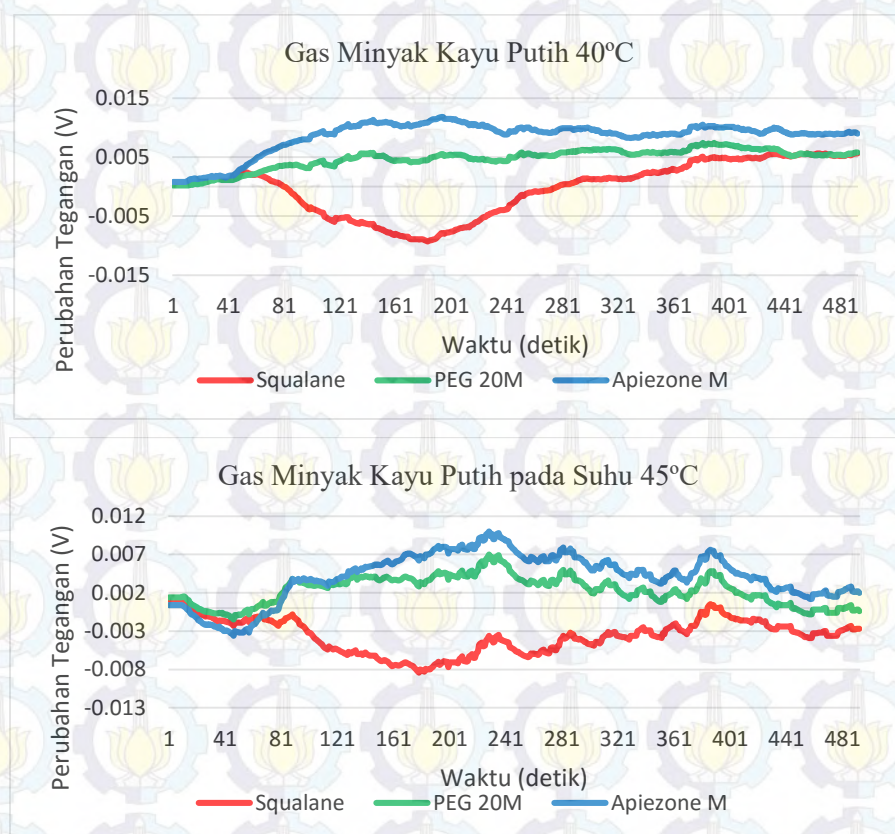
#### 4.7.7 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Minyak Kayu Putih

Hasil pengujian gas minyak kayu putih pada suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C dapat dilihat pada Gambar 4.35, dimana setiap lapisan polimer pada serat optik mempunyai respon berbeda. Respon intensitas cahaya serat optik semakin gelap terhadap lapisan Apiezone M dan PEG 20M, hal ini berarti tegangan dari fotodiode semakin naik. Namun ketika berinteraksi dengan gas bensin, lapisan Squalane membuat intensitas cahaya pada serat optik semakin terang atau tegangan pada fotodiode semakin turun.

Tabel 4.24 adalah rerata tegangan yang berasal dari lima kali pengujian gas chloroform terhadap setiap perubahan suhu, data pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.B. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari

detik ke 160 sampai detik ke 170 atau 10 detik terakhir sebelum aliran gas dihentikan. Data yang berasal dari Tabel 4.24 kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan intensitas cahaya ketika berinteraksi dengan gas chloroform. Intensitas cahaya yang berupa naik atau turunnya tegangan akan dapat diprediksi untuk setiap 1°C. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.36.





**Gambar 4.35** Grafik respon gas minyak kayu putih dengan *cladding* 2cm

**Tabel 4.24** Rata-rata perubahan tegangan gas minyak kayu putih *cladding* 2cm

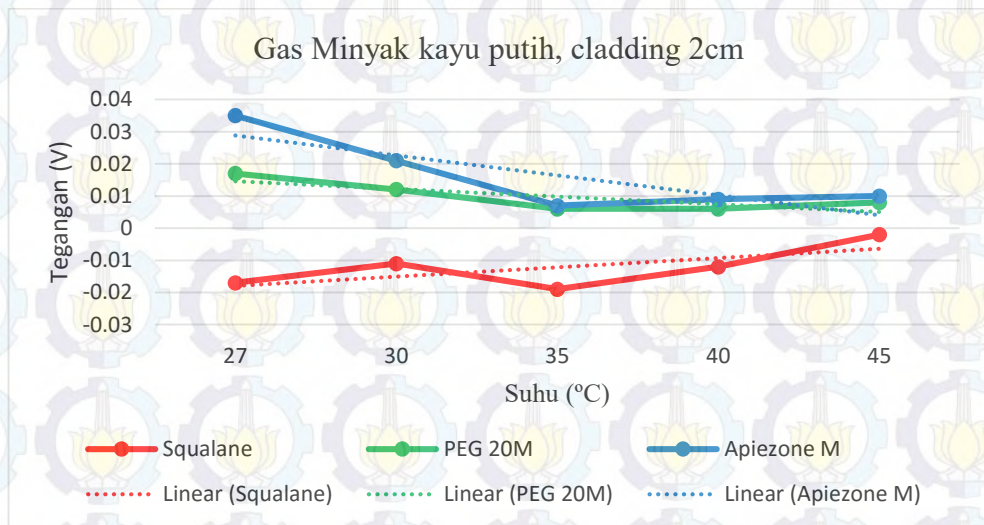
| No | Gas               | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik <i>Cladding</i> 2cm (V) |              |              |
|----|-------------------|-----------|---|--------------|--------------|
|    |                   |           | Squalane                                    | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1  | Minyak Kayu Putih | 27        | <b>-0.017</b>                               | <b>0.017</b> | <b>0.035</b> |
| 2  |                   | 30        | <b>-0.011</b>                               | <b>0.012</b> | <b>0.021</b> |
| 3  |                   | 35        | <b>-0.019</b>                               | <b>0.006</b> | <b>0.007</b> |
| 4  |                   | 40        | <b>-0.012</b>                               | <b>0.006</b> | <b>0.009</b> |
| 5  |                   | 45        | <b>-0.002</b>                               | <b>0.008</b> | <b>0.010</b> |

Normalisasi data digunakan untuk melihat respon dari ketiga lapisan polimer, sehingga dapat dilihat lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sedang, dan terendah. Normalisasi data berasal dari rerata perubahan tegangan pada Tabel 4.24, dan hasil normalisasi dapat dilihat pada Lampiran 1.B. Berdasarkan normalisasi data untuk setiap perubahan suhu pada Gambar 4.36, dapat diketahui bahwa gas minyak kayu putih lebih sensitif terhadap lapisan Apiezone M, respon menengah terhadap lapisan PEG 20M dan respon terendah terhadap Squalane. Lapisan

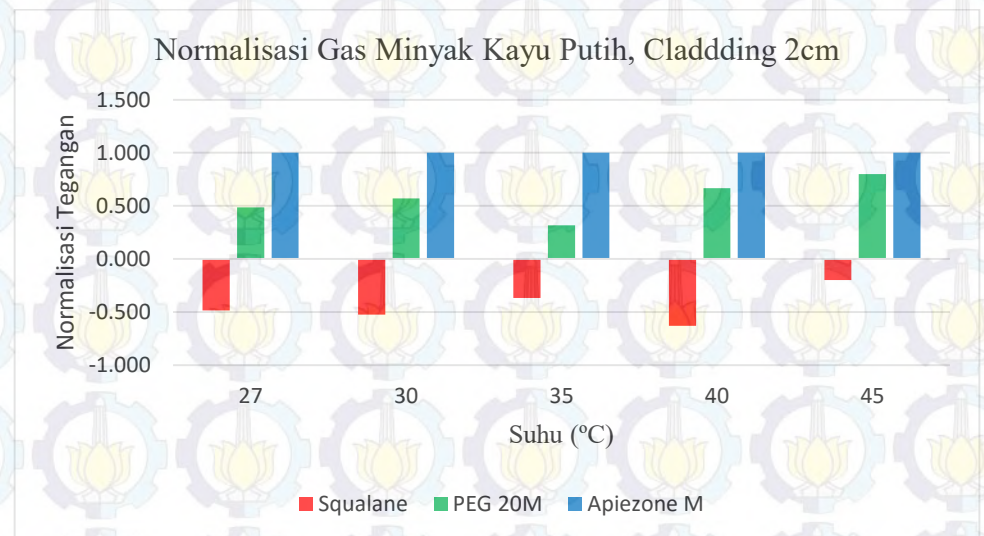
Squalane sensitif pada suhu 35°C, sementara PEG 20M dan Apiezone M sensitif pada suhu 27°C.

**Tabel 4.25** Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas minyak kayu putih terhadap serat optik *cladding* 2cm

| Gas               | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                  | R <sup>2</sup> |
|-------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------------|
| Minyak Kayu Putih | 2cm      | Squalane        | $y = 0.0029x - 0.0209$  | 0.4811         |
|                   |          | PEG 20M         | $y = -0.0024x + 0.0170$ | 0.6486         |
|                   |          | Apiezone M      | $y = -0.0062x + 0.0350$ | 0.6974         |



**Gambar 4.36** Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik ketika berinteraksi dengan gas minyak kayu putih



**Gambar 4.37** Normalisasi rerata tegangan serat optik terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas minyak kayu putih

Berdasarkan regresi linear pada Tabel 4.25, lapisan Squalane memiliki linearitas yang kurang baik terhadap perubahan suhu, hal ini dibuktikan dengan nilai  $R^2 = 0.4811$ , dengan kenaikan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0029\text{V}$ . Pada lapisan PEG 20M memiliki linearitas perubahan suhu yang kurang baik, dimana  $R^2 = 0.6486$  dengan penurunan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0024\text{V}$ . Lapisan Apiezone M memiliki linearitas perubahan suhu kurang baik, dimana  $R^2 = 0.6974$  dengan penurunan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0062\text{V}$ .

#### **4.8 Pengujian Serat Optik *Cladding* 3cm Terhadap Sampel Gas dan Pengaruh Perubahan Suhu**

##### **4.8.1 Tujuan Pengujian**

Pengujian serat optik *cladding* 3cm terhadap perubahan suhu bertujuan untuk memperoleh hubungan antara perubahan suhu dan sampel gas terhadap intensitas cahaya pada serat optik. Sehingga diperoleh informasi mengenai sensitivitas sensor serat optik terhadap tingkatan suhu dan sampel gas.

##### **4.8.2 Prosedur Pengujian**

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

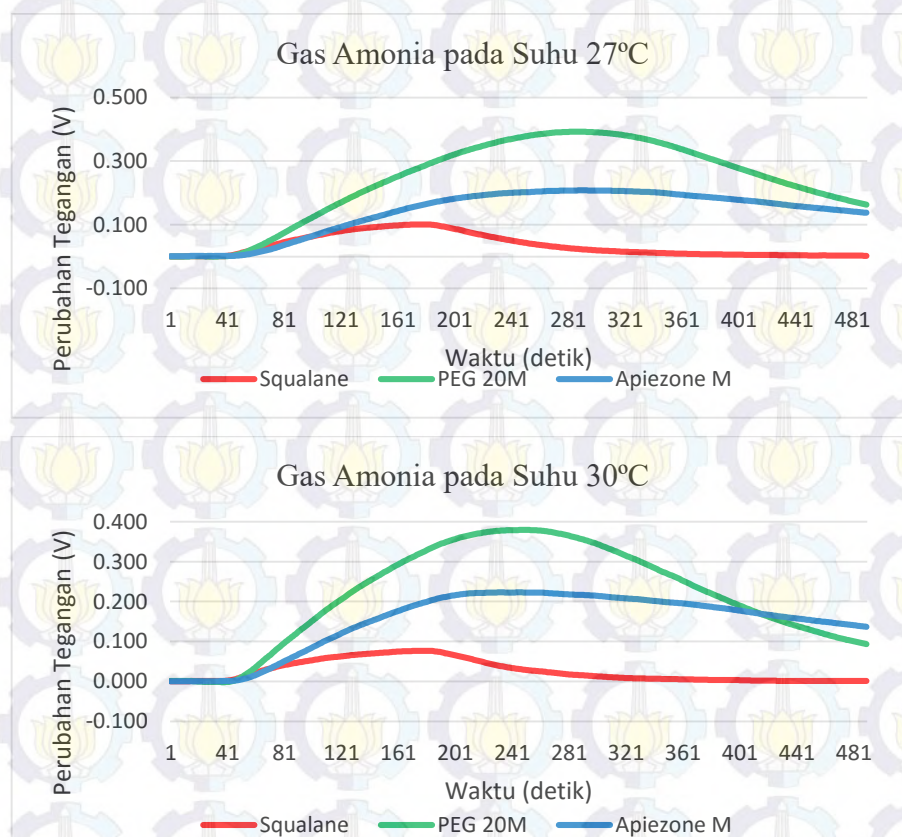
1. Wadah sensor terlebih dahulu dibersihkan dengan udara kering dari silika gel dari detik ke 0 sampai detik ke 30.
2. Sampel gas dialirkan ke wadah sensor dari detik ke 31 sampai detik ke 170.
3. Wadah sensor dibersihkan kembali dengan udara kering dari silika gel dari detik ke 181 sampai detik ke 500.
4. Mekanisme aliran udara kering dan sampel gas diatur menggunakan mekanik pengatur aliran udara.
5. Pengujian dilakukan dengan variasi suhu  $27^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ , dan  $45^\circ\text{C}$ .
6. Setiap variasi suhu dilakukan lima kali pengujian.
7. Hasil pengujian diamati dan disimpan menggunakan program di komputer.

##### **4.8.3 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Amonia**

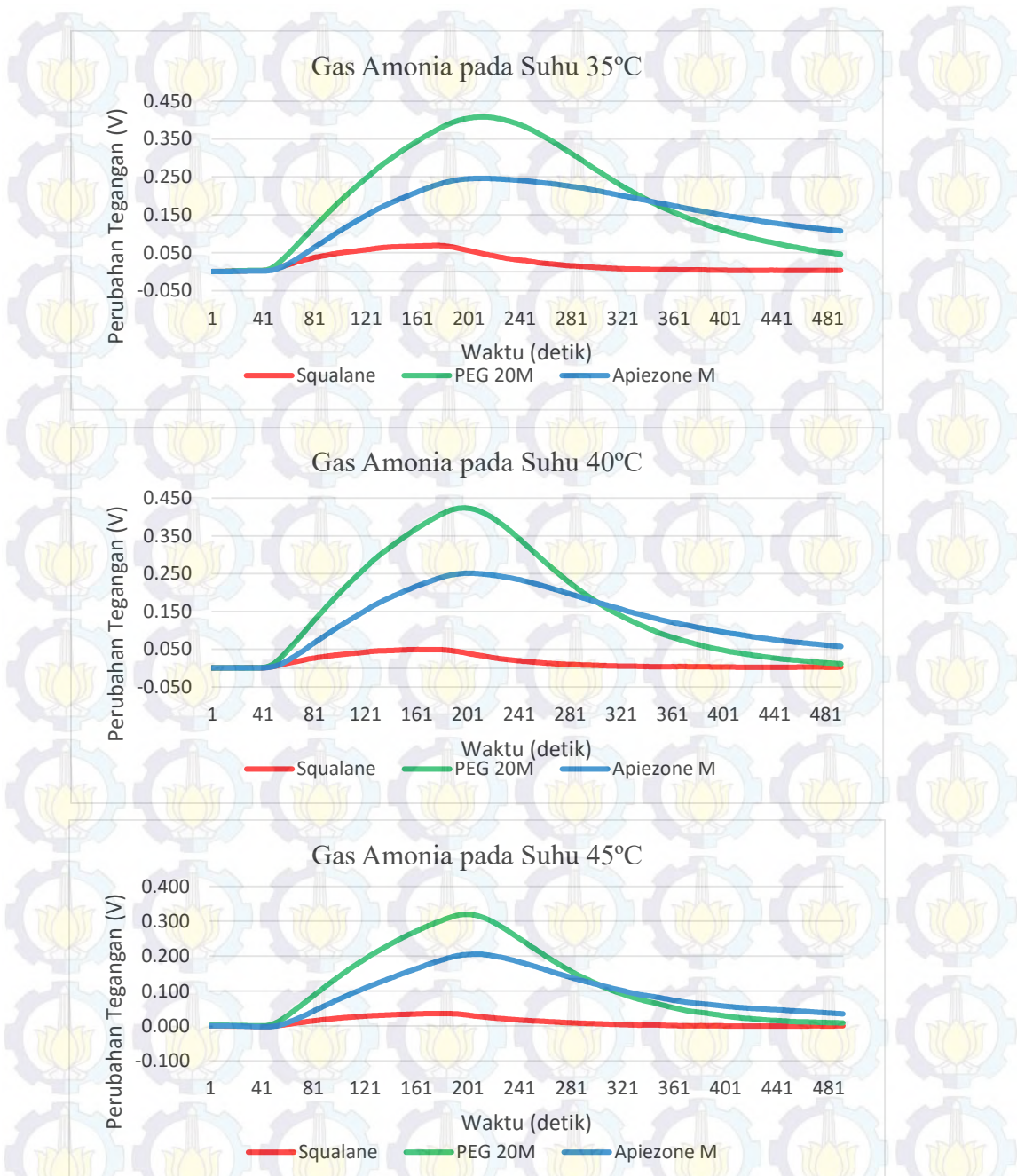
Hasil pengujian gas amonia pada suhu  $27^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ , dan  $45^\circ\text{C}$  dapat dilihat pada Gambar 4.38. Pada grafik respon perubahan tegangan dapat

diamati bahwa serat optik dengan lapisan PEG 20M merespon paling besar atau lebih sensitif dibandingkan Squalane dan Apiezone M. Keseluruhan respon tegangan menunjukkan bahwa ketika lapisan Squalane, PEG 20M, dan Apiezone M berinteraksi dengan gas amonia menjadikan intensitas cahaya serat optik semakin gelap.

Tabel 4.26 adalah rerata tegangan yang berasal dari lima kali pengujian gas amonia terhadap setiap perubahan suhu, data pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.C. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari detik ke 160 sampai detik ke 170 atau 10 detik terakhir sebelum aliran gas dihentikan. Data yang berasal dari Tabel 4.26 kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan intensitas cahaya ketika berinteraksi dengan gas amonia. Intensitas cahaya yang berupa naik atau turunnya tegangan akan dapat diprediksi untuk setiap 1°C. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.39.







**Gambar 4.38** Grafik respon gas minyak kayu putih dengan *cladding* 3cm

**Tabel 4.26** Rata-rata perubahan tegangan gas amonia dengan *cladding* 3cm

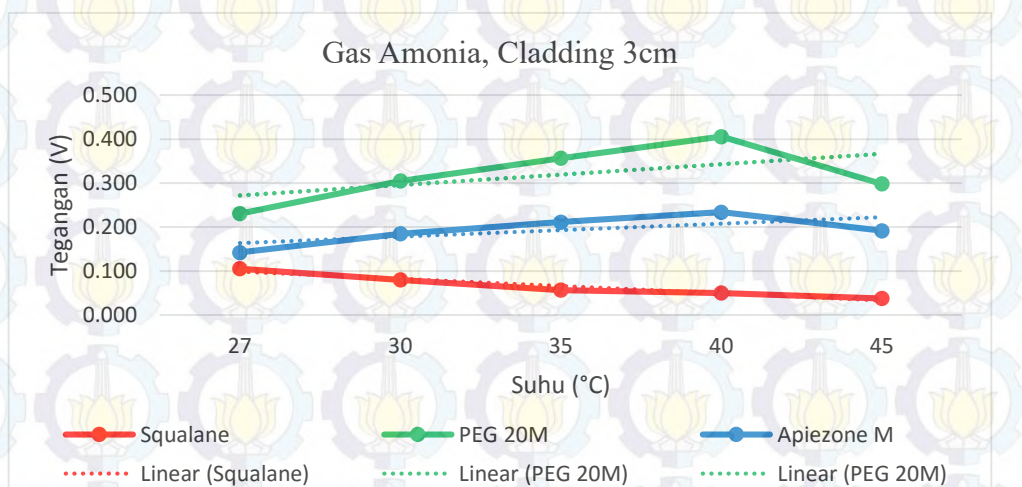
| No | Gas    | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik <i>Cladding</i> 3cm (V) |              |              |
|----|--------|-----------|---|--------------|--------------|
|    |        |           | Squalane                                    | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1  | Amonia | 27        | <b>0.106</b>                                | <b>0.231</b> | <b>0.142</b> |
| 2  |        | 30        | <b>0.080</b>                                | <b>0.305</b> | <b>0.185</b> |
| 3  |        | 35        | <b>0.057</b>                                | <b>0.357</b> | <b>0.212</b> |
| 4  |        | 40        | <b>0.050</b>                                | <b>0.406</b> | <b>0.234</b> |
| 5  |        | 45        | <b>0.038</b>                                | <b>0.298</b> | <b>0.192</b> |

Berdasarkan regresi linear pada Tabel 4.29,  $R^2$  digunakan untuk mengetahui linearitas atau hubungan antara tegangan dan suhu. Linearitas akan sangat kuat jika  $R^2$  mendekati 1. lapisan Squalane memiliki linearitas yang baik dengan  $R^2 = 0.9441$ , dengan penurunan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0165\text{V}$ . Pada lapisan PEG 20M memiliki linearitas rendah, dimana  $R^2 = 0.3207$  dengan kenaikan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0236\text{V}$ . Lapisan Apiezone M memiliki linearitas rendah, dimana  $R^2 = 0.4714$  dengan penurunan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0148\text{V}$ .

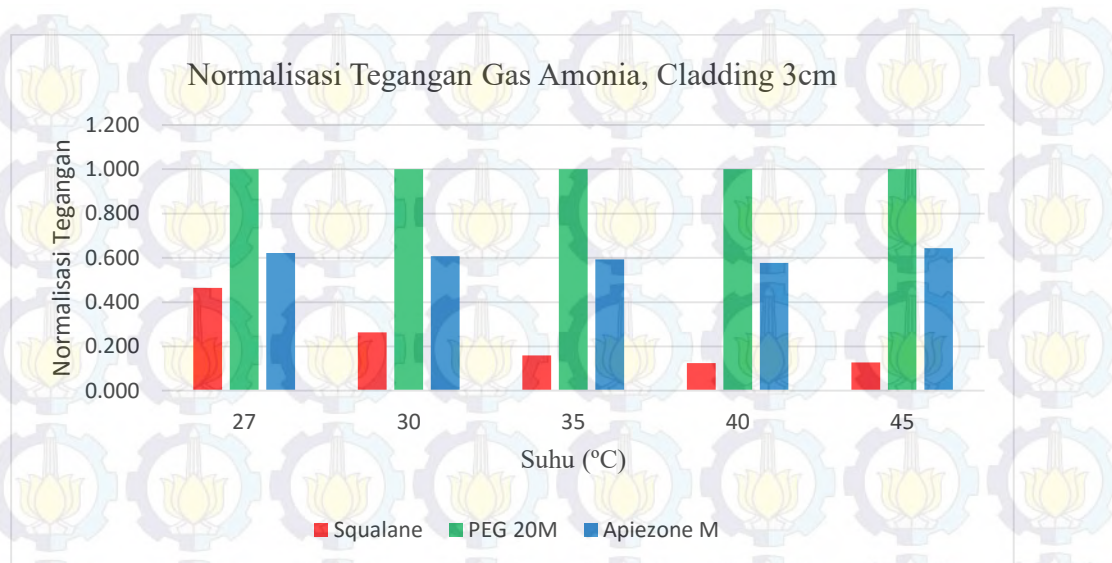
Normalisasi data digunakan untuk melihat respon dari ketiga lapisan polimer, sehingga dapat dilihat lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sedang, dan terendah. Normalisasi data berasal dari rerata perubahan tegangan pada Tabel 4.26, dan hasil normalisasi dapat dilihat pada Lampiran 1.C. Berdasarkan normalisasi data untuk setiap perubahan suhu pada Gambar 4.40, dapat diketahui bahwa gas amonia lebih sensitif terhadap lapisan PEG 20M, respon menengah terhadap lapisan Apiezone M dan respon terendah terhadap Squalane. Lapisan Squalane sensitif pada suhu  $27^\circ\text{C}$ , sementara PEG 20M dan Apiezone M sensitif pada suhu  $40^\circ\text{C}$ .

**Tabel 4.27** Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas amonia terhadap serat optik *cladding* 3cm

| Gas    | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                  | $R^2$  |
|--------|----------|-----------------|-------------------------|--------|
| Amonia | 3cm      | Squalane        | $y = -0.0165x + 0.1156$ | 0.9441 |
|        |          | PEG 20M         | $y = 0.0236x + 0.3207$  | 0.3207 |
|        |          | Apiezone M      | $y = 0.0148x + 0.1484$  | 0.4714 |



**Gambar 4.39** Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik *cladding* 3cm ketika berinteraksi dengan gas amonia



**Gambar 4.40** Normalisasi rerata tegangan serat optik *cladding* 3cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas amonia

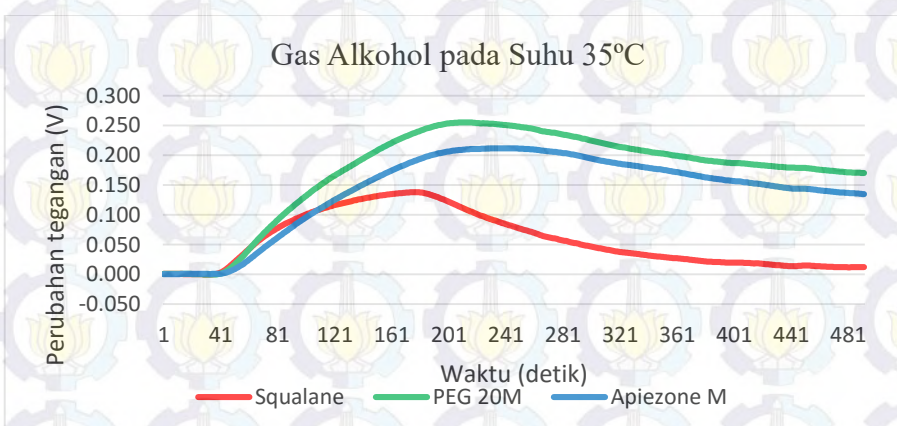
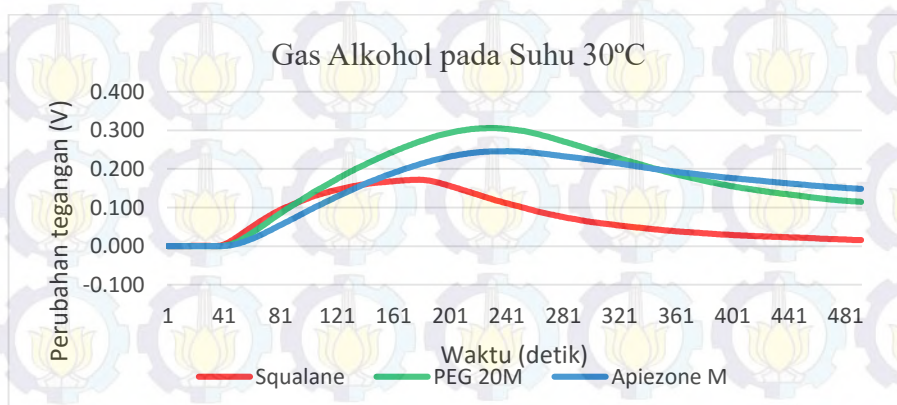
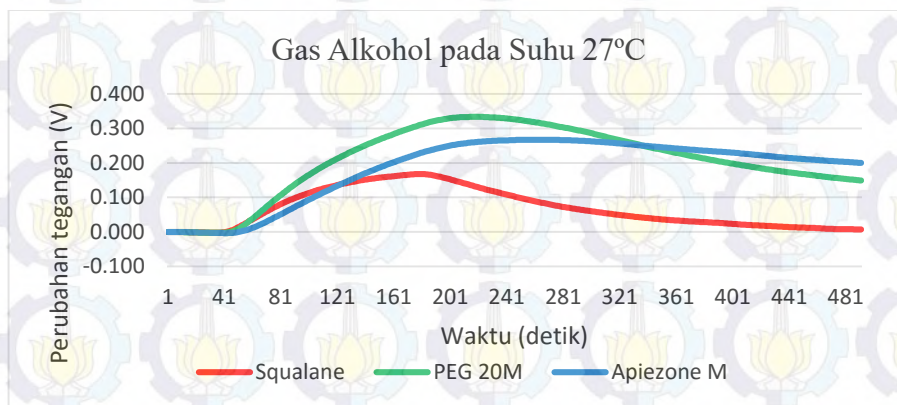
#### 4.8.4 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Alkohol

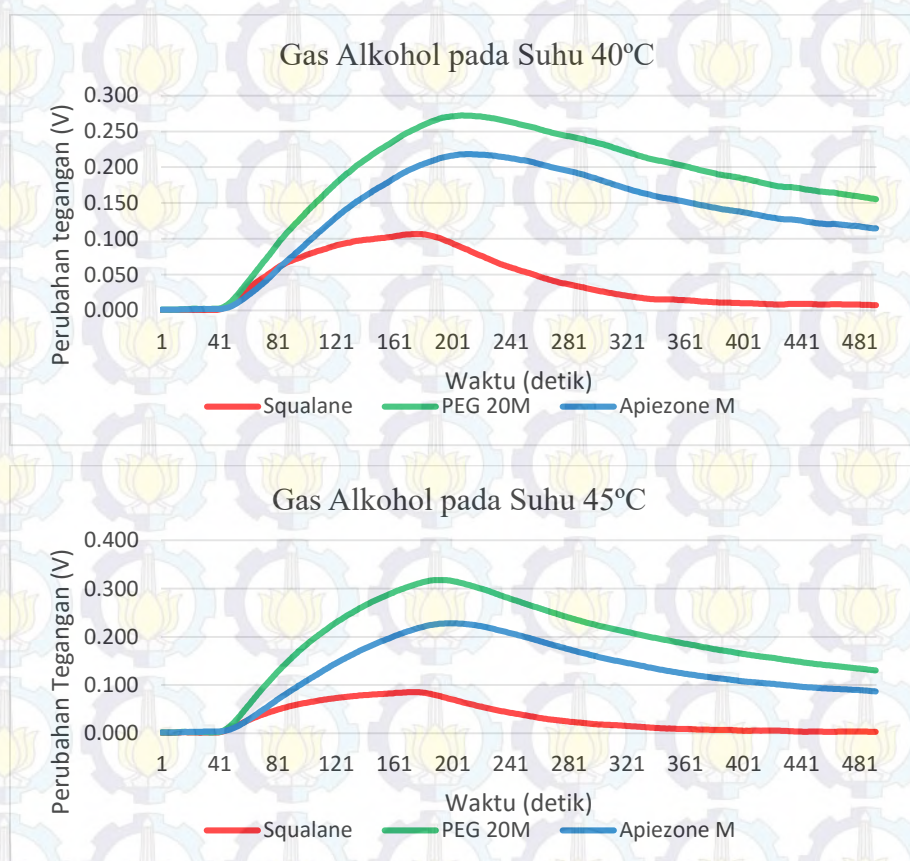
Hasil pengujian gas alkohol pada suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C dapat dilihat pada Gambar 4.41. Pada grafik respon perubahan tegangan dapat diamati bahwa serat optik dengan lapisan PEG 20M merespon paling besar atau lebih sensitif dibandingkan Squalane dan Apiezone M. Keseluruhan respon menunjukkan bahwa ketika lapisan Squalane, PEG 20M, dan Apiezone M berinteraksi dengan gas alkohol menjadikan intensitas cahaya serat optik semakin gelap.

Tabel 4.28 adalah rerata tegangan yang berasal dari lima kali pengujian gas alkohol terhadap setiap perubahan suhu, data pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.C. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari detik ke 160 sampai detik ke 170 atau 10 detik terakhir sebelum aliran gas dihentikan. Data dari Tabel 4.28 kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan intensitas cahaya ketika berinteraksi dengan gas amonia. Intensitas cahaya yang berupa naik atau turunnya tegangan akan dapat diprediksi untuk setiap 1°C. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.42.

Berdasarkan regresi linear pada Tabel 4.29,  $R^2$  digunakan untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan suhu. Linearitas akan sangat kuat jika  $R^2$  mendekati

1. lapisan Squalane memiliki linearitas yang sangat kuat, hal ini dibuktikan dengan nilai  $R^2 = 0.9667$ , dengan penurunan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0340\text{V}$ . Pada lapisan PEG 20M memiliki linearitas yang sedang, dimana  $R^2 = 0.4289$  dengan kenaikan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0136\text{V}$ . Lapisan Apiezone M memiliki linearitas rendah, dimana  $R^2 = 0.2143$  dengan penurunan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0049\text{V}$ .





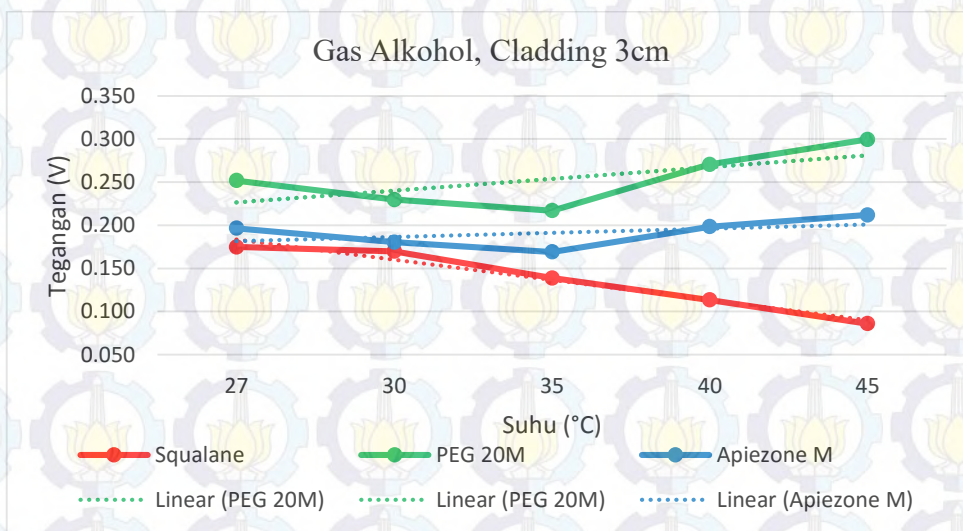
**Gambar 4.41** Grafik respon serat optik *cladding* 3cm terhadap gas alkohol

**Tabel 4.28** Rata-rata perubahan tegangan gas alkohol dengan *cladding* 3cm

| No | Gas     | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik <i>Cladding</i> 3cm (V) |              |              |
|----|---------|-----------|---|--------------|--------------|
|    |         |           | Squalane                                    | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1  | Alkohol | 27        | <b>0.175</b>                                | <b>0.252</b> | <b>0.196</b> |
| 2  |         | 30        | <b>0.170</b>                                | <b>0.230</b> | <b>0.180</b> |
| 3  |         | 35        | <b>0.139</b>                                | <b>0.217</b> | <b>0.169</b> |
| 4  |         | 40        | <b>0.113</b>                                | <b>0.271</b> | <b>0.198</b> |
| 5  |         | 45        | <b>0.086</b>                                | <b>0.300</b> | <b>0.212</b> |

Normalisasi data digunakan untuk melihat respon ketiga lapisan polimer, sehingga dapat diketahui lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sedang, dan terendah. Normalisasi data berasal dari rerata perubahan tegangan pada Tabel 4.28, dan hasil normalisasi dapat dilihat pada Lampiran 1.C. Berdasarkan normalisasi data setiap perubahan suhu pada Gambar 4.43, dapat diketahui bahwa gas alkohol lebih sensitif terhadap lapisan PEG 20M, respon menengah terhadap lapisan Apiezone M dan respon terendah terhadap Squalane. Lapisan Squalane

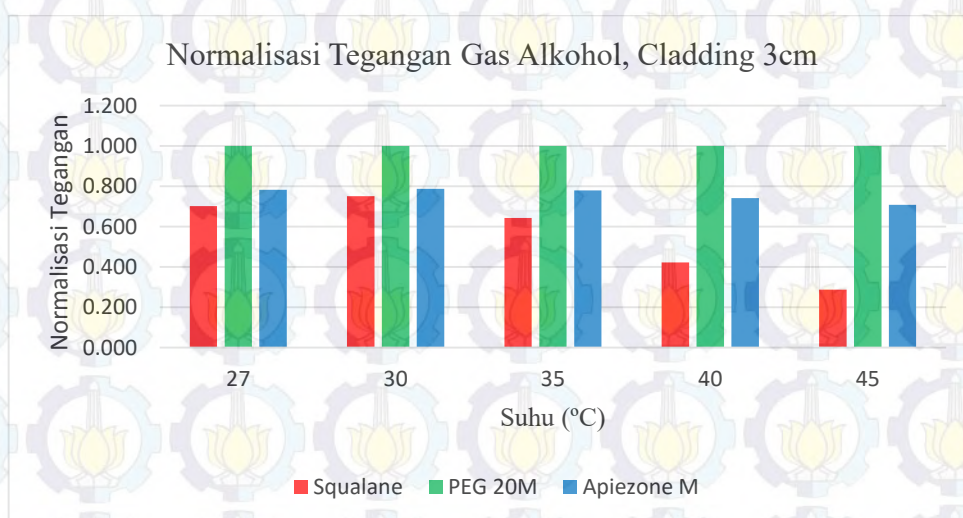
paling sensitif pada suhu 27°C, sedangkan lapisan PEG 20M dan Apiezone M pada suhu 45°C.



**Gambar 4.42** Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik *cladding* 3cm ketika berinteraksi dengan gas alkohol

**Tabel 4.29** Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas alkohol terhadap serat optik *cladding* 3cm

| Gas     | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                  | R <sup>2</sup> |
|---------|----------|-----------------|-------------------------|----------------|
| Alkohol | 3cm      | Squalane        | $y = -0.0340x + 0.2067$ | 0.9667         |
|         |          | PEG 20M         | $y = 0.0136x + 0.2129$  | 0.4289         |
|         |          | Apiezone M      | $y = 0.0049x + 0.1766$  | 0.2143         |

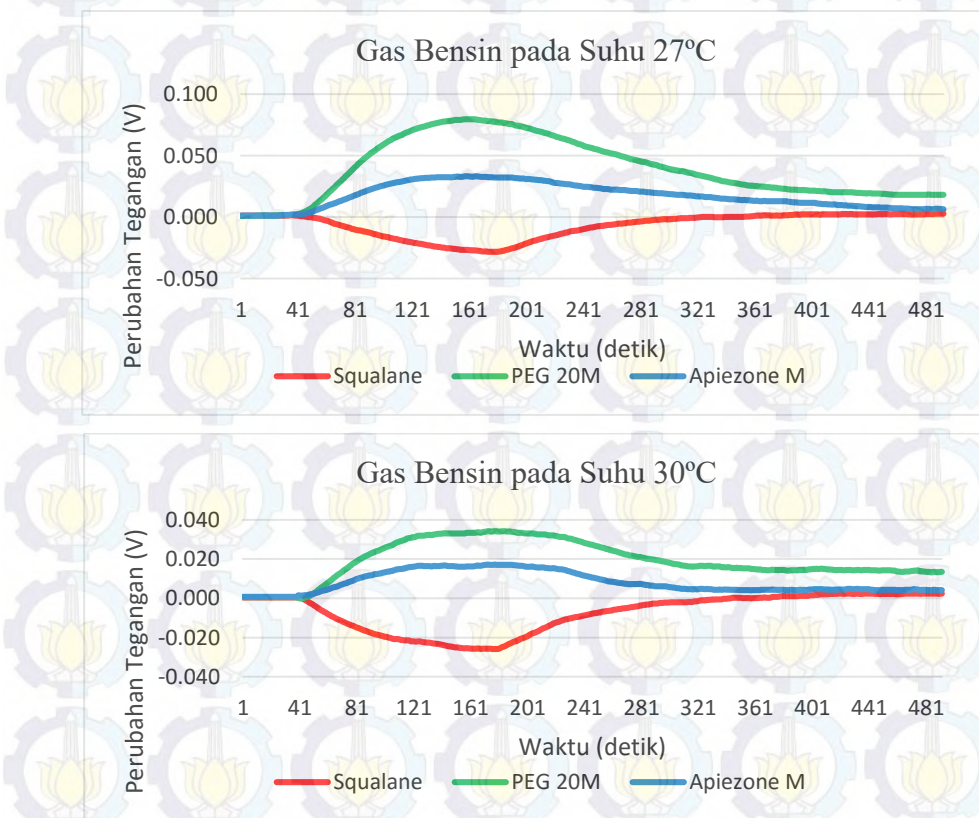


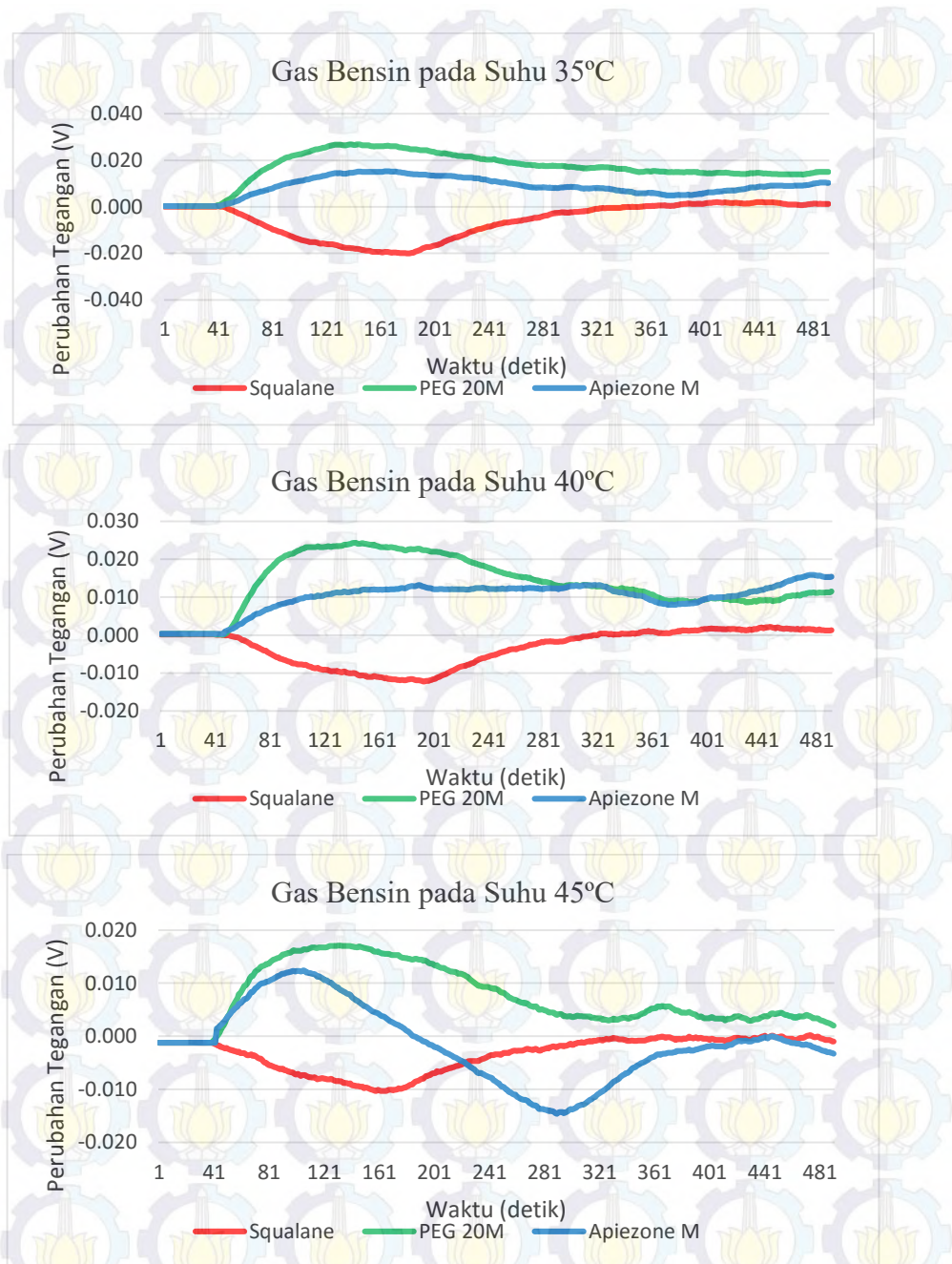
**Gambar 4.43** Normalisasi rerata tegangan serat optik *cladding* 3cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas alkohol

#### 4.8.5 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Bensin

Hasil pengujian gas bensin pada suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C dapat dilihat pada Gambar 4.44. Pada grafik respon perubahan tegangan dapat diamati bahwa respon intensitas cahaya serat optik dengan lapisan PEG 20M dan Apiezone M bertambah gelap ketika diterima oleh fotodioda. Berbeda dengan lapisan Squalane yang menunjukkan bahwa respon intensitas cahaya pada serat optik semakin terang ketika diterima oleh fotodioda.

Tabel 4.30 adalah rerata tegangan yang berasal dari lima kali pengujian gas bensin terhadap setiap perubahan suhu, data pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.C. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari detik ke 160 sampai detik ke 170 atau 10 detik terakhir sebelum aliran gas dihentikan. Data dari Tabel 4.30 kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan intensitas cahaya ketika berinteraksi dengan gas amonia. Intensitas cahaya yang berupa naik atau turunnya tegangan akan dapat diprediksi untuk setiap 1°C. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.45.





Gambar 4.44 Grafik respon serat optik *cladding* 3cm terhadap gas bensin

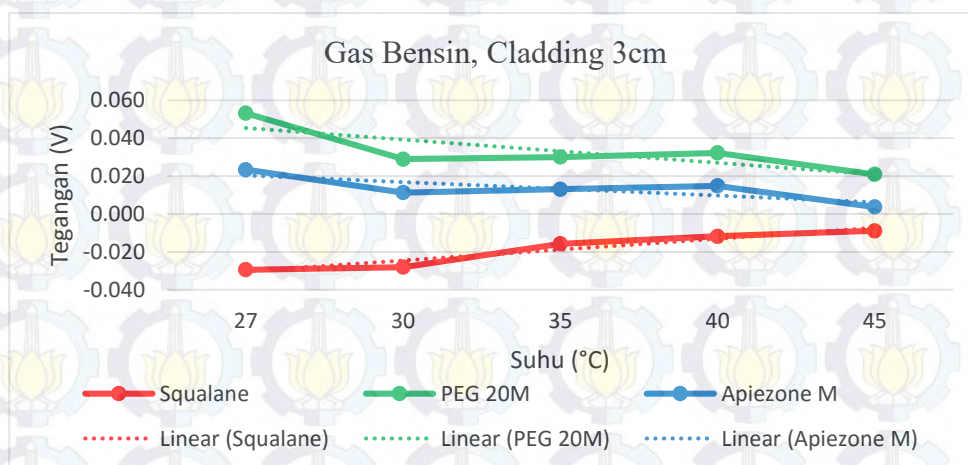
Tabel 4.30 Rata-rata perubahan tegangan gas bensin dengan *cladding* 3cm

| No | Gas    | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik <i>Cladding</i> 3cm (V) |              |              |
|----|--------|-----------|---|--------------|--------------|
|    |        |           | Squalane                                    | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1  | Bensin | 27        | <b>-0.029</b>                               | <b>0.053</b> | <b>0.023</b> |
| 2  |        | 30        | <b>-0.029</b>                               | <b>0.028</b> | <b>0.011</b> |
| 3  |        | 35        | <b>-0.016</b>                               | <b>0.030</b> | <b>0.013</b> |
| 4  |        | 40        | <b>-0.012</b>                               | <b>0.032</b> | <b>0.015</b> |
| 5  |        | 45        | <b>-0.009</b>                               | <b>0.021</b> | <b>0.004</b> |



Berdasarkan regresi linear pada Tabel 4.31,  $R^2$  digunakan untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan suhu. Linearitas akan sangat kuat jika  $R^2$  mendekati 1. lapisan Squalane memiliki linearitas yang sangat kuat, hal ini dibuktikan dengan nilai  $R^2 = 0.9244$ , dengan kenaikan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0057\text{V}$ . Pada lapisan PEG 20M memiliki linearitas yang kuat, dimana  $R^2 = 0.6490$  dengan penurunan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0061\text{V}$ . Lapisan Apiezone M memiliki linearitas kuat, dimana  $R^2 = 0.6428$  dengan penurunan tegangan untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  adalah  $0.0036\text{V}$ .

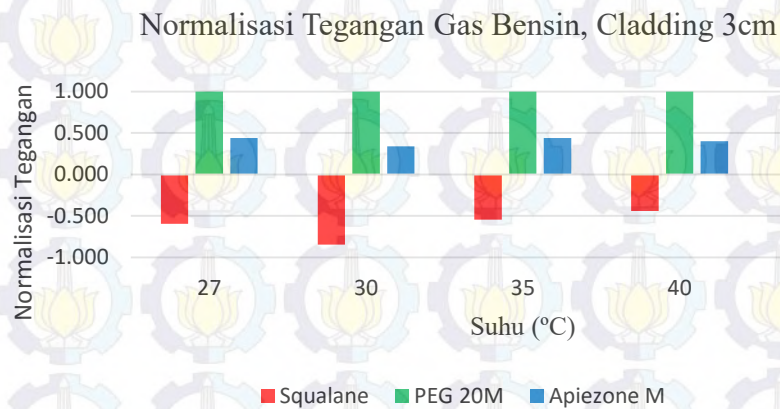
Normalisasi data digunakan untuk melihat respon ketiga lapisan polimer, sehingga dapat diketahui lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sedang, dan terendah. Normalisasi data berasal dari rerata perubahan tegangan pada Tabel 4.30, dan hasil normalisasi dapat dilihat pada Lampiran 1.C. Berdasarkan normalisasi data setiap perubahan suhu pada Gambar 4.43, dapat diketahui bahwa gas bensin lebih sensitif terhadap lapisan PEG 20M, respon menengah terhadap lapisan Squalane dan respon terendah terhadap Apiezone M. Lapisan Squalane, PEG 20M dan Apiezone M paling sensitif pada suhu  $27^\circ\text{C}$ .



**Gambar 4.45** Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik *cladding* 3cm ketika berinteraksi dengan gas bensin

**Tabel 4.31** Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas bensin terhadap serat optik *cladding* 3cm

| Gas    | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                  | $R^2$  |
|--------|----------|-----------------|-------------------------|--------|
| Bensin | 3cm      | Squalane        | $y = 0.0057x - 0.0359$  | 0.9244 |
|        |          | PEG 20M         | $y = -0.0061x + 0.0515$ | 0.6490 |
|        |          | Apiezone M      | $y = -0.0036x + 0.0240$ | 0.6428 |



**Gambar 4.46** Normalisasi rerata tegangan serat optik cladding 3cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas bensin

#### 4.8.6 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Chloroform

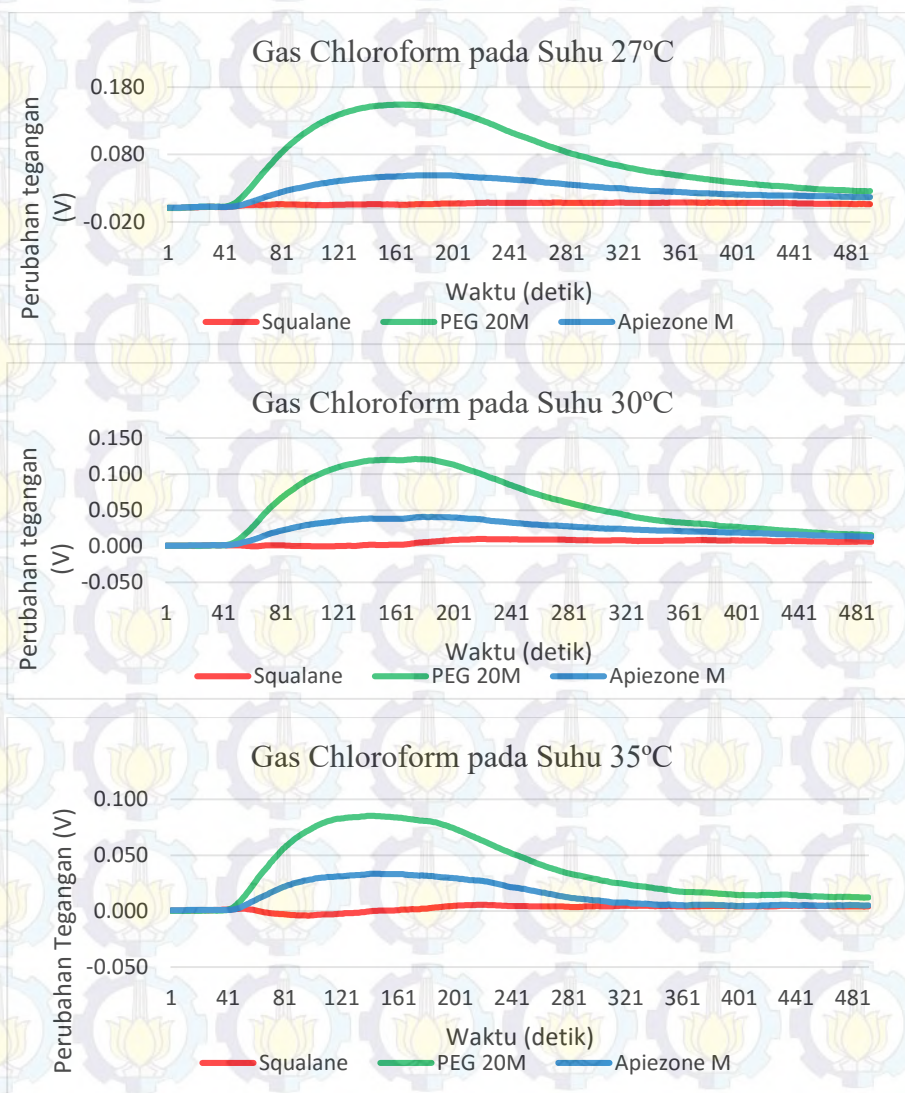
Hasil pengujian gas chloroform pada suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C dapat dilihat pada Gambar 4.47. Pada grafik respon perubahan tegangan dapat diamati bahwa respon intensitas cahaya serat optik dengan lapisan PEG 20M dan Apiezone M bertambah gelap ketika diterima oleh fotodioda. Berbeda dengan lapisan Squalane yang menunjukkan bahwa respon intensitas cahaya pada serat optik cenderung tidak banyak perubahan.

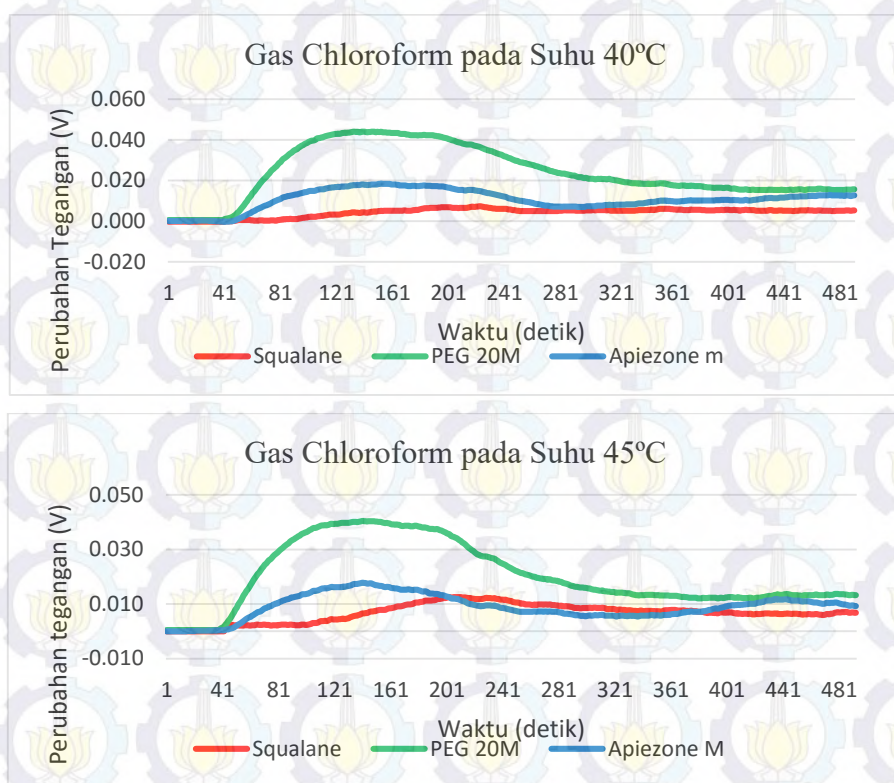
Tabel 4.32 adalah rerata tegangan yang berasal dari lima kali pengujian gas bensin terhadap setiap perubahan suhu, data pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.C. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari detik ke 160 sampai detik ke 170 atau 10 detik terakhir sebelum aliran gas dihentikan. Data dari Tabel 4.32 kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan intensitas cahaya ketika berinteraksi dengan gas amonia. Intensitas cahaya yang berupa naik atau turunnya tegangan akan dapat diprediksi untuk setiap 1°C. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.48.

Berdasarkan regresi linear pada Tabel 4.31,  $R^2$  digunakan untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan suhu. Linearitas akan sangat kuat jika  $R^2$  mendekati 1. lapisan Squalane memiliki linearitas yang sangat kuat, hal ini dibuktikan dengan nilai  $R^2 = 0.9244$ , dengan kenaikan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0057V. Pada lapisan PEG 20M memiliki linearitas yang kuat, dimana  $R^2 = 0.6490$  dengan

penurunan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0061V. Lapisan Apiezone M memiliki linearitas kuat, dimana  $R^2 = 0.6428$  dengan penurunan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0036V.

Normalisasi data digunakan untuk melihat respon ketiga lapisan polimer, sehingga dapat diketahui lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sedang, dan terendah. Normalisasi data berasal dari rerata perubahan tegangan pada Tabel 4.32, dan hasil normalisasi dapat dilihat pada Lampiran 1.C. Berdasarkan normalisasi data setiap perubahan suhu pada Gambar 4.49, dapat diketahui bahwa gas bensin lebih sensitif terhadap lapisan PEG 20M, respon menengah terhadap lapisan Apiezone M dan respon terendah terhadap Squalane. Lapisan Squalane sensitif pada suhu 40°C, PEG 20M dan Apiezone M paling sensitif pada suhu 27°C.

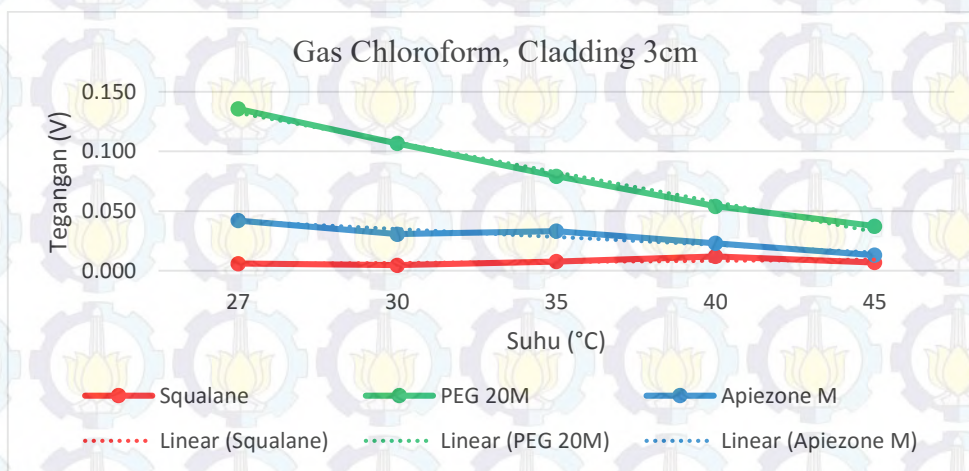




Gambar 4.47 Grafik respon serat optik *cladding* 3cm terhadap gas chloroform

Tabel 4.32 Rata-rata perubahan tegangan gas chloroform dengan *cladding* 3cm

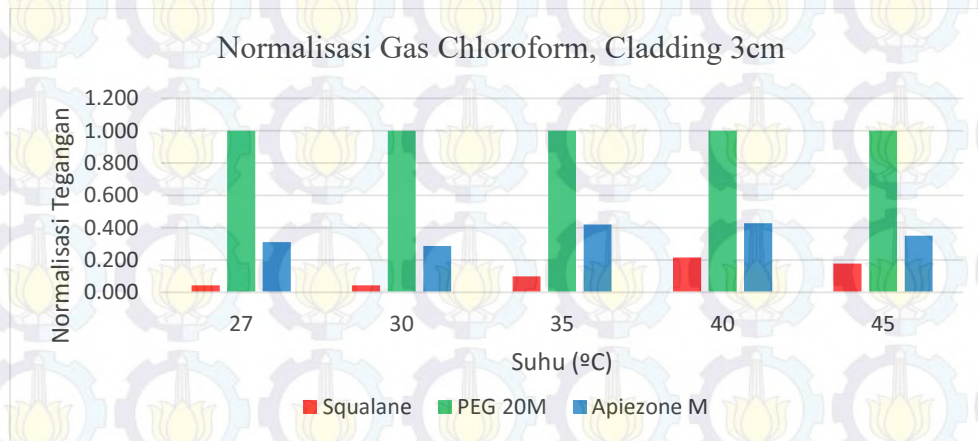
| No | Gas        | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik <i>Cladding</i> 3cm (V) |              |              |
|----|------------|-----------|---|--------------|--------------|
|    |            |           | Squalane                                    | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1  | Chloroform | 27        | <b>0.006</b>                                | <b>0.136</b> | <b>0.042</b> |
| 2  |            | 30        | <b>0.005</b>                                | <b>0.107</b> | <b>0.031</b> |
| 3  |            | 35        | <b>0.008</b>                                | <b>0.079</b> | <b>0.033</b> |
| 4  |            | 40        | <b>0.012</b>                                | <b>0.054</b> | <b>0.023</b> |
| 5  |            | 45        | <b>0.007</b>                                | <b>0.037</b> | <b>0.013</b> |



Gambar 4.48 Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik *cladding* 3cm ketika berinteraksi dengan gas chloroform

**Tabel 4.33** Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas chloroform terhadap serat optik *cladding* 3cm

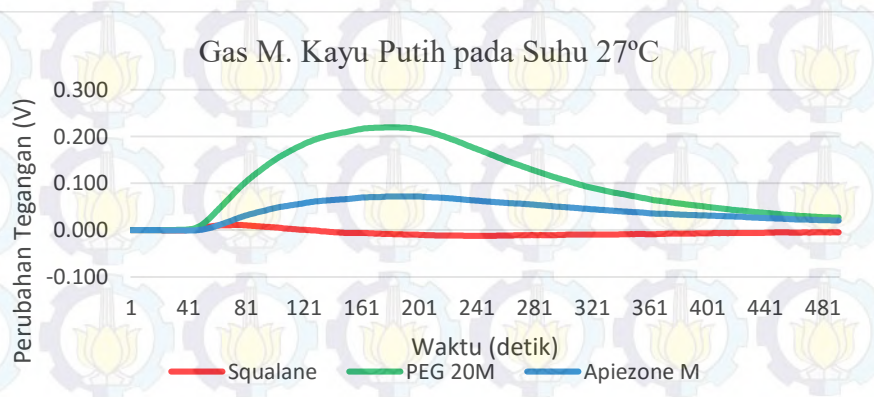
| Gas        | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                  | R <sup>2</sup> |
|------------|----------|-----------------|-------------------------|----------------|
| Chloroform | 3cm      | Squalane        | $y = -0.0009x + 0.0047$ | 0.2818         |
|            |          | PEG 20M         | $y = -0.0249x + 0.1574$ | 0.9908         |
|            |          | Apiezone M      | $y = -0.0065x + 0.0481$ | 0.9002         |

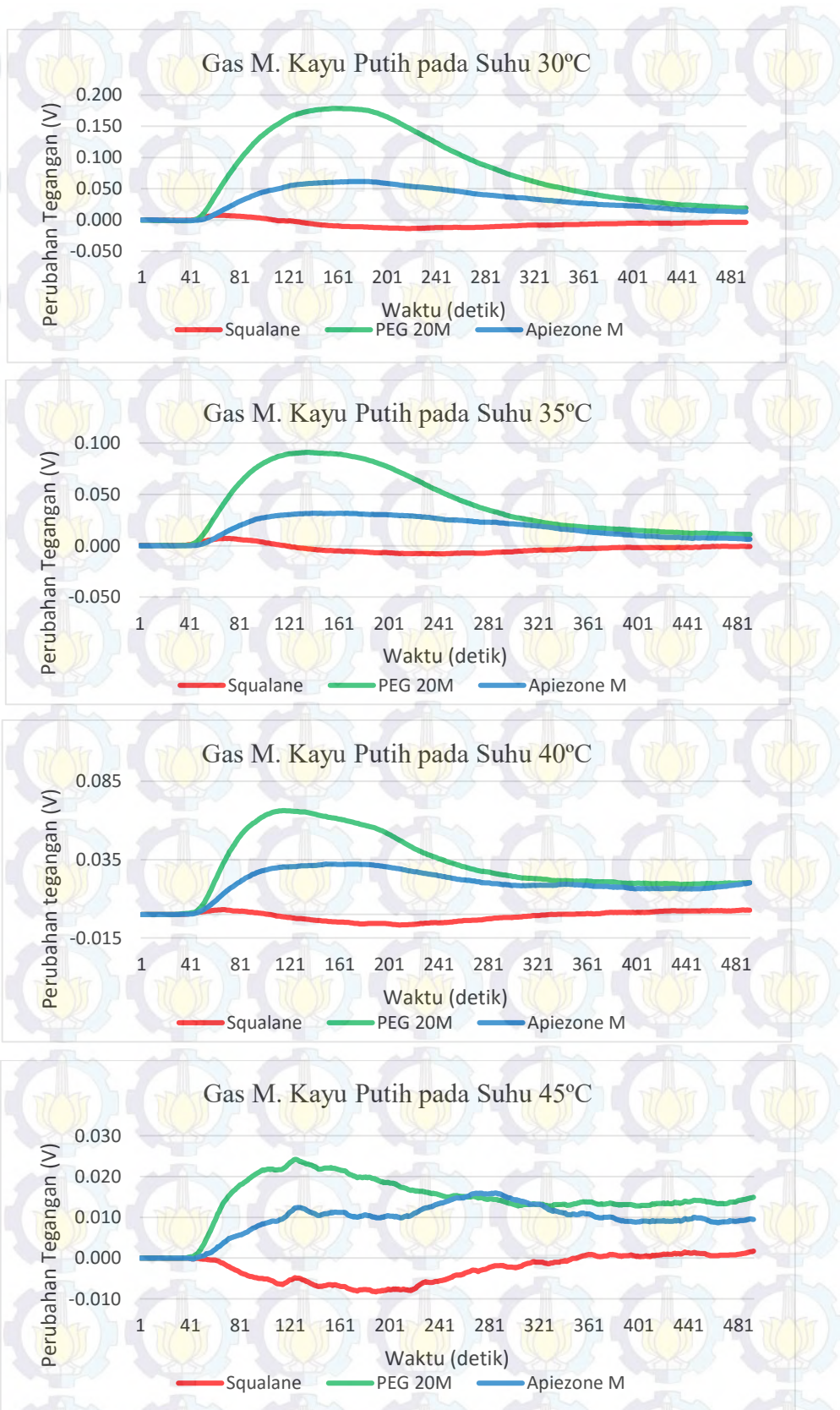


**Gambar 4.49** Normalisasi rerata tegangan serat optik cladding 3cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas chloroform

#### 4.8.7 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Minyak Kayu Putih

Hasil pengujian gas chloroform pada suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C dapat dilihat pada Gambar 4.50. Pada grafik respon perubahan tegangan dapat diamati bahwa respon intensitas cahaya serat optik dengan lapisan PEG 20M dan Apiezone M bertambah gelap ketika diterima oleh fotodioda. Berbeda dengan lapisan Squalane yang menunjukkan bahwa respon intensitas cahaya pada serat optik cenderung semakin terang.





Gambar 4.50 Grafik respon serat optik *cladding* 3cm terhadap gas m. kayu putih

**Tabel 4.34** Rata-rata perubahan tegangan gas m. kayu putih dengan *cladding* 3cm

| No | Gas               | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik <i>Cladding</i> 3cm (V) |              |              |
|----|-------------------|-----------|---|--------------|--------------|
|    |                   |           | Squalane                                    | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1  | Minyak Kayu Putih | 27        | <b>-0.006</b>                               | <b>0.221</b> | <b>0.082</b> |
| 2  |                   | 30        | <b>-0.010</b>                               | <b>0.098</b> | <b>0.042</b> |
| 3  |                   | 35        | <b>-0.006</b>                               | <b>0.076</b> | <b>0.038</b> |
| 4  |                   | 40        | <b>-0.006</b>                               | <b>0.039</b> | <b>0.026</b> |
| 5  |                   | 45        | <b>-0.004</b>                               | <b>0.017</b> | <b>0.011</b> |

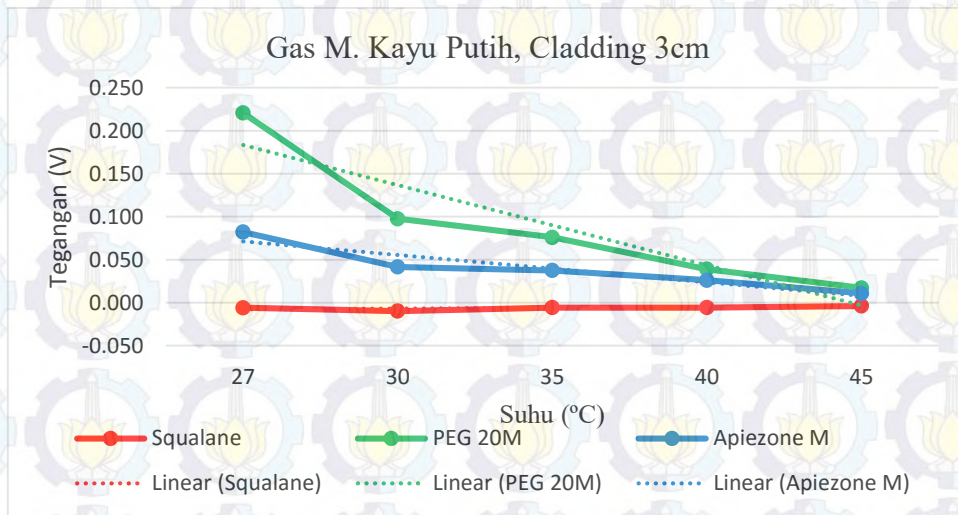
Tabel 4.34 adalah rerata tegangan yang berasal dari lima kali pengujian gas bensin terhadap setiap perubahan suhu, data pengujian lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.C. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari detik ke 160 sampai detik ke 170 atau 10 detik terakhir sebelum aliran gas dihentikan. Data dari Tabel 4.34 kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan intensitas cahaya ketika berinteraksi dengan gas amonia. Intensitas cahaya yang berupa naik atau turunnya tegangan akan dapat diprediksi untuk setiap 1°C. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.51.

Berdasarkan regresi linear pada Tabel 4.35,  $R^2$  digunakan untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan suhu. Linearitas akan sangat kuat jika  $R^2$  mendekati 1. lapisan Squalane memiliki linearitas rendah, hal ini dibuktikan dengan nilai  $R^2 = 0.3237$ , dengan kenaikan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0008V. Pada lapisan PEG 20M memiliki linearitas sangat kuat, dimana  $R^2 = 0.8592$  dengan penurunan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0466V. Lapisan Apiezone M memiliki linearitas kuat, dimana  $R^2 = 0.8828$  dengan penurunan tegangan untuk setiap 1°C adalah 0.0158V.

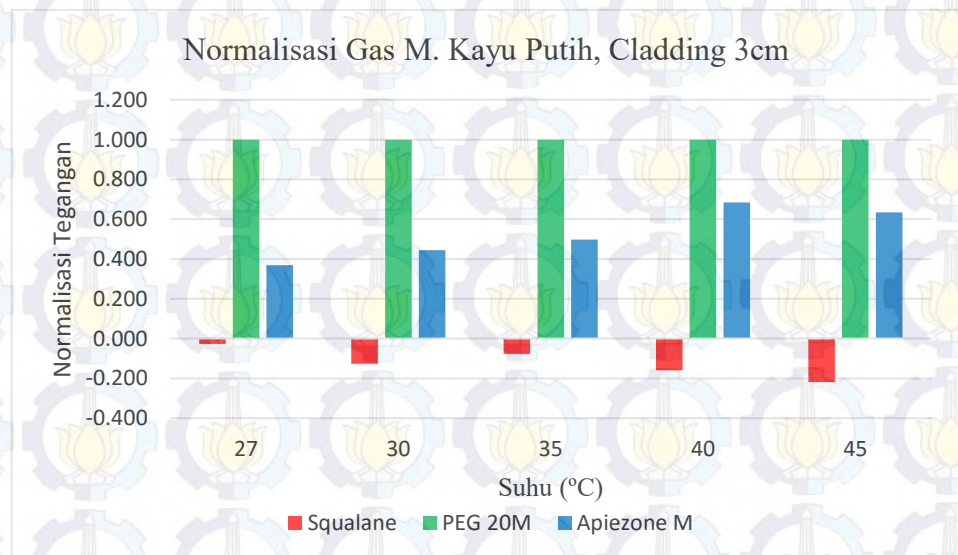
Normalisasi data digunakan untuk melihat respon ketiga lapisan polimer, sehingga dapat diketahui lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sedang, dan terendah. Normalisasi data berasal dari rerata perubahan tegangan pada Tabel 4.34, dan hasil normalisasi dapat dilihat pada Lampiran 1.C. Berdasarkan normalisasi data setiap perubahan suhu pada Gambar 4.52, dapat diketahui bahwa gas bensin lebih sensitif terhadap lapisan PEG 20M, respon menengah terhadap lapisan Apiezone M dan respon terendah terhadap Squalane. Lapisan Squalane sensitif pada suhu 30°C, PEG 20M dan Apiezone M paling sensitif pada suhu 27°C.

**Tabel 4.35** Regresi linear perubahan tegangan terhadap suhu dan gas m. kayu putih terhadap serat optik *cladding* 3cm

| Gas               | Cladding | Lapisan Polimer | Linear                  | R <sup>2</sup> |
|-------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------------|
| Minyak Kayu Putih | 3cm      | Squalane        | $y = 0.0008x - 0.0085$  | 0.3237         |
|                   |          | PEG 20M         | $y = -0.0466x + 0.2298$ | 0.8592         |
|                   |          | Apiezone M      | $y = -0.0158x + 0.0871$ | 0.8828         |



**Gambar 4.51** Grafik regresi linear perubahan suhu pada serat optik *cladding* 3cm ketika berinteraksi dengan gas M. Kayu Putih



**Gambar 4.52** Normalisasi rerata tegangan serat optik *cladding* 3cm terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas m. kayu putih



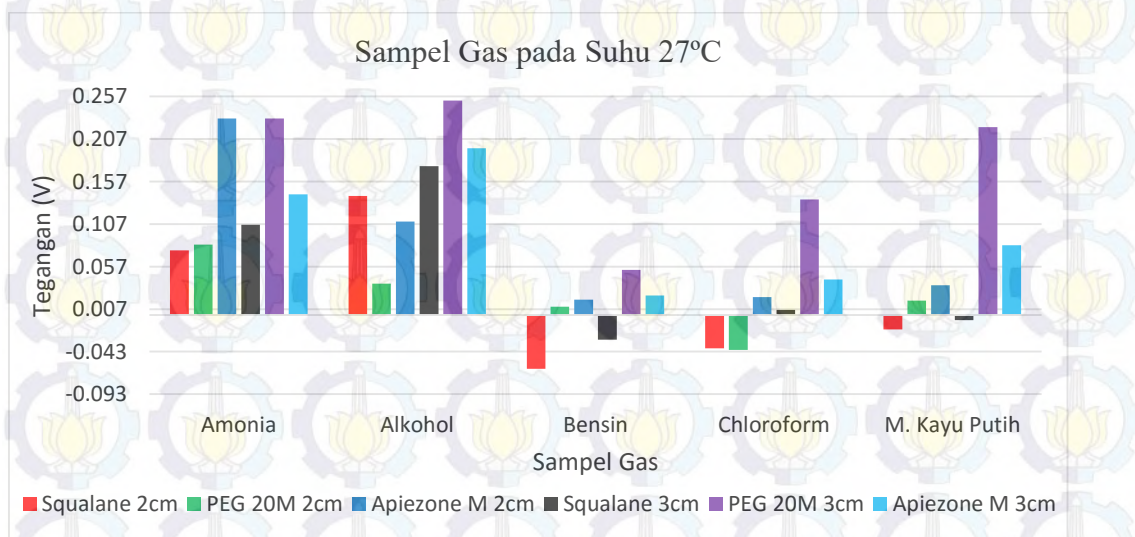
## 4.9 Perbandingan Kelima Sampel Gas Terhadap Perubahan Suhu

### 4.9.1 Tujuan Pengujian

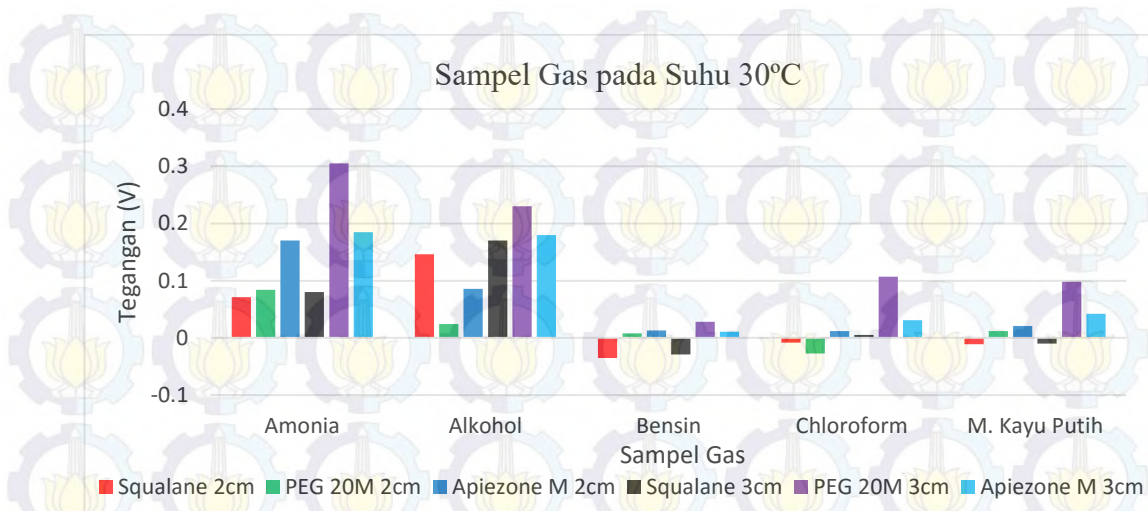
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah suhu mempengaruhi intensitas cahaya serat optik terhadap *cladding* yang digunakan. Pengujian ini juga bertujuan untuk memperoleh informasi hubungan antara perubahan suhu dengan perubahan intensitas cahaya pada serat optik terhadap sampel gas yang diujikan.

### 4.9.2 Hasil Pengujian dan Analisa

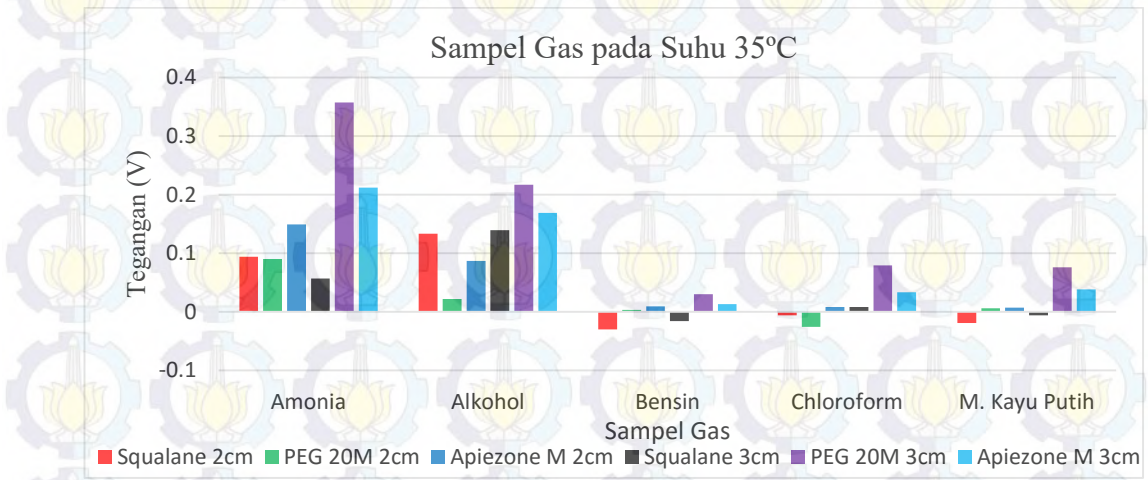
Berdasarkan Gambar 4.53, Gambar 4.54, Gambar 4.55, Gambar 4.56, dan Gambar 4.57, serat optik dengan *cladding* 2cm dan 3cm saat pengujian pada suhu 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C mempunyai respon paling baik terhadap gas amonia dan alkohol. Sedangkan respon yang paling kecil terhadap gas bensin. Dimana pada gas bensin, lapisan Squalane membuat intensitas cahaya pada serat optik semakin terang. Tetapi berbeda ketika berinteraksi terhadap gas chloroform, dimana pada *cladding* 2cm lapisan Squalane dan PEG 20M menjadikan intensitas cahaya semakin terang sedangkan pada *cladding* 3cm intensitas cahaya semakin gelap.



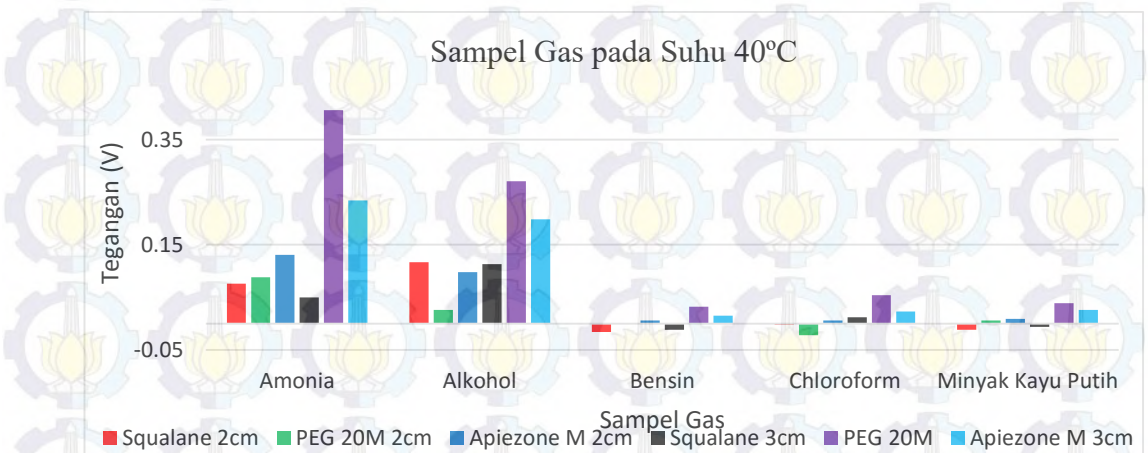
**Gambar 4.53** Data rerata tegangan serat optik *cladding* 2cm dan 3cm terhadap suhu 27°C ketika berinteraksi dengan sampel gas



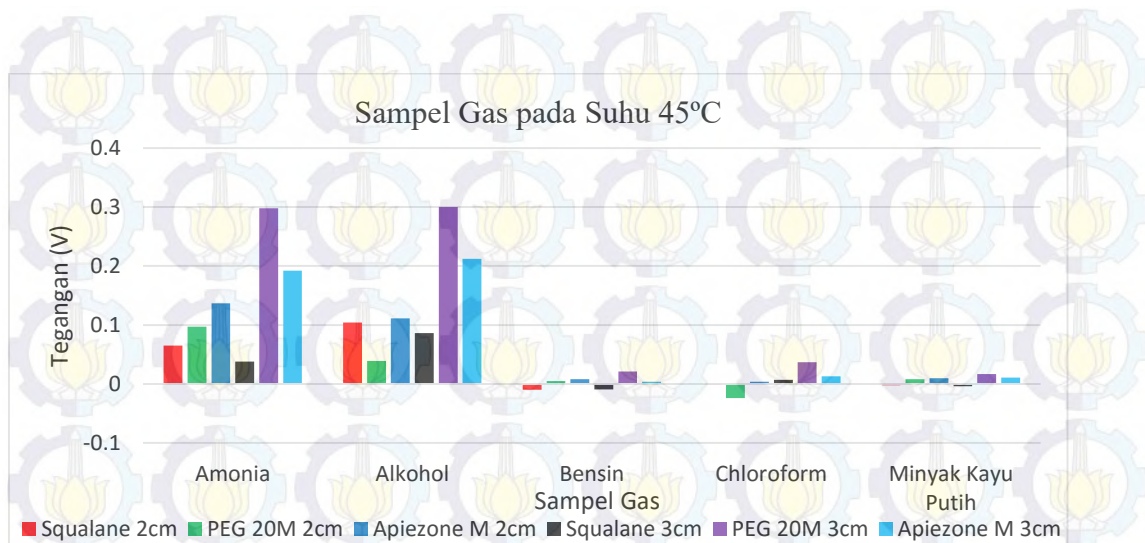
**Gambar 4.54** Data rerata tegangan serat optik *cladding* 2cm dan 3cm terhadap suhu 30°C ketika berinteraksi dengan sampel gas



**Gambar 4.55** Data rerata tegangan serat optik *cladding* 2cm dan 3cm terhadap suhu 35°C ketika berinteraksi dengan sampel gas



**Gambar 4.56** Data rerata tegangan serat optik *cladding* 2cm dan 3cm terhadap suhu 40°C ketika berinteraksi dengan sampel gas



**Gambar 4.57** Data rerata tegangan serat optik *cladding* 2cm dan 3cm terhadap suhu 45°C ketika berinteraksi dengan sampel gas

## 4.10 Pengujian Serat Optik Terhadap Minyak Wangi

### 4.10.1 Tujuan Pengujian

Minyak wangi tergolong bahan atau senyawa yang mudah menguap. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji apakah sensor serat optik dapat membedakan antara tiga jenis minyak wangi.

### 4.10.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Wadah sensor terlebih dahulu dibersihkan dengan udara kering dari silika gel dari detik ke 0 sampai detik ke 30.
2. Sampel minyak wangi dialirkan ke wadah sensor dari detik ke 31 sampai detik ke 170.
3. Wadah sensor dibersihkan kembali dengan udara kering dari silika gel dari detik ke 181 sampai detik ke 500.
4. Mekanisme aliran udara kering dan sampel gas diatur menggunakan mekanik pengatur aliran udara.
5. Pengujian dilakukan pada suhu 27°C atau suhu kamar.
6. Hasil pengujian diamati dan disimpan menggunakan program di komputer.

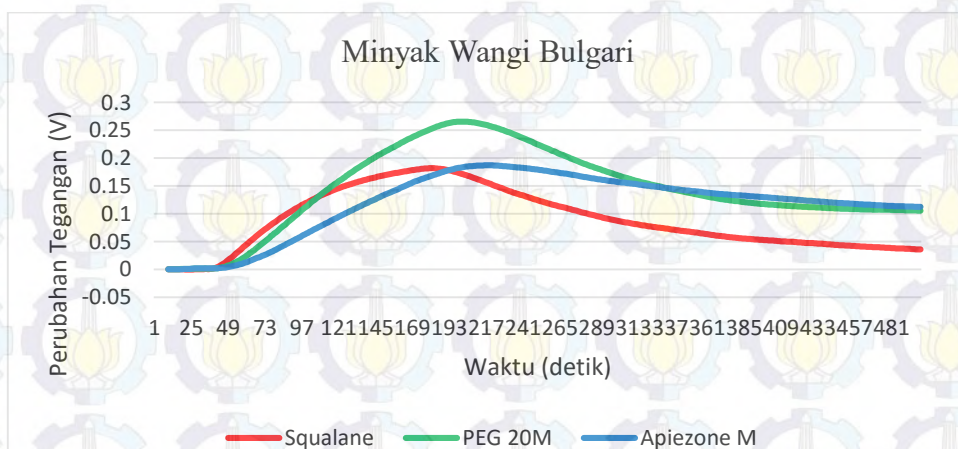
#### 4.10.3 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Tiga Jenis Minyak Wangi

Sampel gas minyak wangi diujikan sebanyak tiga dan total pengujian adalah sebanyak sembilan kali. Hasil pengujian digunakan sebagai pembelajaran pada NN. Minyak wangi yang dipergunakan pada penelitian ini adalah bulgari, dunhil, dan bercelona. Pengujian lengkap keseluruhan minyak wangi dapat dilihat pada Lampiran 1.F.

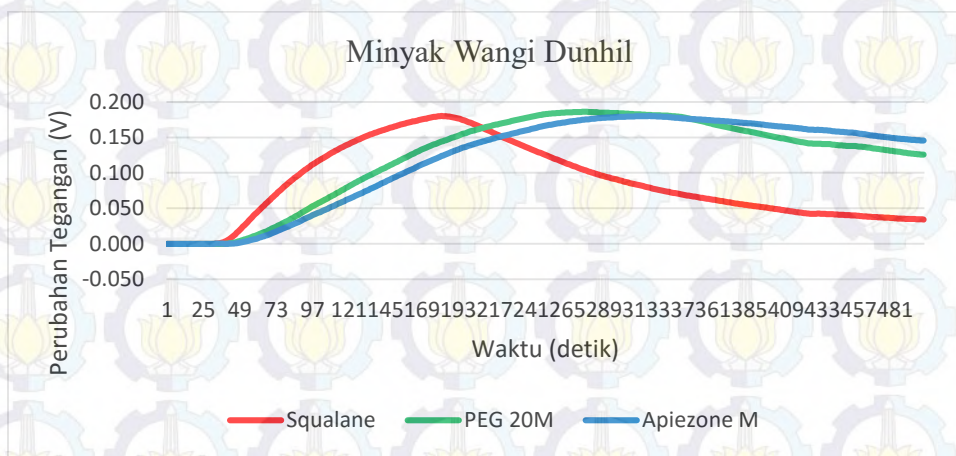
Gambar 4.58 adalah hasil pengujian terhadap minyak wangi bulgari. Respon lapisan PEG 20M menunjukkan paling besar, hal ini menunjukkan bahwa minyak wangi bulgari sensitif terhadap polimer jenis PEG 20M. Namun polimer Squalane mempunyai waktu respon yang cepat dibandingkan lapisan polimer PEG 20M dan Apiezone M.

Gambar 4.59 adalah grafik hasil pengujian terhadap minyak wangi dunhil. Minyak wangi dunhil sangat sensitif terhadap lapisan Squalane, hal ini dibuktikan dengan tanggapan lapisan Squalane paling besar. Sedangkan lapisan PEG 20M dan Apiezone M ketika berinteraksi dengan minyak wangi dunhil membutuhkan waktu lama untuk dibersihkan.

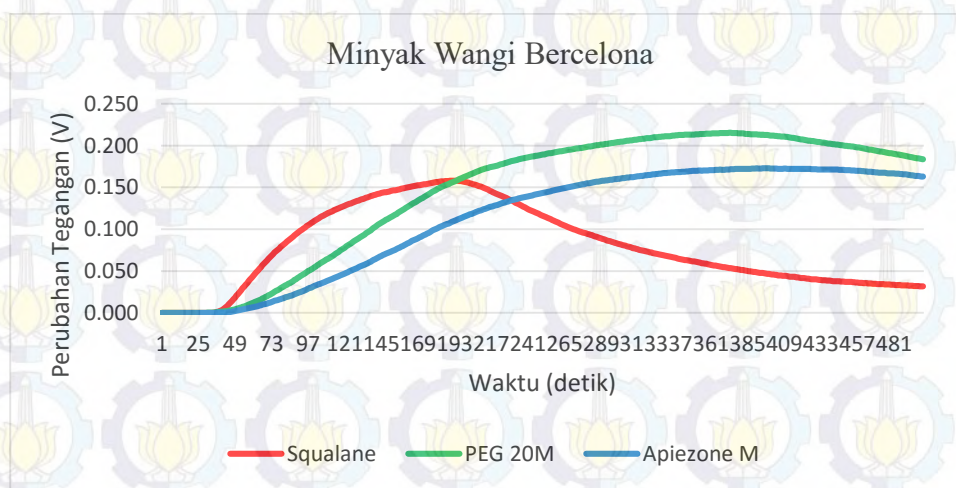
Berbeda dengan respon terhadap minyak wangi bercelona dibandingkan dengan minyak wangi bulgari dan dunhil. Dimana minyak wangi bercelona sangat cepat merespon terhadap lapisan Squalane, namun mempunyai nilai respon paling besar terhadap lapisan PEG 20M dan Apiezone M. Hasil pengujian minyak wangi bercelona dapat dilihat pada Gambar 4.60.



Gambar 4.58 Grafik respon serat optik terhadap minyak wangi bulgari



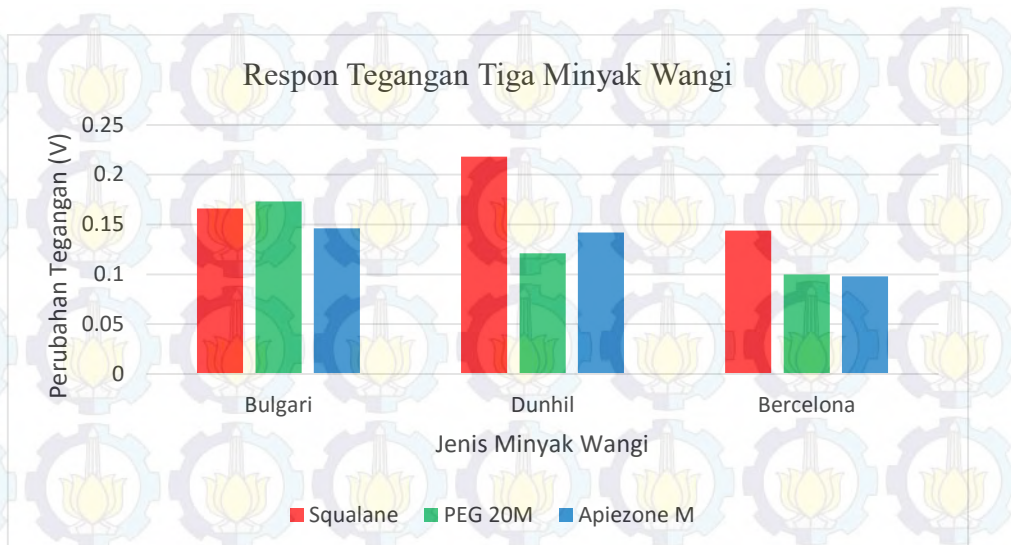
Gambar 4.59 Grafik respon serat optik terhadap minyak wangi dunhil



Gambar 4.60 Grafik respon serat optik terhadap minyak wangi barcelona

Tabel 4.36 Data tegangan hasil pengujian tiga jenis minyak wangi

| No              | Jenis Gas | Pengujian | Lapisan Serat Optik (V) |              |              |
|-----------------|-----------|-----------|-------------------------|--------------|--------------|
|                 |           |           | Squalane                | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1               | Bulgari   | 1         | 0.181                   | 0.239        | 0.159        |
| 2               |           | 2         | 0.170                   | 0.194        | 0.140        |
| 3               |           | 3         | 0.148                   | 0.221        | 0.132        |
| Rerata Tegangan |           |           | <b>0.166</b>            | <b>0.218</b> | <b>0.144</b> |
| 4               | Dunhil    | 1         | 0.175                   | 0.133        | 0.113        |
| 5               |           | 2         | 0.181                   | 0.115        | 0.091        |
| 6               |           | 3         | 0.163                   | 0.115        | 0.097        |
| Rerata Tegangan |           |           | <b>0.173</b>            | <b>0.121</b> | <b>0.100</b> |
| 7               | Barcelona | 1         | 0.155                   | 0.139        | 0.095        |
| 8               |           | 2         | 0.154                   | 0.137        | 0.096        |
| 9               |           | 3         | 0.130                   | 0.151        | 0.104        |
| Rerata Tegangan |           |           | <b>0.146</b>            | <b>0.142</b> | <b>0.098</b> |



**Gambar 4.61** Grafik respon serat optik terhadap tiga jenis minyak wangi

Tabel 4.36 adalah data tegangan dari pengujian tiga jenis minyak wangi. Dapat dilihat bahwa dari rerata pengujian terdapat perbedaan respon tegangan untuk setiap lapisan polimer yang digunakan. Untuk lebih detail dan dapat diketahui perbedaannya secara jelas, maka dapat dilihat pada Gambar 4.61.

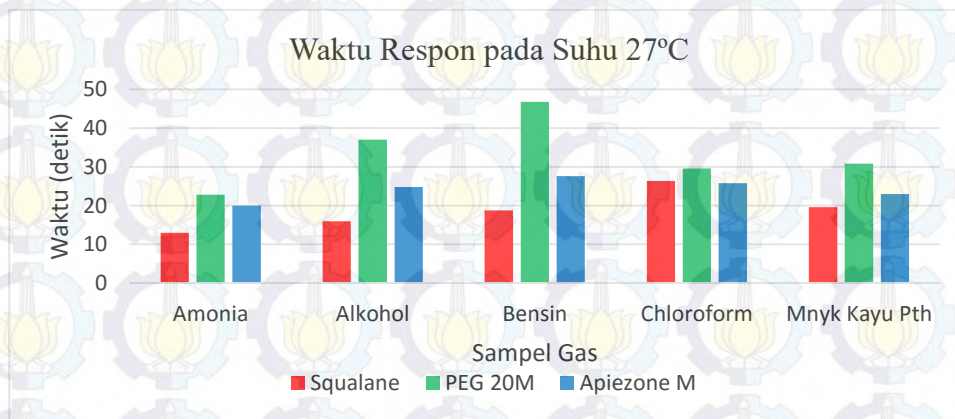
#### 4.11 Perbandingan Waktu Respon Serat Optik Terhadap Sampel Gas dan Perubahan Suhu

##### 4.11.1 Tujuan Pengujian

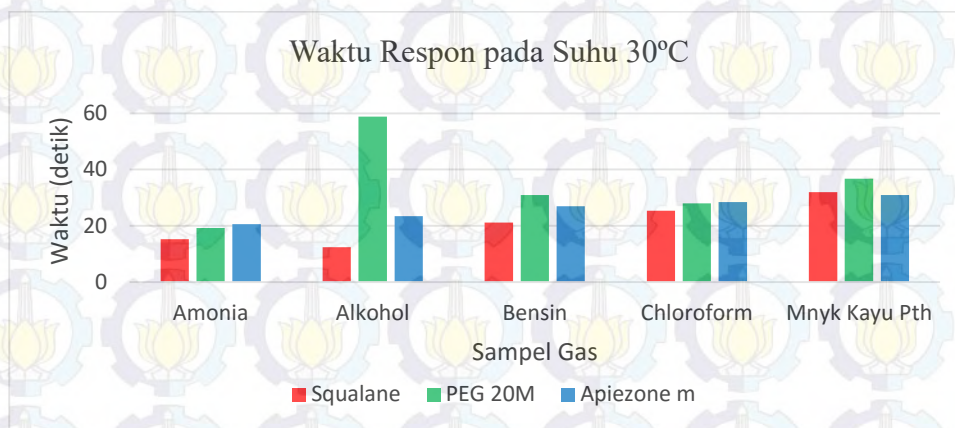
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk membandingkan waktu respon serat optik dari keadaan normal sampai terjadinya respon terhadap sampel gas. Sehingga dengan mengetahui waktu respon dari sensor, dapat dijadikan parameter cepat atau tidaknya sensor mengenali suatu gas.

##### 4.11.2 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Serat Optik *Cladding* 2cm

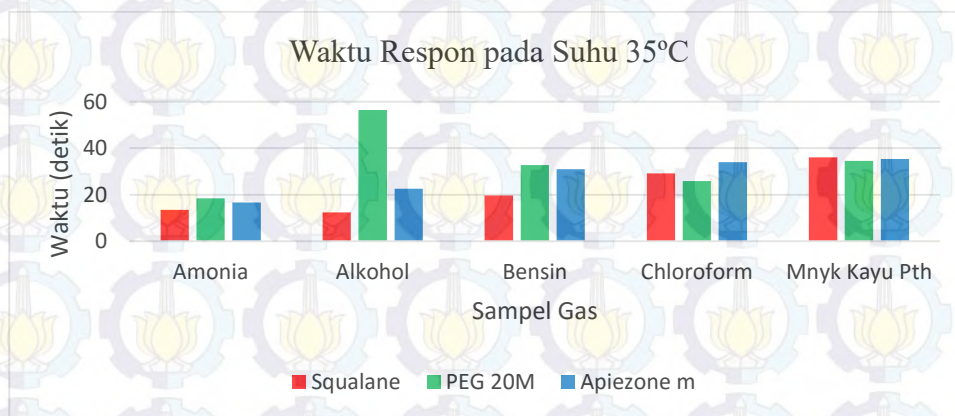
Data yang menjadi acuan adalah waktu ketika gas pertama sekali dimasukkan ke wadah sensor sampai sensor merespon sekitar 0.004 Volt. Data yang diambil untuk setiap variasi suhu terhadap sampel gas. Setiap variasi suhu dilakukan lima kali pengujian, data kelima kali pengujian kemudian dirata-ratakan lalu dibuat grafik agar lebih terlihat perbedaan waktu responnya. Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.G.



**Gambar 4.62** Grafik perbedaan waktu respon *cladding* 2cm pada suhu 27°C



**Gambar 4.63** Grafik perbedaan waktu respon *cladding* 2cm pada suhu 30°C



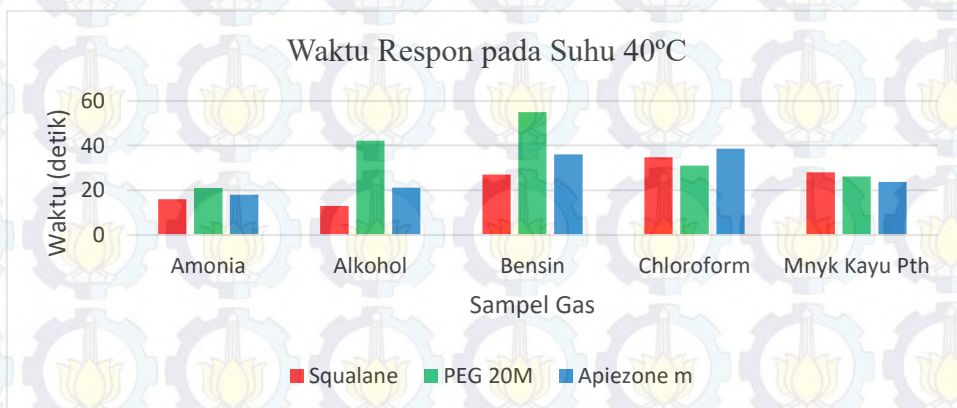
**Gambar 4.64** Grafik perbedaan waktu respon *cladding* 2cm pada suhu 35°C

Gambar 4.62 adalah grafik waktu respon serat optik terhadap sampel gas pada suhu 27°C, dimana lapisan yang paling cepat merespon adalah Squalane terhadap

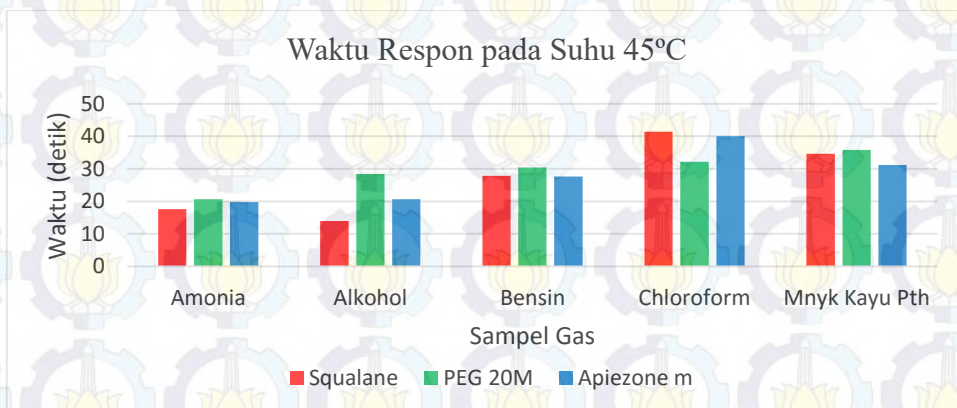
gas amonia yaitu sekitar 13 detik sejak gas amonia dimasukkan ke wadah sensor. Waktu paling lama pada pengujian dengan suhu 27°C adalah 47 detik, yaitu ketika lapisan PEG 20M berinteraksi dengan gas bensin.

Gambar 4.63 adalah grafik waktu respon serat optik terhadap sampel gas pada suhu 30°C. Pada saat pengujian, gas alkohol mampu membuat lapisan Squalane merespon paling cepat dari gas lainnya. Waktu respon Squalane terhadap gas alkohol sekitar 12 detik. Namun gas alkohol pula yang membuat lapisan PEG 20M mempunyai waktu respon paling lama, yaitu sekitar 58 detik.

Gambar 4.64 adalah grafik waktu respon serat optik terhadap sampel gas pada suhu 35°C, dimana lapisan yang paling cepat merespon adalah Squalane terhadap gas alkohol yaitu sekitar 12 detik sejak gas alkohol dimasukkan ke wadah sensor. Waktu paling lama pada pengujian dengan suhu 35°C adalah 56 detik, yaitu ketika lapisan PEG 20M berinteraksi dengan gas alkohol.



**Gambar 4.65** Grafik perbedaan waktu respon *cladding* 2cm pada suhu 40°C



**Gambar 4.66** Grafik perbedaan waktu respon *cladding* 2cm pada suhu 45°C



Gambar 4.65 adalah grafik waktu respon serat optik terhadap sampel gas pada suhu 40°C. Pada saat pengujian, gas alkohol mampu membuat lapisan Squalane merespon paling cepat dari gas lainnya. Waktu respon Squalane terhadap gas alkohol sekitar 12 detik. Namun gas bensin membuat lapisan PEG 20M mempunyai waktu respon paling lama, yaitu sekitar 55 detik.

Gambar 4.66 adalah grafik waktu respon serat optik terhadap sampel gas pada suhu 45°C, dimana lapisan yang paling cepat merespon adalah Squalane terhadap gas alkohol yaitu sekitar 14 detik sejak gas alkohol dimasukkan ke wadah sensor. Waktu paling lama pada pengujian dengan suhu 45°C adalah 41 detik, yaitu ketika lapisan Squalane berinteraksi dengan gas chloroform.

#### **4.11.3 Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Serat Optik *Cladding* 3cm**

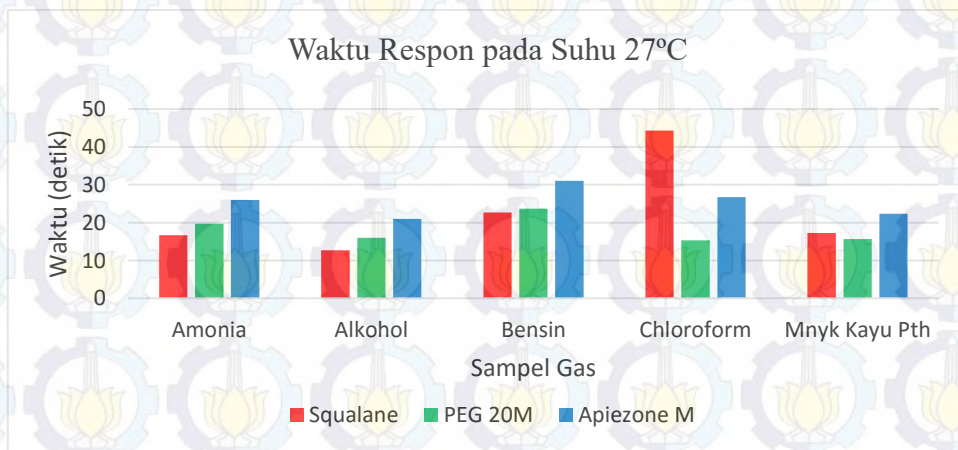
Data yang menjadi acuan adalah waktu ketika gas pertama sekali dimasukkan ke wadah sensor sampai sensor merespon sekitar 0.004 Volt. Data yang diambil untuk setiap variasi suhu terhadap sampel gas. Setiap variasi suhu dilakukan lima kali pengujian, data kelima kali pengujian kemudian dirata-ratakan lalu dibuat grafik agar lebih terlihat perbedaan waktu responnya. Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.H.

Respon serat optik terhadap sampel gas berbeda-beda, dimana terdapat serat optik dengan respon cepat dan ada yang lambat. Ketika dilakukan pengujian terhadap sampel gas dengan suhu 27°C dengan serat optik *cladding* 3cm didapatkan perbedaan waktu respon. Pada Gambar 4.67 menunjukkan bahwa respon tercepat adalah serat optik dengan lapisan polimer Squalane ketika berinteraksi dengan gas alkohol, yaitu sekitar 12 detik. Namun lapisan Squalane mempunyai waktu respon paling lama ketika berinteraksi dengan gas chloroform, yaitu 44 detik. Lapisan PEG 20M mampu merespon dengan cepat terhadap gas chloroform, dimana waktu yang dibutuhkan adalah 15 detik. Berbeda terhadap lapisan Apiezone M, dimana rerata waktu respon telama untuk setiap gas dan yang paling lama ketika berinteraksi dengan gas bensin yaitu sekitar 31 detik.

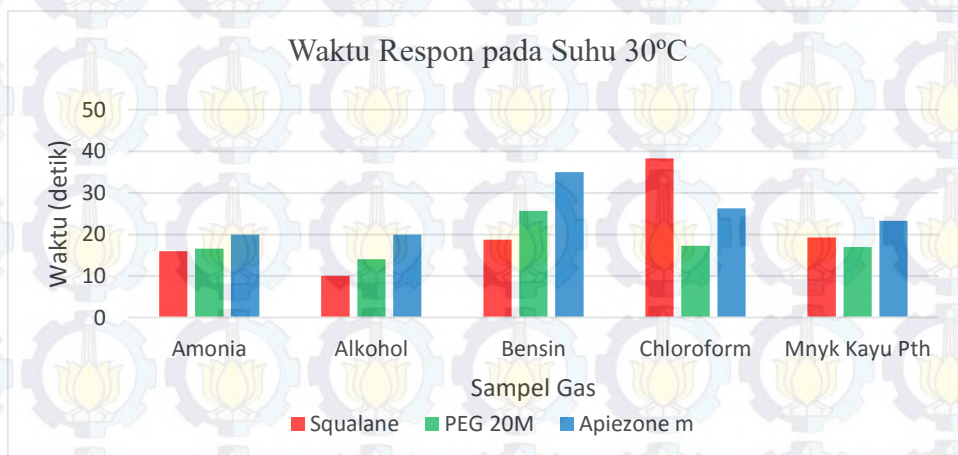
Waktu respon setiap sampel gas ketika dilakukan pengujian terhadap serat optik dengan suhu 30°C dapat dilihat pada Gambar 4.68. Sama halnya pengujian dengan suhu 30°C dan 27°C, dimana lapisan Squalane mempunyai waktu respon

paling cepat terhadap gas bensin, yaitu 10 detik. Lapisan Squalane mempunyai waktu respon terlama diantara lapisan lainnya ketika berinteraksi dengan gas chloroform, yaitu 38 detik.

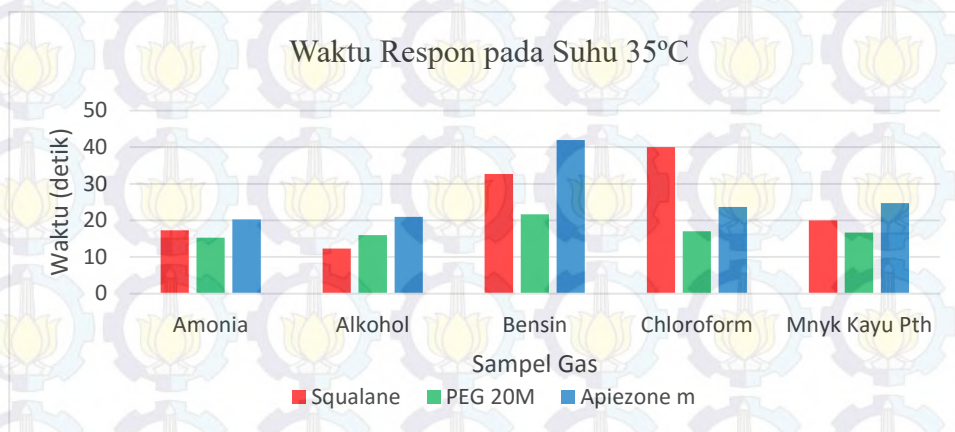
Gambar 4.69 adalah pengujian serat optik terhadap sampel gas yang dilakukan pada suhu 35°C. Dari hasil pengujian diperoleh informasi bahwa lapisan Squalane mampu merespon gas alkohol dalam waktu 12 detik, dan ketika berinteraksi dengan gas chloroform membutuhkan waktu 40 detik. Berbeda sedikit dengan lapisan Apiezone M ketika berinteraksi terhadap gas besin, dimana membutuhkan waktu yang lama dibandingkan ketika berinteraksi dengan gas lainnya, waktu yang dibutuhkan adalah 42 detik.



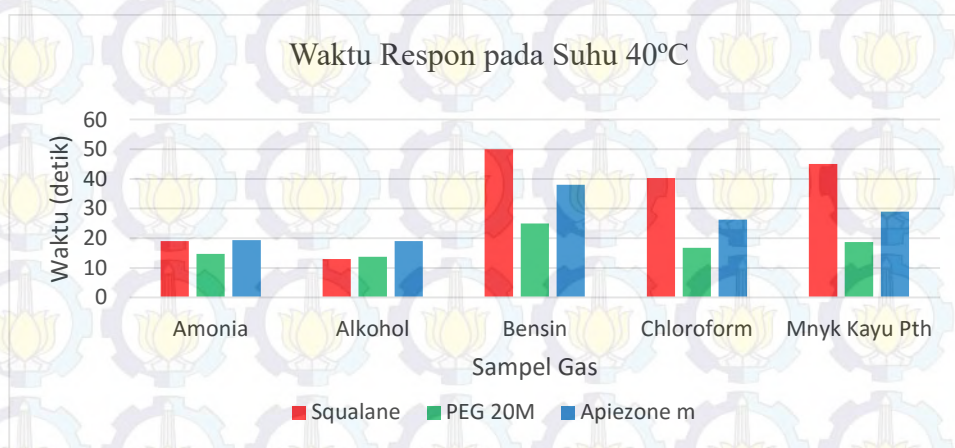
**Gambar 4.67** Grafik perbedaan waktu respon *cladding* 3cm pada suhu 27°C



**Gambar 4.68** Grafik perbedaan waktu respon *cladding* 3cm pada suhu 30°C



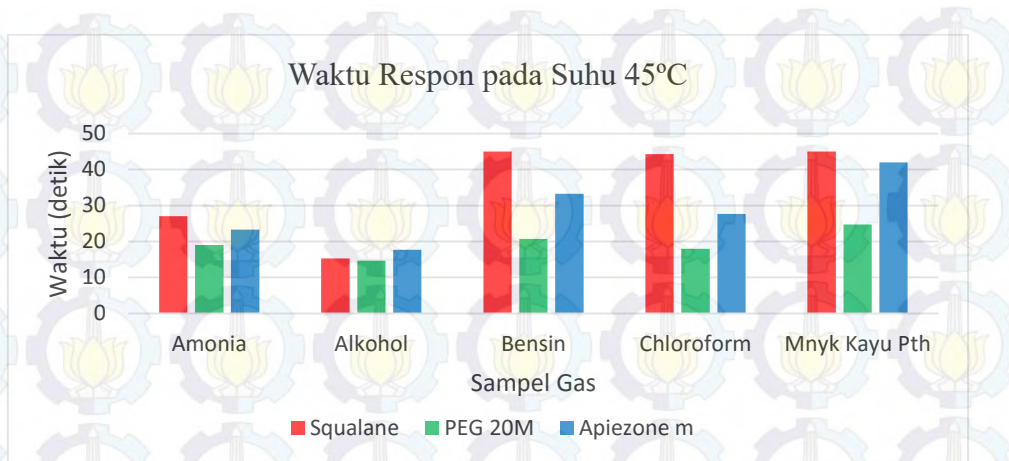
**Gambar 4.69** Grafik perbedaan waktu respon *cladding* 3cm pada suhu 35°C



**Gambar 4.70** Grafik perbedaan waktu respon *cladding* 3cm pada suhu 40°C

Waktu respon setiap sampel gas ketika dilakukan pengujian terhadap serat optik dengan suhu 40°C dapat dilihat pada Gambar 4.70. Dari hasil pengujian diperoleh informasi bahwa lapisan Squalane mampu merespon gas alkohol dengan waktu respon tercepat yaitu 13 detik. Berbeda dengan gas alkohol dan amonia, dimana lapisan Squalane justru mempunyai waktu respon paling lama terhadap gas bensin 40 detik, gas chlorofom 40 detik, dan gas minyak kayu putih 45 detik.

Gambar 4.71 adalah pengujian serat optik terhadap sampel gas yang dilakukan pada suhu 45°C. Dari hasil pengujian diperoleh informasi bahwa lapisan PEG 20M mampu merespon gas alkohol dengan waktu respon tercepat yaitu 14 detik. Lapisan Squalane mempunyai waktu respon paling lama ketika berinteraksi dengan gas bensin 45 detik, chlorofom 44 detik, dan minyak kayu putih 45 detik.



Gambar 4.71 Grafik perbedaan waktu respon *cladding* 3cm pada suhu 45°C

## 4.12 Pengujian Artificial Neural Network

### 4.12.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah program *Neural Network* (NN) telah bekerja dengan baik atau tidak, serta untuk mengetahui parameter-parameter NN (*error terget*, *learning rate*, *alpha*) yang digunakan pada sistem.

### 4.12.2 Prosedur Pengujian

Langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan data parameter dalam bentuk .xls untuk proses pelatihan. Setelah data di-load, maka *weight* acak yang akan digunakan pada proses pembelajaran (*learning*). Kemudian tentukan nilai target kesalahan (*error target*), *learning rate* (*miu*), *alpha* dengan nilai yang diinginkan. Setelah semua siap, maka proses *learning* dapat dimulai. Jika proses *learning* telah selesai maka dapat diketahui iterasi pada setiap percobaan.

### 4.12.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Dari percobaan yang telah dilakukan dapat ditunjukkan hasilnya seperti pada Tabel 4.37. Dengan nilai MSE dan *miu* yang bermacam-macam yang di *learning* dengan bobot acak (*weight random*) yang sama, maka dihasilkan iterasi yang berbeda-beda. Semakin kecil nilai *error target* maka semakin lama proses *learning* dan semakin besar nilai *miu* maka semakin cepat proses pembelajarannya.

**Tabel 4.37** Parameter proses pembelajaran *neural network 2 hidden layer*

| Cladding | MSE    | MIU | ALPHA | ITERASI |
|----------|--------|-----|-------|---------|
| 2cm      | 0.1    | 0.4 | 0.5   | 9115    |
|          | 0.01   | 0.4 | 0.5   | 17340   |
|          | 0.0001 | 0.4 | 0.5   | 460260  |
| 3cm      | 0.1    | 0.4 | 0.5   | 24290   |
|          | 0.01   | 0.4 | 0.5   | 101170  |
|          | 0.0001 | 0.4 | 0.5   | 580285  |

**Tabel 4.38** Parameter proses pembelajaran *neural network 1 hidden layer*

| Cladding | MSE    | Neuron | MIU | ALPHA | ITERASI |
|----------|--------|--------|-----|-------|---------|
| 2cm      | 0.1    | 25     | 0.4 | 0.5   | 13295   |
|          |        | 50     | 0.4 | 0.5   | 12790   |
|          | 0.001  | 25     | 0.4 | 0.5   | 216550  |
|          |        | 50     | 0.4 | 0.5   | 185735  |
|          | 0.0001 | 25     | 0.4 | 0.5   | 1000005 |
|          |        | 50     | 0.4 | 0.5   | 1000005 |
| 3cm      | 0.1    | 25     | 0.4 | 0.5   | 34210   |
|          |        | 50     | 0.4 | 0.5   | 55185   |
|          | 0.001  | 25     | 0.4 | 0.5   | 573985  |
|          |        | 50     | 0.4 | 0.5   | 376695  |
|          | 0.0001 | 25     | 0.4 | 0.5   | 1000005 |
|          |        | 50     | 0.4 | 0.5   | 1000005 |

Pengujian dengan 2 *hidden layer* dilakukang pembelajaran dengan MSE 0.1, 0.01, dan 0.0001. Pengujian dilakukan terhadap *cladding* 2cm dan 3cm, menggunakan parameter miu 0.4, dan alpha 0.5 dan setiap proses pembelajaran menghasilkan iterasi yang berbeda-beda, parameter yang digunakan sebagai pembelajaran dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Pengujian dengan 1 *hidden layer* dilakukan pembelajaran dengan MSE 0.1, 0.001, dan 0.0001. Penggunaan node pada *hidden layer* 1 ada dua, yaitu 25 neuron dan 50 neuron, namun yang dipilih hanya parameter dengan 50 neuron. parameter miu 0.4, dan alpha 0.5 dan setiap proses pembelajaran menghasilkan iterasi yang berbeda-beda. Parameter yang digunakan sebagai proses pembelajaran dapat dilihat pada Tabel 4.38.

## **4.13 Pengujian *Artificial Neural Network* Sebagai Pengenalan Jenis Gas**

### **4.13.1 Tujuan Pengujian**

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat akurasi keberhasilan *neural network* dalam mengidentifikasi jenis gas dalam bentuk persentase. Pengujian ini dapat memudahkan dalam proses penilaian apakah sistem ini telah bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian ini juga bertujuan untuk membandingkan tingkat keberhasilan *cladding* 2cm dan 3cm dalam mengidentifikasi jenis gas.

### **4.13.2 Prosedur Pengujian**

Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk setiap sampel gas, dan setiap sampel gas memiliki lima kriteria perbedaan suhu, jadi total pengujian untuk setiap sampel gas adalah 25. Sampel gas yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak lima, dan total keseluruhan adalah 125 kali pengujian untuk identifikasi. Keseluruhan pengujian dinormalisasikan tegangannya, karena fungsi aktivasi *neural network* menggunakan sigmoid biner dengan nilai 0 sampai 1.

### **4.13.3 Hasil Pengujian dan Analisa**

Hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4.39 adalah persentase tingkat keberhasilan NN untuk mengidentifikasi jenis gas dengan 2 *hidden layer*. Pengujian terhadap ukuran *cladding* 2cm menunjukkan tingkat keberhasilan paling besar dengan rerata persentase tingkat keberhasilan pada MSE 0.0001 adalah 92%, sedangkan serat optik dengan ukuran *cladding* 3cm memiliki rerata tingkat persentase keberhasilan pada MSE 0.0001 adalah 73.6%. Pengujian secara lengkap untuk ukuran *cladding* 2cm dapat dilihat pada Lampiran 1.D, dan untuk ukuran *cladding* 3cm dapat dilihat pada Lampiran 1.E.

Berdasarkan Tabel 4.38 dan Tabel 4.39, dapat disimpulkan bahwa penggunaan 1 *hidden layer* dan 2 *hidden layer* dapat mengidentifikasi jenis gas. Tingkat keberhasilan menggunakan 2 *hidden layer* lebih besar dibandingkan dengan 1 *hidden layer*. Penggunaan ukuran *cladding* 2 cm mempunyai tingkat keberhasilan yang paling tinggi dalam mengidentifikasi jenis gas, dengan persentase 92%.

Identifikasi dengan tiga jenis minyak wangi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1.F. Pola minyak wangi dunnihl dan bercelona mempunyai kemiripan,

sehingga terdapat kesalahan pada saat indentifikasi. Namun ketika dilakukan indentifikasi sebanyak lima kali untuk setiap jenis minyak wangi, maka diperoleh tingkat keberhasilan yaitu 86.6%.

**Tabel 4.39** Persentase hasil pengujian NN terhadap gas, 2 *hidden layer*

| No        | Cladding | Suhu (°C) | MSE (%)     |             |             |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|           |          |           | 0.1         | 0.01        | 0.0001      |
| 1         | 2cm      | 27        | 80          | 88          | 96          |
| 2         |          | 30        | 92          | 92          | 96          |
| 3         |          | 35        | 80          | 80          | 84          |
| 4         |          | 40        | 80          | 84          | 92          |
| 5         |          | 45        | 84          | 88          | 92          |
| Rata-rata |          |           | <b>83.2</b> | <b>86.4</b> | <b>92</b>   |
| 1         | 3cm      | 27        | 84          | 84          | 84          |
| 2         |          | 30        | 96          | 100         | 100         |
| 3         |          | 35        | 80          | 84          | 84          |
| 4         |          | 40        | 44          | 52          | 56          |
| 5         |          | 45        | 36          | 44          | 44          |
| Rata-rata |          |           | <b>68</b>   | <b>72.8</b> | <b>73.6</b> |

**Tabel 4.40** Persentase hasil pengujian NN terhadap gas, 1 *hidden layer*

| No        | Cladding | Suhu (°C) | MSE (%)     |             |             |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|           |          |           | 0.1         | 0.001       | 0.0001      |
| 1         | 2cm      | 27        | 80          | 88          | 88          |
| 2         |          | 30        | 84          | 88          | 88          |
| 3         |          | 35        | 84          | 88          | 92          |
| 4         |          | 40        | 92          | 88          | 92          |
| 5         |          | 45        | 88          | 88          | 92          |
| Rata-rata |          |           | <b>85.6</b> | <b>88</b>   | <b>90.4</b> |
| 1         | 3cm      | 27        | 84          | 84          | 84          |
| 2         |          | 30        | 100         | 100         | 100         |
| 3         |          | 35        | 84          | 84          | 84          |
| 4         |          | 40        | 40          | 44          | 48          |
| 5         |          | 45        | 44          | 44          | 44          |
| Rata-rata |          |           | <b>70.4</b> | <b>71.2</b> | <b>72</b>   |

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem pada penelitian dengan judul “KARAKTERISASI INTENSITAS CAHAYA PADA SERAT OPTIK DENGAN *CLADDING* POLIMER UNTUK IDENTIFIKASI JENIS GAS MENGGUNAKAN *MULTILAYER PERCEPTRON NEURAL NETWORK*”, penulis dapat memberikan kesimpulan serta saran yang akan berguna bagi pengembangan penelitian ini.

### 5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dihasilkan serat optik dengan variasi ukuran *cladding* 2cm dan 3cm dan dilapisi *cladding* polimer Squalane, PEG 20M dan Apiezone M. Penggunaan polimer sebagai *cladding* pengganti bertujuan untuk meningkatkan sensitifitas dan selektifitas serat optik ketika berinteraksi dengan gas. Serat optik dengan lapisan polimer diujikan terhadap beberapa jenis gas pada suhu 27°C sampai 50°C. Pengujian dengan menggunakan parameter suhu bertujuan untuk mengetahui tingkat sensitivitas serat optik ketika berinteraksi dengan gas.

Pengujian dilakukan terhadap gas amonia, alkohol, bensin, chloroform, dan minyak kayu putih. Dari kelima jenis gas yang menunjukkan respon paling besar adalah gas amonia dan alkohol, baik terhadap *cladding* 2cm dan 3cm. Ketika berinteraksi terhadap gas amonia dan alkohol, intensitas cahaya pada serat optik semakin gelap. Respon terhadap gas bensin, chloroform dan minyak kayu putih menunjukkan respon yang berbeda. Respon gas bensin dan gas minyak kayu putih terhadap lapisan Squalane dengan *cladding* 2cm dan 3cm membuat intensitas cahaya pada serat optik semakin terang. Terhadap gas chloroform, lapisan Squalane dan PEG 20M membuat intensitas cahaya pada serat optik *cladding* 2cm semakin terang, sedangkan terhadap *cladding* 3cm semakin gelap.

Waktu respon serat optik terhadap sampel gas berbeda-beda karena setiap serat optik mempunyai lapisan polimer berbeda. Waktu respon dengan serat optik *cladding* 2cm diperoleh bahwa lapisan Squalane mempunyai rerata waktu respon



paling cepat terhadap semua gas dan perubahan suhu, yaitu 22 detik. Sedangkan waktu respon terhadap serat optik *cladding* 3cm yang paling cepat adalah dengan menggunakan lapisan PEG 20M, dengan rerata waktu respon untuk seluruh gas dan perubahan suhu adalah 18 detik.

Indetifikasi jenis gas dilakukan menggunakan metode *neural network*. Terdapat lima sampel gas dengan masing-masing lima kali pengujian. Pengujian juga dilakukan terhadap perubahan suhu sebanyak lima parameter, sehingga pengujian yang dilakukan adalah 125 kali. Pengujian juga dilakukan terhadap perbedaan ukuran *cladding* serat optik, yaitu ukuran 2cm dan 3cm. sehingga total data pengujian adalah 250 kali. Tingkat keberhasilan yang paling besar dalam mengidentifikasi jenis gas adalah serat optik *cladding* 2cm dengan metode *neural network* yang menggunakan 2 *hidden layer*, MSE 0.0001, iterasi sebanyak 460260 dengan persentase tingkat keberhasilan sebesar 92%.

## 5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya memperhatikan pengupasan *cladding* agar berhati-hati. Pada saat etsa kimia, pemberian aseton secara perlahan-lahan dan biarkan *cladding* terkelupas dengan sendirinya. Penelitian ini masih menggunakan sampel gas dengan konsentrasi yang besar, oleh sebab itu untuk penelitian selanjutnya sebaiknya serat optik diuji terhadap sampel gas dengan konsentrasi kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akhiruddin Maddu, Hamdani Zain, La Ode Muliadi, Sar Sardy. (2006), "Penggunaan Polianilin Sebagai *Cladding* Pengganti pada Serat Optik untuk Mendeteksi Gas Amonia", *Jurnal Sains Materi Indonesia*, ISSN 1411-1098.
- Akhiruddin Maddu, Sar Sardy, Hamdani Zain. (2008). "Sensor Serat Optik dengan *Cladding* Polianilin Nanosstruktur untuk Mendeteksi Uap HCl", *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, ISSN No.0854-3046.
- Budi Gunawan, Arief Sudarmaji. (2013), "Pendeteksian Formalin pada Bahan Pangan dengan Sensor Gas Berbasis Polimer Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan", *Prosiding Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim*, Semarang. ISBN 978-602-99334-2-0.
- Clement Joseph, Mounir Boukadoum, Joe Charlson, David Starikov, and Abdelhak Bensaula. (2007), "High Speed Front end for LED Photodiode Based on Fluorescence Lifetime Measurement System", IEEE.
- Desica Alfian, dkk. (2012), "Perancangan Sensor Asap Menggunakan Serat Optik Plastik", *Jurnal Jurusan Teknik Fisika*. FTI-ITS.
- Franden, Jacob. (2006), *Handbook of Modern Sensor*, AIP Perss, San Diego California.
- Hatta, A.M., Semenova, Y., Rajan, G., Wang, P., Zheng, J., Farrell, G., (2010), "Analysis of Temperature Dependence for a Ratiometric Wavelength Measurement System Using SMS Fiber Structure Based Edge", *Jurnal Optic Communication*, Page 283, 1292-1295
- ISO. (2007), *Space Environment (Natural and Artificial) Process for Determining Solar Irradiances*. ISO.
- Keiser, Gerrard. (2000), *Optical Fiber Communication*, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill, Singapore, ISBN 0-07-116468-5.
- Kuo Cheng Huan, Chun Li Chang, Han Chao Chang, and Chung Hsing Chang. (2011), "The Pulse Excitation of UV LED Source for Fluorescence Detection", *National Science Council*.

- M. Sheeba, M. Rajesh, C. P. G. Vallabhan, V. P. N. Nampoori, and P. Radhakrishnan. (2005), "Fiber Optic Sensor for Detection of Adulteran Trace in Coconut Oil", *Meas. Sci. Techo*, Page 16, 2247-2250
- Nurseno Aqib Fadwi Adi. (2013), "Sistem Identifikasi Kualitas Bahan Bakar Minyak Menggunakan Deret LED", *Jurnal Jurusan Teknik Elektro*. FTI-ITS.
- Oliviero, Andrew, and Woodward, Bill. (2009), *Cabling: The Complete Guide to Cooper and Fiber Optic Networking*, Wiley Publishing Inc, Indianapolis, ISBN 978-0-47-47707-6.
- Suprpto, Ika Atika Wati. (2010), "Pembuatan Sensor Gas Berbahan Polimer Konduktif Lapisan Rangkap Polipirol, Politiofena, dan Poli-3-Metilofena untuk Uji Minyak Tanah, Bensin, dan Biosolar", *Prosiding Jurusan Kimia*. FMIPA-ITS.
- Wayan Suana, Melania S. Muntini, Agus M. Hatta. (2012), "Pengembangan Sensor Napas Berbasis Serat Optik Plastik dengan Cladding Terkelupas untuk Aplikasi di Bidang Medis", *Jurnal Jurusan Teknik Fisika*, FTI-ITS.
- Weqin Cao, Yixian Duan. (2005), "Optical Fiber Based Evanescent Ammonia Sensor", *Los Alamos National Laboratory*, USA.
- Yusnita Tanjung Sary. (2010), "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Jenis Cairan Menggunakan Deret LED dan Metode Jaringan Syaraf Tiruan", *Jurnal Jurusan Teknik Elektro*. FTI-ITS.

## LAMPIRAN 1.A

### 1. Pengujian Serat Optik *Cladding* 2cm Terhadap Perubahan Suhu

#### 1.1 Pengujian Perubahan Suhu pada RH 8%

| No | Suhu (°C) | Tegangan (V) |         |            |
|----|-----------|--------------|---------|------------|
|    |           | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 27 + 1    | 1.835        | 2.250   | 2.610      |
| 2  | 30 + 1    | 1.836        | 2.253   | 2.613      |
| 3  | 32 + 1    | 1.836        | 2.256   | 2.616      |
| 4  | 34 + 1    | 1.838        | 2.262   | 2.620      |
| 5  | 36 + 1    | 1.839        | 2.266   | 2.623      |
| 6  | 38 + 1    | 1.843        | 2.276   | 2.629      |
| 7  | 40 + 1    | 1.841        | 2.277   | 2.628      |
| 8  | 42 + 1    | 1.840        | 2.279   | 2.628      |
| 9  | 44 + 1    | 1.840        | 2.282   | 2.628      |
| 10 | 46 + 1    | 1.840        | 2.286   | 2.629      |
| 11 | 48 + 1    | 1.843        | 2.295   | 2.634      |
| 12 | 50 + 1    | 1.846        | 2.306   | 2.635      |

#### 1.2 Pengujian Perubahan Suhu pada RH 20%

| No | Suhu (°C) | Tegangan (V) |         |            |
|----|-----------|--------------|---------|------------|
|    |           | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 27 + 1    | 1.943        | 2.385   | 2.641      |
| 2  | 30 + 1    | 1.951        | 2.394   | 2.652      |
| 3  | 32 + 1    | 1.949        | 2.394   | 2.653      |
| 4  | 34 + 1    | 1.941        | 2.391   | 2.650      |
| 5  | 36 + 1    | 1.933        | 2.389   | 2.644      |
| 6  | 38 + 1    | 1.936        | 2.398   | 2.649      |
| 7  | 40 + 1    | 1.938        | 2.403   | 2.650      |
| 8  | 42 + 1    | 1.935        | 2.402   | 2.645      |
| 9  | 44 + 1    | 1.934        | 2.404   | 2.640      |
| 10 | 46 + 1    | 1.932        | 2.404   | 2.636      |
| 11 | 48 + 1    | 1.933        | 2.411   | 2.636      |
| 12 | 50 + 1    | 1.941        | 2.422   | 2.642      |

#### 1.3 Pengujian Perubahan Suhu pada RH 45%

| No | Suhu (°C) | Tegangan (V) |         |            |
|----|-----------|--------------|---------|------------|
|    |           | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 27 + 1    | 2.015        | 2.465   | 2.831      |
| 2  | 30 + 1    | 2.014        | 2.465   | 2.834      |
| 3  | 32 + 1    | 2.011        | 2.468   | 2.837      |
| 4  | 34 + 1    | 2.012        | 2.482   | 2.849      |
| 5  | 36 + 1    | 2.001        | 2.485   | 2.849      |
| 6  | 38 + 1    | 1.992        | 2.486   | 2.847      |
| 7  | 40 + 1    | 1.979        | 2.482   | 2.839      |
| 8  | 42 + 1    | 1.970        | 2.476   | 2.828      |
| 9  | 44 + 1    | 1.967        | 2.473   | 2.817      |
| 10 | 46 + 1    | 1.971        | 2.475   | 2.810      |
| 11 | 48 + 1    | 1.966        | 2.466   | 2.794      |
| 12 | 50 + 1    | 1.962        | 2.456   | 2.766      |

#### 1.4 Pengujian Perubahan Suhu pada RH 65%

| No | Suhu (°C) | Tegangan (V) |         |            |
|----|-----------|--------------|---------|------------|
|    |           | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 27 + 1    | 2.020        | 2.456   | 2.820      |
| 2  | 30 + 1    | 2.016        | 2.456   | 2.821      |
| 3  | 32 + 1    | 2.012        | 2.459   | 2.824      |
| 4  | 34 + 1    | 2.007        | 2.467   | 2.829      |
| 5  | 36 + 1    | 2.003        | 2.484   | 2.840      |
| 6  | 38 + 1    | 1.993        | 2.492   | 2.844      |
| 7  | 40 + 1    | 1.986        | 2.498   | 2.846      |
| 8  | 42 + 1    | 1.977        | 2.495   | 2.837      |
| 9  | 44 + 1    | 1.973        | 2.493   | 2.830      |
| 10 | 46 + 1    | 1.967        | 2.485   | 2.816      |
| 11 | 48 + 1    | 1.964        | 2.478   | 2.799      |
| 12 | 50 + 1    | 1.963        | 2.472   | 2.783      |

#### 1.4 Pengujian Perubahan Suhu pada RH 80%

| No | Suhu (°C) | Tegangan (V) |         |            |
|----|-----------|--------------|---------|------------|
|    |           | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 27 + 1    | 1.996        | 2.419   | 2.935      |
| 2  | 30 + 1    | 1.993        | 2.425   | 2.941      |
| 3  | 32 + 1    | 1.988        | 2.450   | 2.946      |
| 4  | 34 + 1    | 1.983        | 2.478   | 2.950      |
| 5  | 36 + 1    | 1.986        | 2.502   | 2.955      |
| 6  | 38 + 1    | 1.989        | 2.516   | 2.954      |
| 7  | 40 + 1    | 1.993        | 2.538   | 2.952      |
| 8  | 42 + 1    | 1.992        | 2.544   | 2.953      |
| 9  | 44 + 1    | 1.989        | 2.544   | 2.946      |
| 10 | 46 + 1    | 1.993        | 2.545   | 2.941      |
| 11 | 48 + 1    | 1.987        | 2.533   | 2.923      |
| 12 | 50 + 1    | 1.974        | 2.502   | 2.867      |

### 2. Pengujian Serat Optik *Cladding* 3cm Terhadap Perubahan Suhu

#### 2.1 Pengujian Perubahan Suhu pada RH 8%

| No | Suhu (°C) | Tegangan (V) |         |            |
|----|-----------|--------------|---------|------------|
|    |           | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 27 + 1    | 1.974        | 2.939   | 2.540      |
| 2  | 29 + 1    | 1.975        | 2.941   | 2.546      |
| 3  | 31 + 1    | 1.977        | 2.942   | 2.551      |
| 4  | 33 + 1    | 1.977        | 2.941   | 2.553      |
| 5  | 35 + 1    | 1.981        | 2.943   | 2.565      |
| 6  | 37 + 1    | 1.984        | 2.944   | 2.570      |
| 7  | 39 + 1    | 1.988        | 2.946   | 2.579      |
| 8  | 41 + 1    | 1.991        | 2.949   | 2.582      |
| 9  | 43 + 1    | 1.992        | 2.947   | 2.584      |
| 10 | 45 + 1    | 1.994        | 2.951   | 2.595      |

## 2.2 Pengujian Perubahan Suhu pada RH 20%

| No | Suhu (°C) | Tegangan (V) |         |            |
|----|-----------|--------------|---------|------------|
|    |           | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 27 + 1    | 1.993        | 3.366   | 2.756      |
| 2  | 29 + 1    | 1.992        | 3.352   | 2.759      |
| 3  | 31 + 1    | 1.993        | 3.330   | 2.762      |
| 4  | 33 + 1    | 1.993        | 3.310   | 2.760      |
| 5  | 35 + 1    | 1.992        | 3.258   | 2.754      |
| 6  | 37 + 1    | 1.992        | 3.228   | 2.747      |
| 7  | 39 + 1    | 1.993        | 3.183   | 2.739      |
| 8  | 41 + 1    | 1.995        | 3.141   | 2.726      |
| 9  | 43 + 1    | 1.997        | 3.110   | 2.726      |
| 10 | 45 + 1    | 1.997        | 3.079   | 2.727      |

## 2.3 Pengujian Perubahan Suhu pada RH 45%

| No | Suhu (°C) | Tegangan (V) |         |            |
|----|-----------|--------------|---------|------------|
|    |           | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 27 + 1    | 2.026        | 3.758   | 3.000      |
| 2  | 29 + 1    | 2.023        | 3.761   | 3.007      |
| 3  | 31 + 1    | 2.020        | 3.761   | 3.014      |
| 4  | 33 + 1    | 2.018        | 3.755   | 3.015      |
| 5  | 35 + 1    | 2.012        | 3.729   | 3.020      |
| 6  | 37 + 1    | 2.011        | 3.706   | 3.021      |
| 7  | 39 + 1    | 2.010        | 3.623   | 3.009      |
| 8  | 41 + 1    | 2.010        | 3.538   | 2.984      |
| 9  | 43 + 1    | 2.009        | 3.456   | 2.957      |
| 10 | 45 + 1    | 2.008        | 3.361   | 2.922      |

## 2.4 Pengujian Perubahan Suhu pada RH 65% (1)

| No | Suhu (°C) | Tegangan (V) |         |            |
|----|-----------|--------------|---------|------------|
|    |           | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 27 + 1    | 2.038        | 4.158   | 3.198      |
| 2  | 29 + 1    | 2.042        | 4.172   | 3.212      |
| 3  | 31 + 1    | 2.042        | 4.173   | 3.220      |
| 4  | 33 + 1    | 2.039        | 4.164   | 3.220      |
| 5  | 35 + 1    | 2.031        | 4.110   | 3.220      |
| 6  | 37 + 1    | 2.027        | 4.075   | 3.219      |
| 7  | 39 + 1    | 2.021        | 3.970   | 3.209      |
| 8  | 41 + 1    | 2.018        | 3.842   | 3.184      |
| 9  | 43 + 1    | 2.015        | 3.669   | 3.125      |
| 10 | 45 + 1    | 2.012        | 3.490   | 3.051      |

## 2.5 Pengujian Perubahan Suhu pada RH 80%

| No | Suhu (°C) | Tegangan (V) |         |            |
|----|-----------|--------------|---------|------------|
|    |           | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 27 + 1    | 2.089        | 4.430   | 3.423      |
| 2  | 29 + 1    | 2.074        | 4.430   | 3.433      |
| 3  | 31 + 1    | 2.057        | 4.430   | 3.442      |
| 4  | 33 + 1    | 2.054        | 4.430   | 3.441      |
| 5  | 35 + 1    | 2.039        | 4.421   | 3.444      |
| 6  | 37 + 1    | 2.030        | 4.359   | 3.438      |
| 7  | 39 + 1    | 2.028        | 4.225   | 3.434      |
| 8  | 41 + 1    | 2.027        | 4.089   | 3.432      |
| 9  | 43 + 1    | 2.023        | 3.851   | 3.397      |
| 10 | 45 + 1    | 2.019        | 3.587   | 3.323      |

### 3. Pengujian Serat Optik *Cladding* 2cm Terhadap Perubahan Kelembaban

#### 3.1 Pengujian Perubahan Kelembaban pada Suhu 27°C

| No | RH (%)  | Tegangan (V) |         |            |
|----|---------|--------------|---------|------------|
|    |         | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 10 ± 2% | 1.806        | 2.139   | 2.531      |
| 2  | 15 ± 2% | 1.816        | 2.142   | 2.534      |
| 3  | 20 ± 2% | 1.823        | 2.144   | 2.538      |
| 4  | 25 ± 2% | 1.828        | 2.144   | 2.541      |
| 5  | 30 ± 2% | 1.835        | 2.146   | 2.548      |
| 6  | 35 ± 2% | 1.845        | 2.150   | 2.560      |
| 7  | 40 ± 2% | 1.858        | 2.156   | 2.579      |
| 8  | 45 ± 2% | 1.872        | 2.165   | 2.607      |
| 9  | 50 ± 2% | 1.887        | 2.177   | 2.648      |
| 10 | 55 ± 2% | 1.896        | 2.191   | 2.696      |
| 11 | 60 ± 2% | 1.893        | 2.200   | 2.737      |
| 12 | 65 ± 2% | 1.887        | 2.202   | 2.768      |
| 13 | 70 ± 2% | 1.885        | 2.202   | 2.800      |
| 14 | 75 ± 2% | 1.882        | 2.204   | 2.843      |
| 15 | 80 ± 2% | 1.880        | 2.197   | 2.896      |

#### 3.2 Pengujian Perubahan Kelembaban pada Suhu 30°C

| No | RH (%)  | Tegangan (V) |         |            |
|----|---------|--------------|---------|------------|
|    |         | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 10 ± 2% | 1.802        | 2.344   | 2.511      |
| 2  | 15 ± 2% | 1.812        | 2.348   | 2.514      |
| 3  | 20 ± 2% | 1.816        | 2.350   | 2.517      |
| 4  | 25 ± 2% | 1.821        | 2.353   | 2.521      |
| 5  | 30 ± 2% | 1.827        | 2.357   | 2.528      |
| 6  | 35 ± 2% | 1.835        | 2.364   | 2.540      |
| 7  | 40 ± 2% | 1.845        | 2.374   | 2.557      |
| 8  | 45 ± 2% | 1.858        | 2.390   | 2.584      |
| 9  | 50 ± 2% | 1.871        | 2.414   | 2.626      |
| 10 | 55 ± 2% | 1.880        | 2.439   | 2.670      |
| 11 | 60 ± 2% | 1.878        | 2.454   | 2.704      |
| 12 | 65 ± 2% | 1.870        | 2.457   | 2.729      |
| 13 | 70 ± 2% | 1.865        | 2.450   | 2.755      |
| 14 | 75 ± 2% | 1.862        | 2.437   | 2.795      |
| 15 | 80 ± 2% | 1.864        | 2.432   | 2.843      |

#### 3.3 Pengujian Perubahan Kelembaban pada Suhu 35°C

| No | RH (%)  | Tegangan (V) |         |            |
|----|---------|--------------|---------|------------|
|    |         | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 10 ± 2% | 1.802        | 2.374   | 2.524      |
| 2  | 15 ± 2% | 1.809        | 2.378   | 2.528      |
| 3  | 20 ± 2% | 1.813        | 2.382   | 2.532      |
| 4  | 25 ± 2% | 1.817        | 2.384   | 2.536      |
| 5  | 30 ± 2% | 1.823        | 2.390   | 2.544      |
| 6  | 35 ± 2% | 1.829        | 2.397   | 2.554      |
| 7  | 40 ± 2% | 1.839        | 2.409   | 2.572      |
| 8  | 45 ± 2% | 1.852        | 2.430   | 2.604      |
| 9  | 50 ± 2% | 1.865        | 2.455   | 2.643      |
| 10 | 55 ± 2% | 1.875        | 2.475   | 2.677      |
| 11 | 60 ± 2% | 1.881        | 2.488   | 2.700      |
| 12 | 65 ± 2% | 1.886        | 2.501   | 2.724      |
| 13 | 70 ± 2% | 1.893        | 2.525   | 2.764      |
| 14 | 75 ± 2% | 1.897        | 2.547   | 2.803      |
| 15 | 80 ± 2% | 1.895        | 2.559   | 2.834      |

### 3.4 Pengujian Perubahan Kelembaban pada Suhu 40°C

| No | RH (%)  | Tegangan (V) |         |            |
|----|---------|--------------|---------|------------|
|    |         | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 10 ± 2% | 1.822        | 2.431   | 2.548      |
| 2  | 15 ± 2% | 1.826        | 2.434   | 2.553      |
| 3  | 20 ± 2% | 1.827        | 2.435   | 2.555      |
| 4  | 25 ± 2% | 1.830        | 2.438   | 2.560      |
| 5  | 30 ± 2% | 1.833        | 2.441   | 2.566      |
| 6  | 35 ± 2% | 1.837        | 2.446   | 2.575      |
| 7  | 40 ± 2% | 1.843        | 2.455   | 2.590      |
| 8  | 45 ± 2% | 1.851        | 2.470   | 2.614      |
| 9  | 50 ± 2% | 1.859        | 2.489   | 2.646      |
| 10 | 55 ± 2% | 1.867        | 2.508   | 2.675      |
| 11 | 60 ± 2% | 1.871        | 2.517   | 2.693      |
| 12 | 65 ± 2% | 1.876        | 2.529   | 2.715      |
| 13 | 70 ± 2% | 1.882        | 2.544   | 2.741      |
| 14 | 75 ± 2% | 1.885        | 2.559   | 2.770      |
| 15 | 80 ± 2% | 1.890        | 2.579   | 2.804      |

### 3.5 Pengujian Perubahan Kelembaban pada Suhu 45°C

| No | RH (%)  | Tegangan (V) |         |            |
|----|---------|--------------|---------|------------|
|    |         | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 10 ± 2% | 1.827        | 2.439   | 2.573      |
| 2  | 15 ± 2% | 1.831        | 2.442   | 2.578      |
| 3  | 20 ± 2% | 1.832        | 2.443   | 2.581      |
| 4  | 25 ± 2% | 1.834        | 2.446   | 2.584      |
| 5  | 30 ± 2% | 1.836        | 2.447   | 2.588      |
| 6  | 35 ± 2% | 1.841        | 2.453   | 2.595      |
| 7  | 40 ± 2% | 1.842        | 2.454   | 2.600      |
| 8  | 45 ± 2% | 1.846        | 2.459   | 2.608      |
| 9  | 50 ± 2% | 1.852        | 2.468   | 2.623      |
| 10 | 55 ± 2% | 1.858        | 2.477   | 2.642      |
| 11 | 60 ± 2% | 1.864        | 2.489   | 2.664      |
| 12 | 65 ± 2% | 1.870        | 2.504   | 2.694      |
| 13 | 70 ± 2% | 1.875        | 2.523   | 2.731      |
| 14 | 75 ± 2% | 1.878        | 2.546   | 2.770      |
| 15 | 80 ± 2% | 1.882        | 2.567   | 2.805      |

### 3.6 Pengujian Perubahan Kelembaban pada Suhu 50°C

| No | RH (%)  | Tegangan (V) |         |            |
|----|---------|--------------|---------|------------|
|    |         | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 10 ± 2% | 1.831        | 2.313   | 2.699      |
| 2  | 15 ± 2% | 1.840        | 2.323   | 2.709      |
| 3  | 20 ± 2% | 1.839        | 2.322   | 2.711      |
| 4  | 25 ± 2% | 1.841        | 2.325   | 2.716      |
| 5  | 30 ± 2% | 1.844        | 2.327   | 2.720      |
| 6  | 35 ± 2% | 1.848        | 2.333   | 2.729      |
| 7  | 40 ± 2% | 1.850        | 2.335   | 2.736      |
| 8  | 45 ± 2% | 1.855        | 2.343   | 2.750      |
| 9  | 50 ± 2% | 1.860        | 2.351   | 2.767      |
| 10 | 55 ± 2% | 1.866        | 2.363   | 2.788      |
| 11 | 60 ± 2% | 1.873        | 2.378   | 2.813      |
| 12 | 65 ± 2% | 1.878        | 2.394   | 2.841      |
| 13 | 70 ± 2% | 1.882        | 2.415   | 2.876      |
| 14 | 75 ± 2% | 1.883        | 2.437   | 2.922      |
| 15 | 80 ± 2% | 1.887        | 2.454   | 2.956      |



#### 4. Pengujian Serat Optik *Cladding* 3cm Terhadap Perubahan Kelembaban

##### 4.1 Pengujian Perubahan Kelembaban pada Suhu 27°C

| No | RH (%)  | Tegangan (V) |         |            |
|----|---------|--------------|---------|------------|
|    |         | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 10 ± 2% | 1.927        | 2.304   | 2.060      |
| 2  | 15 ± 2% | 1.931        | 2.306   | 2.060      |
| 3  | 20 ± 2% | 1.934        | 2.308   | 2.062      |
| 4  | 25 ± 2% | 1.935        | 2.311   | 2.063      |
| 5  | 30 ± 2% | 1.939        | 2.316   | 2.064      |
| 6  | 35 ± 2% | 1.943        | 2.325   | 2.068      |
| 7  | 40 ± 2% | 1.951        | 2.342   | 2.076      |
| 8  | 45 ± 2% | 1.972        | 2.404   | 2.115      |
| 9  | 50 ± 2% | 1.984        | 2.458   | 2.150      |
| 10 | 55 ± 2% | 1.987        | 2.469   | 2.157      |
| 11 | 60 ± 2% | 1.991        | 2.479   | 2.164      |
| 12 | 65 ± 2% | 1.996        | 2.492   | 2.173      |
| 13 | 70 ± 2% | 2.005        | 2.517   | 2.193      |
| 14 | 75 ± 2% | 2.019        | 2.551   | 2.219      |
| 15 | 80 ± 2% | 2.047        | 2.652   | 2.300      |

##### 4.2 Pengujian Perubahan Kelembaban pada Suhu 30°C

| No | RH (%)  | Tegangan (V) |         |            |
|----|---------|--------------|---------|------------|
|    |         | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 10 ± 2% | 1.943        | 2.478   | 2.164      |
| 2  | 15 ± 2% | 1.947        | 2.482   | 2.166      |
| 3  | 20 ± 2% | 1.949        | 2.486   | 2.168      |
| 4  | 25 ± 2% | 1.951        | 2.494   | 2.170      |
| 5  | 30 ± 2% | 1.957        | 2.511   | 2.178      |
| 6  | 35 ± 2% | 1.972        | 2.582   | 2.216      |
| 7  | 40 ± 2% | 1.983        | 2.652   | 2.256      |
| 8  | 45 ± 2% | 1.992        | 2.694   | 2.285      |
| 9  | 50 ± 2% | 1.999        | 2.732   | 2.312      |
| 10 | 55 ± 2% | 2.004        | 2.750   | 2.326      |
| 11 | 60 ± 2% | 2.006        | 2.755   | 2.329      |
| 12 | 65 ± 2% | 2.008        | 2.761   | 2.335      |
| 13 | 70 ± 2% | 2.011        | 2.770   | 2.342      |
| 14 | 75 ± 2% | 2.017        | 2.787   | 2.356      |
| 15 | 80 ± 2% | 2.029        | 2.835   | 2.398      |

##### 4.3 Pengujian Perubahan Kelembaban pada Suhu 35°C

| No | RH (%)  | Tegangan (V) |         |            |
|----|---------|--------------|---------|------------|
|    |         | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 10 ± 2% | 1.956        | 2.653   | 2.294      |
| 2  | 15 ± 2% | 1.958        | 2.656   | 2.295      |
| 3  | 20 ± 2% | 1.963        | 2.678   | 2.302      |
| 4  | 25 ± 2% | 1.969        | 2.734   | 2.324      |
| 5  | 30 ± 2% | 1.974        | 2.781   | 2.345      |
| 6  | 35 ± 2% | 1.980        | 2.816   | 2.364      |
| 7  | 40 ± 2% | 1.986        | 2.844   | 2.382      |
| 8  | 45 ± 2% | 1.988        | 2.850   | 2.387      |
| 9  | 50 ± 2% | 1.990        | 2.856   | 2.392      |
| 10 | 55 ± 2% | 1.994        | 2.869   | 2.401      |
| 11 | 60 ± 2% | 2.002        | 2.905   | 2.430      |
| 12 | 65 ± 2% | 2.009        | 2.946   | 2.461      |
| 13 | 70 ± 2% | 2.014        | 2.967   | 2.477      |
| 14 | 75 ± 2% | 2.018        | 2.987   | 2.493      |
| 15 | 80 ± 2% | 2.025        | 3.042   | 2.537      |

#### 4.4 Pengujian Perubahan Kelembaban pada Suhu 40°C

| No | RH (%)  | Tegangan (V) |         |            |
|----|---------|--------------|---------|------------|
|    |         | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 10 ± 2% | 1.971        | 2.755   | 2.397      |
| 2  | 15 ± 2% | 1.973        | 2.762   | 2.397      |
| 3  | 20 ± 2% | 1.975        | 2.778   | 2.402      |
| 4  | 25 ± 2% | 1.979        | 2.823   | 2.416      |
| 5  | 30 ± 2% | 1.983        | 2.868   | 2.437      |
| 6  | 35 ± 2% | 1.988        | 2.904   | 2.459      |
| 7  | 40 ± 2% | 1.991        | 2.929   | 2.473      |
| 8  | 45 ± 2% | 1.993        | 2.940   | 2.481      |
| 9  | 50 ± 2% | 1.996        | 2.967   | 2.499      |
| 10 | 55 ± 2% | 2.001        | 3.011   | 2.530      |
| 11 | 60 ± 2% | 2.004        | 3.037   | 2.548      |
| 12 | 65 ± 2% | 2.006        | 3.048   | 2.557      |
| 13 | 70 ± 2% | 2.010        | 3.065   | 2.570      |
| 14 | 75 ± 2% | 2.017        | 3.113   | 2.609      |
| 15 | 80 ± 2% | 2.024        | 3.192   | 2.671      |

#### 4.5 Pengujian Perubahan Kelembaban pada Suhu 45°C

| No | RH (%)  | Tegangan (V) |         |            |
|----|---------|--------------|---------|------------|
|    |         | Squalane     | PEG 20M | Apiezone M |
| 1  | 10 ± 2% | 1.996        | 2.902   | 2.530      |
| 2  | 15 ± 2% | 1.998        | 2.910   | 2.535      |
| 3  | 20 ± 2% | 1.999        | 2.920   | 2.540      |
| 4  | 25 ± 2% | 2.003        | 2.955   | 2.563      |
| 5  | 30 ± 2% | 2.004        | 2.997   | 2.592      |
| 6  | 35 ± 2% | 2.007        | 3.044   | 2.617      |
| 7  | 40 ± 2% | 2.009        | 3.074   | 2.631      |
| 8  | 45 ± 2% | 2.011        | 3.084   | 2.636      |
| 9  | 50 ± 2% | 2.012        | 3.098   | 2.645      |
| 10 | 55 ± 2% | 2.018        | 3.142   | 2.679      |
| 11 | 60 ± 2% | 2.021        | 3.173   | 2.709      |
| 12 | 65 ± 2% | 2.021        | 3.183   | 2.719      |
| 13 | 70 ± 2% | 2.023        | 3.198   | 2.731      |
| 14 | 75 ± 2% | 2.026        | 3.234   | 2.759      |
| 15 | 80 ± 2% | 2.032        | 3.306   | 2.819      |

#### Regresi linear pengujian perubahan suhu, Cladding 2cm

| RH (%) | Lapisan Polimer | Linear              | R <sup>2</sup> |
|--------|-----------------|---------------------|----------------|
| 8      | Squalane        | $y=0.0008x+1.8346$  | 0.7288         |
|        | PEG 20M         | $y=0.0047x+2.2436$  | 0.9693         |
|        | Apiezone M      | $y=0.0022x+2.6103$  | 0.9087         |
| 20     | Squalane        | $y=-0.0012x+1.9464$ | 0.4367         |
|        | PEG 20M         | $y=0.0026x+2.3829$  | 0.8316         |
|        | Apiezone M      | $y=-0.0011x+2.6516$ | 0.4183         |
| 45     | Squalane        | $y=-0.0057x+2.0252$ | 0.9296         |
|        | PEG 20M         | $y=-0.0005x+2.4762$ | 0.0316         |
|        | Apiezone M      | $y=-0.0052x+2.8588$ | 0.5712         |
| 65     | Squalane        | $y=-0.0058x+2.0278$ | 0.9800         |
|        | PEG 20M         | $y=0.0025x+2.4614$  | 0.3489         |
|        | Apiezone M      | $y=-0.0024x+2.8393$ | 0.2086         |
| 80     | Squalane        | $y=-0.0007x+1.9933$ | 0.2090         |
|        | PEG 20M         | $y=0.0106x+2.4311$  | 0.6715         |
|        | Apiezone M      | $y=-0.0034x+2.9608$ | 0.2545         |

### Regresi linear pengujian perubahan suhu, cladding 3cm

| RH (%) | Lapisan Polimer | Linear                | R <sup>2</sup> |
|--------|-----------------|-----------------------|----------------|
| 8      | Squalane        | $y=0.0024x + 1.9701$  | 0.9672         |
|        | PEG 20M         | $y=0.0012x + 2.9376$  | 0.9266         |
|        | Apiezone M      | $y=0.0061x + 2.5332$  | 0.9842         |
| 20     | Squalane        | $y=0.0005x + 1.9911$  | 0.6271         |
|        | PEG 20M         | $y=-0.0342x + 3.4237$ | 0.9857         |
|        | Apiezone M      | $y=-0.0045x + 2.7706$ | 0.8413         |
| 45     | Squalane        | $y=-0.002x + 2.0255$  | 0.8960         |
|        | PEG 20M         | $y=-0.0439x + 3.8862$ | 0.8318         |
|        | Apiezone M      | $y=-0.0073x + 3.0352$ | 0.4807         |
| 65     | Squalane        | $y=-0.0036x + 2.0483$ | 0.9128         |
|        | PEG 20M         | $y=-0.0715x + 4.3759$ | 0.8099         |
|        | Apiezone M      | $y=-0.013x + 3.2575$  | 0.5025         |
| 80     | Squalane        | $y=-0.0075x + 2.0851$ | 0.9034         |
|        | PEG 20M         | $y=-0.085x + 4.6925$  | 0.7543         |
|        | Apiezone M      | $y=-0.0075x + 3.4616$ | 0.3719         |

### Regresi linear pengujian perubahan kelembaban, cladding 2cm

| Suhu (°C) | Lapisan Polimer | Linear               | R <sup>2</sup> |
|-----------|-----------------|----------------------|----------------|
| 27        | Squalane        | $y=0.0063x + 1.8087$ | 0.8206         |
|           | PEG 20M         | $y=0.0056x + 2.1259$ | 0.9114         |
|           | Apiezone M      | $y=0.0269x + 2.4393$ | 0.9180         |
| 30        | Squalane        | $y=0.0052x + 1.8057$ | 0.7831         |
|           | PEG 20M         | $y=0.0091x + 2.3247$ | 0.8529         |
|           | Apiezone M      | $y=0.0246x + 2.4295$ | 0.9255         |
| 35        | Squalane        | $y=0.0077x + 1.7901$ | 0.9760         |
|           | PEG 20M         | $y=0.0143x + 2.3321$ | 0.9494         |
|           | Apiezone M      | $y=0.0233x + 2.4498$ | 0.9342         |
| 40        | Squalane        | $y=0.0053x + 1.8113$ | 0.9801         |
|           | PEG 20M         | $y=0.0110x + 2.3970$ | 0.9402         |
|           | Apiezone M      | $y=0.0189x + 2.4894$ | 0.9378         |
| 45        | Squalane        | $y=0.0041x + 1.8180$ | 0.9717         |
|           | PEG 20M         | $y=0.0084x + 2.4102$ | 0.8510         |
|           | Apiezone M      | $y=0.0154x + 2.5188$ | 0.8471         |
| 50        | Squalane        | $y=0.0041x + 1.8256$ | 0.9781         |
|           | PEG 20M         | $y=0.0094x + 2.2856$ | 0.8800         |
|           | Apiezone M      | $y=0.0173x + 2.6441$ | 0.8790         |

### Regresi linear pengujian perubahan kelembaban, cladding 3cm

| Suhu (°C) | Lapisan Polimer | Linear               | R <sup>2</sup> |
|-----------|-----------------|----------------------|----------------|
| 27        | Squalane        | $y=0.008x + 1.9065$  | 0.9416         |
|           | PEG 20M         | $y=0.0235x + 2.2277$ | 0.9082         |
|           | Apiezone M      | $y=0.0153x + 2.0059$ | 0.8718         |
| 30        | Squalane        | $y=0.0064x + 1.9333$ | 0.9656         |
|           | PEG 20M         | $y=0.0284x + 2.4237$ | 0.9347         |
|           | Apiezone M      | $y=0.018x + 2.1229$  | 0.9464         |
| 35        | Squalane        | $y=0.0049x + 1.9493$ | 0.9925         |
|           | PEG 20M         | $y=0.0268x + 2.6248$ | 0.9758         |
|           | Apiezone M      | $y=0.0166x + 2.2596$ | 0.9705         |
| 40        | Squalane        | $y=0.0036x + 1.9652$ | 0.9875         |
|           | PEG 20M         | $y=0.0295x + 2.7102$ | 0.9830         |
|           | Apiezone M      | $y=0.0182x + 2.3508$ | 0.9568         |
| 45        | Squalane        | $y=0.0024x + 1.9923$ | 0.9854         |
|           | PEG 20M         | $y=0.0279x + 2.8579$ | 0.9834         |
|           | Apiezone M      | $y=0.0194x + 2.4917$ | 0.9746         |

## LAMPIRAN 1.B

### 1. Data perubahan tegangan pada gas amonia

| Suhu (°C) | Pengujian | Gas    | Lapisan Serat Optik Cladding 2cm (V) |              |              |
|-----------|-----------|--------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |           |        | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 27        | 1         | Amonia | 0.057                                | 0.053        | 0.242        |
|           | 2         |        | 0.069                                | 0.103        | 0.270        |
|           | 3         |        | 0.083                                | 0.099        | 0.242        |
|           | 4         |        | 0.091                                | 0.080        | 0.207        |
|           | 5         |        | 0.082                                | 0.080        | 0.193        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>0.076</b> | <b>0.083</b> |
| 30        | 1         | Amonia | 0.081                                | 0.098        | 0.184        |
|           | 2         |        | 0.071                                | 0.076        | 0.170        |
|           | 3         |        | 0.063                                | 0.074        | 0.160        |
|           | 4         |        | 0.064                                | 0.087        | 0.167        |
|           | 5         |        | 0.077                                | 0.083        | 0.170        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>0.071</b> | <b>0.084</b> |
| 35        | 1         | Amonia | 0.095                                | 0.099        | 0.168        |
|           | 2         |        | 0.095                                | 0.092        | 0.153        |
|           | 3         |        | 0.095                                | 0.089        | 0.144        |
|           | 4         |        | 0.092                                | 0.082        | 0.138        |
|           | 5         |        | 0.094                                | 0.086        | 0.142        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>0.094</b> | <b>0.090</b> |
| 40        | 1         | Amonia | 0.080                                | 0.090        | 0.139        |
|           | 2         |        | 0.074                                | 0.089        | 0.132        |
|           | 3         |        | 0.073                                | 0.086        | 0.127        |
|           | 4         |        | 0.080                                | 0.090        | 0.130        |
|           | 5         |        | 0.075                                | 0.086        | 0.125        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>0.076</b> | <b>0.088</b> |
| 45        | 1         | Amonia | 0.069                                | 0.101        | 0.153        |
|           | 2         |        | 0.067                                | 0.102        | 0.144        |
|           | 3         |        | 0.062                                | 0.097        | 0.146        |
|           | 4         |        | 0.063                                | 0.087        | 0.122        |
|           | 5         |        | 0.063                                | 0.097        | 0.121        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>0.065</b> | <b>0.097</b> |

#### 1.1 Normalisasi Rerata Tegangan Gas Amonia

| No        | Gas    | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik Cladding 2cm (V) |              |              |
|-----------|--------|-----------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |        |           | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1         | Amonia | 27        | 0.278                                | 0.325        | 1.000        |
| 2         |        | 30        | 0.417                                | 0.491        | 1.000        |
| 3         |        | 35        | 0.631                                | 0.603        | 1.000        |
| 4         |        | 40        | 0.584                                | 0.677        | 1.000        |
| 5         |        | 45        | 0.471                                | 0.705        | 1.000        |
| Rata-rata |        |           | <b>0.476</b>                         | <b>0.560</b> | <b>1.000</b> |

## 2. Data perubahan tegangan pada gas alkohol

| Suhu (°C) | Pengujian | Gas     | Lapisan Serat Optik Cladding 2cm (V) |              |              |
|-----------|-----------|---------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |           |         | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 27        | 1         | Alkohol | 0.132                                | 0.041        | 0.091        |
|           | 2         |         | 0.116                                | 0.029        | 0.068        |
|           | 3         |         | 0.152                                | 0.039        | 0.134        |
|           | 4         |         | 0.153                                | 0.039        | 0.137        |
|           | 5         |         | 0.149                                | 0.039        | 0.119        |
|           | Rata-rata |         |                                      | <b>0.140</b> | <b>0.037</b> |
| 30        | 1         | Alkohol | 0.150                                | 0.031        | 0.101        |
|           | 2         |         | 0.150                                | 0.027        | 0.087        |
|           | 3         |         | 0.145                                | 0.021        | 0.081        |
|           | 4         |         | 0.144                                | 0.019        | 0.080        |
|           | 5         |         | 0.143                                | 0.022        | 0.081        |
|           | Rata-rata |         |                                      | <b>0.146</b> | <b>0.024</b> |
| 35        | 1         | Alkohol | 0.130                                | 0.020        | 0.083        |
|           | 2         |         | 0.134                                | 0.026        | 0.086        |
|           | 3         |         | 0.133                                | 0.024        | 0.085        |
|           | 4         |         | 0.134                                | 0.018        | 0.092        |
|           | 5         |         | 0.134                                | 0.021        | 0.087        |
|           | Rata-rata |         |                                      | <b>0.133</b> | <b>0.022</b> |
| 40        | 1         | Alkohol | 0.117                                | 0.025        | 0.095        |
|           | 2         |         | 0.112                                | 0.024        | 0.092        |
|           | 3         |         | 0.119                                | 0.025        | 0.101        |
|           | 4         |         | 0.117                                | 0.025        | 0.097        |
|           | 5         |         | 0.123                                | 0.033        | 0.107        |
|           | Rata-rata |         |                                      | <b>0.117</b> | <b>0.026</b> |
| 45        | 1         | Alkohol | 0.105                                | 0.036        | 0.106        |
|           | 2         |         | 0.105                                | 0.042        | 0.112        |
|           | 3         |         | 0.106                                | 0.040        | 0.114        |
|           | 4         |         | 0.103                                | 0.040        | 0.111        |
|           | 5         |         | 0.100                                | 0.039        | 0.111        |
|           | Rata-rata |         |                                      | <b>0.104</b> | <b>0.039</b> |

### 2.1 Normalisasi Rerata Tegangan Gas Alkohol

| No        | Gas     | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik Cladding 2cm (V) |              |              |
|-----------|---------|-----------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |         |           | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1         | Alkohol | 27        | 1.000                                | 0.267        | 0.783        |
| 2         |         | 30        | 1.000                                | 0.163        | 0.587        |
| 3         |         | 35        | 1.000                                | 0.165        | 0.651        |
| 4         |         | 40        | 1.000                                | 0.225        | 0.836        |
| 5         |         | 45        | 0.934                                | 0.355        | 1.000        |
| Rata-rata |         |           | <b>0.987</b>                         | <b>0.235</b> | <b>0.771</b> |

### 3. Data perubahan tegangan pada gas bensin

| Suhu (°C) | Pengujian | Gas    | Lapisan Serat Optik Cladding 2cm (V) |              |              |
|-----------|-----------|--------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |           |        | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 27        | 1         | Bensin | -0.073                               | 0.018        | 0.036        |
|           | 2         |        | -0.068                               | 0.016        | 0.013        |
|           | 3         |        | -0.072                               | 0.004        | 0.014        |
|           | 4         |        | -0.072                               | 0.005        | 0.006        |
|           | 5         |        | -0.030                               | 0.009        | 0.021        |
|           | Rata-rata |        | <b>-0.063</b>                        | <b>0.010</b> | <b>0.018</b> |
| 30        | 1         | Bensin | -0.029                               | 0.016        | 0.023        |
|           | 2         |        | -0.037                               | 0.012        | 0.015        |
|           | 3         |        | -0.037                               | 0.006        | 0.008        |
|           | 4         |        | -0.035                               | 0.006        | 0.010        |
|           | 5         |        | -0.036                               | 0.001        | 0.011        |
|           | Rata-rata |        | <b>-0.035</b>                        | <b>0.008</b> | <b>0.013</b> |
| 35        | 1         | Bensin | -0.031                               | 0.004        | 0.011        |
|           | 2         |        | -0.030                               | 0.006        | 0.010        |
|           | 3         |        | -0.029                               | 0.001        | 0.011        |
|           | 4         |        | -0.029                               | 0.001        | 0.006        |
|           | 5         |        | -0.032                               | 0.004        | 0.006        |
|           | Rata-rata |        | <b>-0.030</b>                        | <b>0.003</b> | <b>0.009</b> |
| 40        | 1         | Bensin | -0.017                               | 0.002        | 0.004        |
|           | 2         |        | -0.018                               | 0.001        | 0.005        |
|           | 3         |        | -0.016                               | -0.001       | 0.005        |
|           | 4         |        | -0.014                               | 0.003        | 0.009        |
|           | 5         |        | -0.020                               | 0.000        | 0.007        |
|           | Rata-rata |        | <b>-0.016</b>                        | <b>0.001</b> | <b>0.006</b> |
| 45        | 1         | Bensin | -0.012                               | 0.002        | 0.008        |
|           | 2         |        | -0.010                               | 0.003        | 0.006        |
|           | 3         |        | -0.006                               | 0.011        | 0.010        |
|           | 4         |        | -0.012                               | 0.005        | 0.006        |
|           | 5         |        | -0.006                               | 0.005        | 0.008        |
|           | Rata-rata |        | <b>-0.010</b>                        | <b>0.005</b> | <b>0.008</b> |

#### 3.1 Normalisasi Rerata Tegangan Gas Bensin

| No        | Gas    | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik Cladding 2cm (V) |              |              |
|-----------|--------|-----------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |        |           | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1         | Bensin | 27        | -1.000                               | 0.160        | 0.261        |
| 2         |        | 30        | -1.000                               | 0.233        | 0.386        |
| 3         |        | 35        | -1.000                               | 0.104        | 0.294        |
| 4         |        | 40        | -1.000                               | 0.082        | 0.370        |
| 5         |        | 45        | -1.000                               | 0.540        | 0.785        |
| Rata-rata |        |           | <b>-1.000</b>                        | <b>0.224</b> | <b>0.419</b> |

#### 4. Data perubahan tegangan pada gas chloroform

| Suhu (°C) | Pengujian | Gas        | Lapisan Serat Optik Cladding 2cm (V) |               |              |
|-----------|-----------|------------|--------------------------------------|---------------|--------------|
|           |           |            | Squalane                             | PEG 20M       | Apiezone M   |
| 27        | 1         | Chloroform | -0.014                               | -0.024        | 0.026        |
|           | 2         |            | -0.049                               | -0.037        | 0.023        |
|           | 3         |            | -0.037                               | -0.036        | 0.023        |
|           | 4         |            | -0.055                               | -0.057        | 0.019        |
|           | 5         |            | -0.042                               | -0.049        | 0.014        |
|           | Rata-rata |            | <b>-0.039</b>                        | <b>-0.041</b> | <b>0.021</b> |
| 30        | 1         | Chloroform | -0.006                               | -0.029        | 0.017        |
|           | 2         |            | -0.010                               | -0.028        | 0.012        |
|           | 3         |            | -0.007                               | -0.024        | 0.014        |
|           | 4         |            | -0.008                               | -0.027        | 0.007        |
|           | 5         |            | -0.008                               | -0.028        | 0.009        |
|           | Rata-rata |            | <b>-0.008</b>                        | <b>-0.027</b> | <b>0.012</b> |
| 35        | 1         | Chloroform | -0.003                               | -0.027        | 0.005        |
|           | 2         |            | -0.007                               | -0.020        | 0.010        |
|           | 3         |            | -0.009                               | -0.031        | 0.008        |
|           | 4         |            | -0.006                               | -0.029        | 0.006        |
|           | 5         |            | -0.003                               | -0.023        | 0.009        |
|           | Rata-rata |            | <b>-0.006</b>                        | <b>-0.026</b> | <b>0.008</b> |
| 40        | 1         | Chloroform | -0.003                               | -0.028        | 0.002        |
|           | 2         |            | 0.001                                | -0.023        | 0.011        |
|           | 3         |            | -0.001                               | -0.018        | 0.008        |
|           | 4         |            | -0.003                               | -0.018        | 0.003        |
|           | 5         |            | -0.003                               | -0.024        | 0.007        |
|           | Rata-rata |            | <b>-0.002</b>                        | <b>-0.022</b> | <b>0.006</b> |
| 45        | 1         | Chloroform | -0.001                               | -0.022        | 0.005        |
|           | 2         |            | -0.002                               | -0.026        | 0.003        |
|           | 3         |            | 0.001                                | -0.024        | 0.005        |
|           | 4         |            |                                      |               |              |
|           | 5         |            |                                      |               |              |
|           | Rata-rata |            | <b>-0.001</b>                        | <b>-0.024</b> | <b>0.004</b> |

#### 4.1 Normalisasi Rerata Tegangan Gas Chloroform

| No        | Gas        | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik Cladding 2cm (V) |               |              |
|-----------|------------|-----------|--------------------------------------|---------------|--------------|
|           |            |           | Squalane                             | PEG 20M       | Apiezone M   |
| 1         | Chloroform | 27        | -0.968                               | -1.000        | 0.514        |
| 2         |            | 30        | -0.286                               | -1.000        | 0.431        |
| 3         |            | 35        | -0.216                               | -1.000        | 0.291        |
| 4         |            | 40        | -0.080                               | -1.000        | 0.284        |
| 5         |            | 45        | -0.031                               | -1.000        | 0.174        |
| Rata-rata |            |           | <b>-0.316</b>                        | <b>-1.000</b> | <b>0.339</b> |

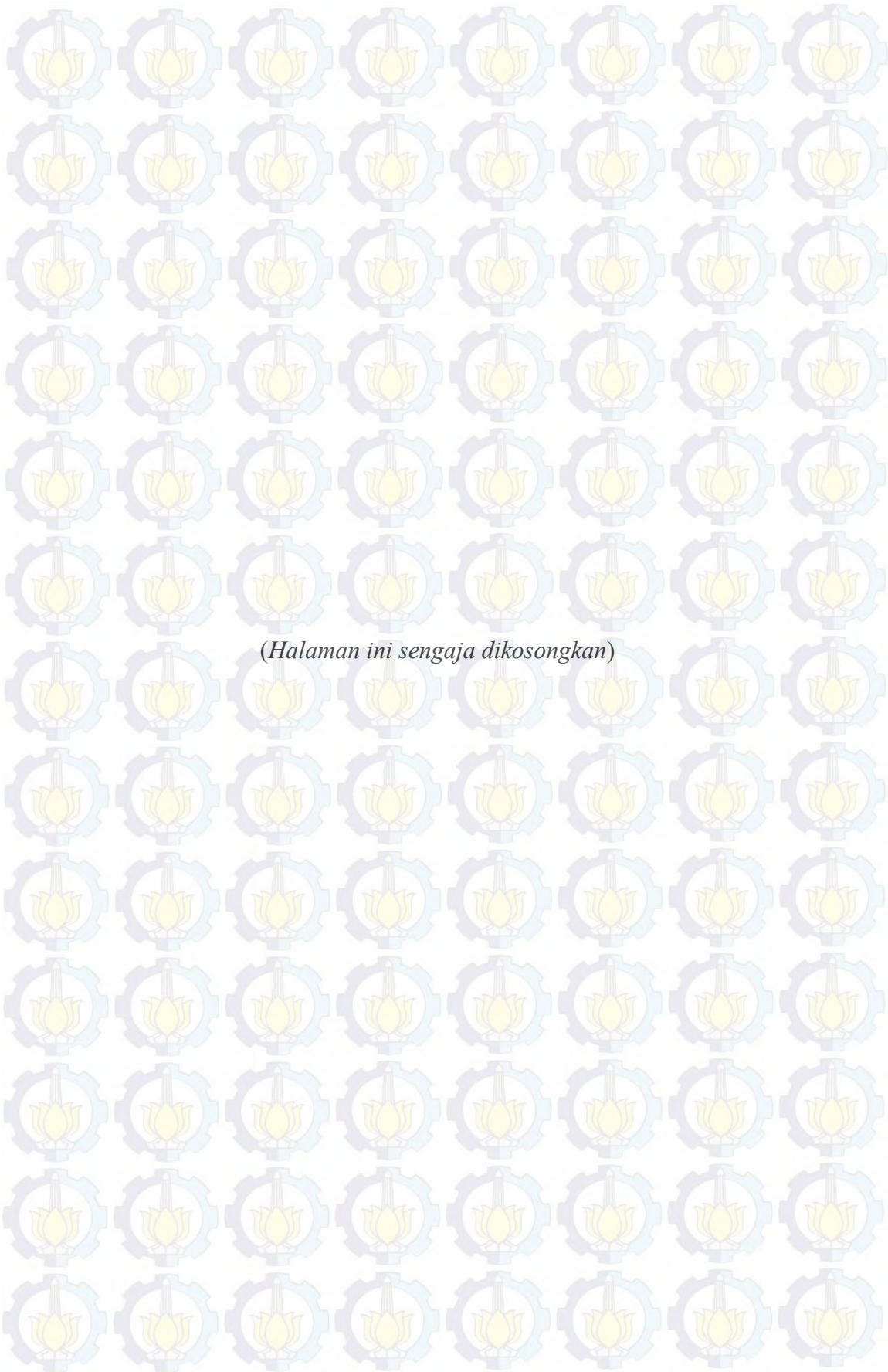
## 5. Data perubahan tegangan pada gas minyak kayu putih

| Suhu (°C) | Pengujian | Gas               | Lapisan Serat Optik Cladding 2cm (V) |              |              |
|-----------|-----------|-------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |           |                   | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 27        | 1         | Minyak Kayu Putih | -0.012                               | 0.015        | 0.029        |
|           | 2         |                   | -0.019                               | 0.016        | 0.037        |
|           | 3         |                   | -0.021                               | 0.016        | 0.037        |
|           | 4         |                   | -0.015                               | 0.023        | 0.039        |
|           | 5         |                   | -0.020                               | 0.016        | 0.033        |
|           | Rata-rata |                   | <b>-0.017</b>                        | <b>0.017</b> | <b>0.035</b> |
| 30        | 1         | Minyak Kayu Putih | -0.008                               | 0.013        | 0.019        |
|           | 2         |                   | -0.014                               | 0.011        | 0.020        |
|           | 3         |                   | -0.015                               | 0.007        | 0.014        |
|           | 4         |                   | -0.014                               | 0.015        | 0.022        |
|           | 5         |                   | -0.003                               | 0.016        | 0.029        |
|           | Rata-rata |                   | <b>-0.011</b>                        | <b>0.012</b> | <b>0.021</b> |
| 35        | 1         | Minyak Kayu Putih | -0.019                               | 0.009        | 0.007        |
|           | 2         |                   | -0.018                               | 0.008        | 0.010        |
|           | 3         |                   | -0.019                               | 0.010        | 0.012        |
|           | 4         |                   | -0.022                               | 0.000        | 0.000        |
|           | 5         |                   | -0.017                               | 0.005        | 0.004        |
|           | Rata-rata |                   | <b>-0.019</b>                        | <b>0.006</b> | <b>0.007</b> |
| 40        | 1         | Minyak Kayu Putih | -0.014                               | 0.005        | 0.009        |
|           | 2         |                   | -0.013                               | 0.012        | 0.011        |
|           | 3         |                   | -0.012                               | 0.007        | 0.007        |
|           | 4         |                   | -0.009                               | 0.004        | 0.010        |
|           | 5         |                   | -0.014                               | 0.003        | 0.008        |
|           | Rata-rata |                   | <b>-0.012</b>                        | <b>0.006</b> | <b>0.009</b> |
| 45        | 1         | Minyak Kayu Putih | 0.004                                | 0.010        | 0.009        |
|           | 2         |                   | -0.002                               | 0.012        | 0.010        |
|           | 3         |                   | -0.004                               | 0.006        | 0.013        |
|           | 4         |                   | -0.001                               | 0.009        | 0.010        |
|           | 5         |                   | -0.007                               | 0.004        | 0.007        |
|           | Rata-rata |                   | <b>-0.002</b>                        | <b>0.008</b> | <b>0.010</b> |

### 5.1 Normalisasi Rerata Tegangan Gas Minyak Kayu Putih

| No        | Gas               | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik Cladding 2cm (V) |              |              |
|-----------|-------------------|-----------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |                   |           | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1         | Minyak Kayu Putih | 27        | -0.486                               | 0.486        | 1.000        |
| 2         |                   | 30        | -0.524                               | 0.571        | 1.000        |
| 3         |                   | 35        | -0.368                               | 0.316        | 1.000        |
| 4         |                   | 40        | -0.333                               | 0.667        | 1.000        |
| 5         |                   | 45        | -0.200                               | 0.800        | 1.000        |
| Rata-rata |                   |           | <b>-0.582</b>                        | <b>0.568</b> | <b>1.000</b> |





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN 1.C

### 1. Data perubahan tegangan pada gas amonia

| Suhu (°C) | Pengujian | Gas    | Lapisan Serat Optik Cladding 3cm (V) |              |              |
|-----------|-----------|--------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |           |        | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 27        | 1         | Amonia | 0.107                                | 0.207        | 0.141        |
|           | 2         |        | 0.104                                | 0.192        | 0.125        |
|           | 3         |        | 0.109                                | 0.233        | 0.144        |
|           | 4         |        | 0.108                                | 0.254        | 0.148        |
|           | 5         |        | 0.100                                | 0.268        | 0.153        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>0.106</b> | <b>0.231</b> |
| 30        | 1         | Amonia | 0.081                                | 0.289        | 0.179        |
|           | 2         |        | 0.080                                | 0.315        | 0.189        |
|           | 3         |        | 0.076                                | 0.305        | 0.185        |
|           | 4         |        | 0.081                                | 0.315        | 0.189        |
|           | 5         |        | 0.083                                | 0.300        | 0.184        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>0.080</b> | <b>0.305</b> |
| 35        | 1         | Amonia | 0.052                                | 0.331        | 0.196        |
|           | 2         |        | 0.069                                | 0.362        | 0.221        |
|           | 3         |        | 0.057                                | 0.365        | 0.213        |
|           | 4         |        | 0.052                                | 0.362        | 0.213        |
|           | 5         |        | 0.053                                | 0.364        | 0.215        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>0.057</b> | <b>0.357</b> |
| 40        | 1         | Amonia | 0.049                                | 0.387        | 0.227        |
|           | 2         |        | 0.052                                | 0.412        | 0.239        |
|           | 3         |        | 0.051                                | 0.413        | 0.238        |
|           | 4         |        | 0.049                                | 0.412        | 0.238        |
|           | 5         |        | 0.05                                 | 0.405        | 0.229        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>0.050</b> | <b>0.406</b> |
| 45        | 1         | Amonia | 0.035                                | 0.286        | 0.176        |
|           | 2         |        | 0.043                                | 0.297        | 0.184        |
|           | 3         |        | 0.038                                | 0.321        | 0.205        |
|           | 4         |        | 0.035                                | 0.297        | 0.205        |
|           | 5         |        | 0.040                                | 0.291        | 0.190        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>0.038</b> | <b>0.298</b> |

#### 1.1 Normalisasi Rerata Tegangan Gas Amonia

| No        | Gas    | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik Cladding 3cm (V) |              |              |
|-----------|--------|-----------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |        |           | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1         | Amonia | 27        | 0.465                                | 1.000        | 0.621        |
| 2         |        | 30        | 0.263                                | 1.000        | 0.607        |
| 3         |        | 35        | 0.159                                | 1.000        | 0.593        |
| 4         |        | 40        | 0.124                                | 1.000        | 0.577        |
| 5         |        | 45        | 0.128                                | 1.000        | 0.644        |
| Rata-rata |        |           | <b>0.228</b>                         | <b>1.000</b> | <b>0.608</b> |

## 2. Data perubahan tegangan pada gas alkohol

| Suhu (°C) | Pengujian | Gas     | Lapisan Serat Optik Cladding 3cm (V) |              |              |
|-----------|-----------|---------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |           |         | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 27        | 1         | Alkohol | 0.165                                | 0.296        | 0.214        |
|           | 2         |         | 0.178                                | 0.229        | 0.186        |
|           | 3         |         | 0.181                                | 0.236        | 0.190        |
|           | 4         |         | 0.181                                | 0.244        | 0.191        |
|           | 5         |         | 0.170                                | 0.254        | 0.201        |
|           | Rata-rata |         | <b>0.175</b>                         | <b>0.252</b> | <b>0.196</b> |
| 30        | 1         | Alkohol | 0.170                                | 0.256        | 0.199        |
|           | 2         |         | 0.171                                | 0.258        | 0.201        |
|           | 3         |         | 0.169                                | 0.186        | 0.146        |
|           | 4         |         | 0.172                                | 0.209        | 0.176        |
|           | 5         |         | 0.168                                | 0.240        | 0.180        |
|           | Rata-rata |         | <b>0.170</b>                         | <b>0.230</b> | <b>0.180</b> |
| 35        | 1         | Alkohol | 0.143                                | 0.191        | 0.143        |
|           | 2         |         | 0.137                                | 0.230        | 0.183        |
|           | 3         |         | 0.133                                | 0.219        | 0.166        |
|           | 4         |         | 0.143                                | 0.219        | 0.183        |
|           | 5         |         | 0.139                                | 0.225        | 0.170        |
|           | Rata-rata |         | <b>0.139</b>                         | <b>0.217</b> | <b>0.169</b> |
| 40        | 1         | Alkohol | 0.106                                | 0.248        | 0.194        |
|           | 2         |         | 0.116                                | 0.306        | 0.216        |
|           | 3         |         | 0.125                                | 0.250        | 0.205        |
|           | 4         |         | 0.116                                | 0.310        | 0.187        |
|           | 5         |         | 0.104                                | 0.240        | 0.190        |
|           | Rata-rata |         | <b>0.113</b>                         | <b>0.271</b> | <b>0.198</b> |
| 45        | 1         | Alkohol | 0.085                                | 0.303        | 0.211        |
|           | 2         |         | 0.090                                | 0.280        | 0.204        |
|           | 3         |         | 0.092                                | 0.312        | 0.220        |
|           | 4         |         | 0.080                                | 0.307        | 0.210        |
|           | 5         |         | 0.083                                | 0.296        | 0.215        |
|           | Rata-rata |         | <b>0.086</b>                         | <b>0.300</b> | <b>0.212</b> |

### 2.1 Normalisasi Rerata Tegangan Gas Alkohol

| No        | Gas     | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik Cladding 3cm (V) |              |              |
|-----------|---------|-----------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |         |           | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1         | Alkohol | 27        | 0.701                                | 1.000        | 0.783        |
| 2         |         | 30        | 0.750                                | 1.000        | 0.787        |
| 3         |         | 35        | 0.644                                | 1.000        | 0.779        |
| 4         |         | 40        | 0.423                                | 1.000        | 0.741        |
| 5         |         | 45        | 0.287                                | 1.000        | 0.708        |
| Rata-rata |         |           | <b>0.561</b>                         | <b>1.000</b> | <b>0.760</b> |

### 3. Data perubahan tegangan pada gas bensin

| Suhu (°C) | Pengujian | Gas    | Lapisan Serat Optik Cladding 3cm (V) |               |              |
|-----------|-----------|--------|--------------------------------------|---------------|--------------|
|           |           |        | Squalane                             | PEG 20M       | Apiezone M   |
| 27        | 1         | Bensin | -0.028                               | 0.079         | 0.033        |
|           | 2         |        | -0.030                               | 0.050         | 0.030        |
|           | 3         |        | -0.029                               | 0.037         | 0.015        |
|           | 4         |        | -0.028                               | 0.040         | 0.014        |
|           | 5         |        | -0.031                               | 0.060         | 0.025        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>-0.029</b> | <b>0.053</b> |
| 30        | 1         | Bensin | -0.026                               | 0.034         | 0.017        |
|           | 2         |        | -0.026                               | 0.032         | 0.016        |
|           | 3         |        | -0.039                               | 0.040         | 0.002        |
|           | 4         |        | -0.026                               | 0.032         | 0.002        |
|           | 5         |        | -0.030                               | 0.034         | 0.020        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>-0.029</b> | <b>0.028</b> |
| 35        | 1         | Bensin | -0.015                               | 0.023         | 0.010        |
|           | 2         |        | -0.012                               | 0.036         | 0.015        |
|           | 3         |        | -0.020                               | 0.026         | 0.015        |
|           | 4         |        | -0.015                               | 0.036         | 0.015        |
|           | 5         |        | -0.017                               | 0.030         | 0.010        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>-0.016</b> | <b>0.030</b> |
| 40        | 1         | Bensin | -0.006                               | 0.062         | 0.042        |
|           | 2         |        | -0.026                               | 0.026         | -0.002       |
|           | 3         |        | -0.012                               | 0.023         | 0.012        |
|           | 4         |        | -0.006                               | 0.026         | 0.012        |
|           | 5         |        | -0.010                               | 0.025         | 0.010        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>-0.012</b> | <b>0.032</b> |
| 45        | 1         | Bensin | -0.010                               | 0.015         | 0.003        |
|           | 2         |        | -0.008                               | 0.023         | 0.006        |
|           | 3         |        | -0.008                               | 0.024         | 0.002        |
|           | 4         |        | -0.010                               | 0.023         | 0.002        |
|           | 5         |        | -0.009                               | 0.020         | 0.005        |
|           | Rata-rata |        |                                      | <b>-0.009</b> | <b>0.021</b> |

#### 3.1 Normalisasi Rerata Tegangan Gas Bensin

| No        | Gas    | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik Cladding 3cm (V) |              |              |
|-----------|--------|-----------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |        |           | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1         | Bensin | 27        | -0.595                               | 1.000        | 0.439        |
| 2         |        | 30        | -0.846                               | 1.000        | 0.340        |
| 3         |        | 35        | -0.545                               | 1.000        | 0.440        |
| 4         |        | 40        | -0.441                               | 1.000        | 0.399        |
| 5         |        | 45        | -0.440                               | 1.000        | 0.183        |
| Rata-rata |        |           | <b>-0.573</b>                        | <b>1.000</b> | <b>0.360</b> |

#### 4. Data perubahan tegangan pada gas chloroform

| Suhu (°C) | Pengujian | Gas        | Lapisan Serat Optik Cladding 3cm (V) |              |              |
|-----------|-----------|------------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |           |            | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 27        | 1         | Chloroform | 0.006                                | 0.154        | 0.048        |
|           | 2         |            | 0.010                                | 0.139        | 0.044        |
|           | 3         |            | 0.004                                | 0.107        | 0.039        |
|           | 4         |            | 0.006                                | 0.139        | 0.039        |
|           | 5         |            | 0.005                                | 0.140        | 0.041        |
|           | Rata-rata |            | <b>0.006</b>                         | <b>0.136</b> | <b>0.042</b> |
| 30        | 1         | Chloroform | 0.003                                | 0.120        | 0.039        |
|           | 2         |            | 0.008                                | 0.105        | 0.031        |
|           | 3         |            | 0.004                                | 0.093        | 0.027        |
|           | 4         |            | 0.003                                | 0.105        | 0.027        |
|           | 5         |            | 0.005                                | 0.110        | 0.030        |
|           | Rata-rata |            | <b>0.005</b>                         | <b>0.107</b> | <b>0.031</b> |
| 35        | 1         | Chloroform | 0.002                                | 0.082        | 0.032        |
|           | 2         |            | 0.011                                | 0.074        | 0.032        |
|           | 3         |            | 0.008                                | 0.078        | 0.034        |
|           | 4         |            | 0.011                                | 0.082        | 0.034        |
|           | 5         |            | 0.007                                | 0.080        | 0.033        |
|           | Rata-rata |            | <b>0.008</b>                         | <b>0.079</b> | <b>0.033</b> |
| 40        | 1         | Chloroform | 0.015                                | 0.057        | 0.021        |
|           | 2         |            | 0.014                                | 0.060        | 0.032        |
|           | 3         |            | 0.005                                | 0.043        | 0.018        |
|           | 4         |            | 0.015                                | 0.060        | 0.018        |
|           | 5         |            | 0.010                                | 0.051        | 0.027        |
|           | Rata-rata |            | <b>0.012</b>                         | <b>0.054</b> | <b>0.023</b> |
| 45        | 1         | Chloroform | 0.009                                | 0.039        | 0.015        |
|           | 2         |            | 0.008                                | 0.041        | 0.022        |
|           | 3         |            | 0.001                                | 0.027        | 0.008        |
|           | 4         |            | 0.009                                | 0.041        | 0.001        |
|           | 5         |            | 0.008                                | 0.039        | 0.020        |
|           | Rata-rata |            | <b>0.007</b>                         | <b>0.037</b> | <b>0.013</b> |

#### 4.1 Normalisasi Rerata Tegangan Gas Chloroform

| No        | Gas        | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik Cladding 3cm (V) |              |              |
|-----------|------------|-----------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |            |           | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1         | Chloroform | 27        | 0.045                                | 1.000        | 0.312        |
| 2         |            | 30        | 0.044                                | 1.000        | 0.287        |
| 3         |            | 35        | 0.099                                | 1.000        | 0.420        |
| 4         |            | 40        | 0.217                                | 1.000        | 0.429        |
| 5         |            | 45        | 0.179                                | 1.000        | 0.350        |
| Rata-rata |            |           | <b>0.117</b>                         | <b>1.000</b> | <b>0.360</b> |

## 5. Data perubahan tegangan pada gas minyak kayu putih

| Suhu (°C) | Pengujian | Gas               | Lapisan Serat Optik Cladding 3cm (V) |              |              |
|-----------|-----------|-------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |           |                   | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 27        | 1         | Minyak Kayu Putih | -0.004                               | 0.280        | 0.119        |
|           | 2         |                   | -0.007                               | 0.219        | 0.070        |
|           | 3         |                   | -0.006                               | 0.195        | 0.067        |
|           | 4         |                   | -0.005                               | 0.220        | 0.080        |
|           | 5         |                   | -0.007                               | 0.190        | 0.075        |
|           | Rata-rata |                   | <b>-0.006</b>                        | <b>0.221</b> | <b>0.082</b> |
| 30        | 1         | Minyak Kayu Putih | -0.010                               | 0.178        | 0.061        |
|           | 2         |                   | -0.003                               | 0.115        | 0.056        |
|           | 3         |                   | -0.014                               | 0.075        | 0.035        |
|           | 4         |                   | -0.012                               | 0.063        | 0.031        |
|           | 5         |                   | -0.010                               | 0.056        | 0.024        |
|           | Rata-rata |                   | <b>-0.010</b>                        | <b>0.098</b> | <b>0.042</b> |
| 35        | 1         | Minyak Kayu Putih | -0.006                               | 0.087        | 0.031        |
|           | 2         |                   | -0.009                               | 0.070        | 0.031        |
|           | 3         |                   | -0.002                               | 0.074        | 0.040        |
|           | 4         |                   | -0.005                               | 0.080        | 0.045        |
|           | 5         |                   | -0.007                               | 0.070        | 0.040        |
|           | Rata-rata |                   | <b>-0.006</b>                        | <b>0.076</b> | <b>0.038</b> |
| 40        | 1         | Minyak Kayu Putih | -0.005                               | 0.059        | 0.032        |
|           | 2         |                   | -0.003                               | 0.033        | 0.029        |
|           | 3         |                   | -0.005                               | 0.030        | 0.016        |
|           | 4         |                   | -0.010                               | 0.033        | 0.023        |
|           | 5         |                   | -0.006                               | 0.040        | 0.030        |
|           | Rata-rata |                   | <b>-0.006</b>                        | <b>0.039</b> | <b>0.026</b> |
| 45        | 1         | Minyak Kayu Putih | -0.006                               | 0.022        | 0.012        |
|           | 2         |                   | -0.002                               | 0.014        | 0.003        |
|           | 3         |                   | -0.002                               | 0.013        | 0.011        |
|           | 4         |                   | -0.005                               | 0.017        | 0.015        |
|           | 5         |                   | -0.004                               | 0.020        | 0.014        |
|           | Rata-rata |                   | <b>-0.004</b>                        | <b>0.017</b> | <b>0.011</b> |

### 5.1 Normalisasi Rerata Tegangan Gas Minyak Kayu Putih

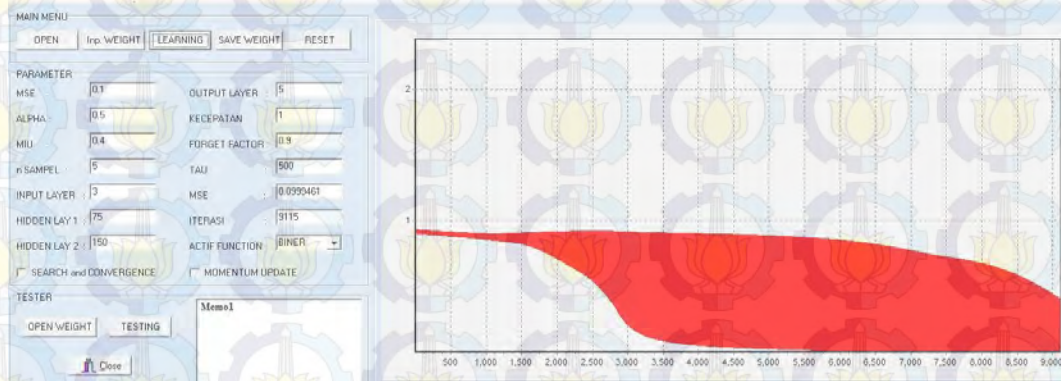
| No        | Gas               | Suhu (°C) | Lapisan Serat Optik Cladding 3cm (V) |              |              |
|-----------|-------------------|-----------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|           |                   |           | Squalane                             | PEG 20M      | Apiezone M   |
| 1         | Minyak Kayu Putih | 27        | -0.027                               | 1.000        | 0.370        |
| 2         |                   | 30        | -0.126                               | 1.000        | 0.444        |
| 3         |                   | 35        | -0.077                               | 1.000        | 0.498        |
| 4         |                   | 40        | -0.158                               | 1.000        | 0.684        |
| 5         |                   | 45        | -0.218                               | 1.000        | 0.634        |
| Rata-rata |                   |           | <b>-0.121</b>                        | <b>1.000</b> | <b>0.526</b> |



## LAMPIRAN 1.D

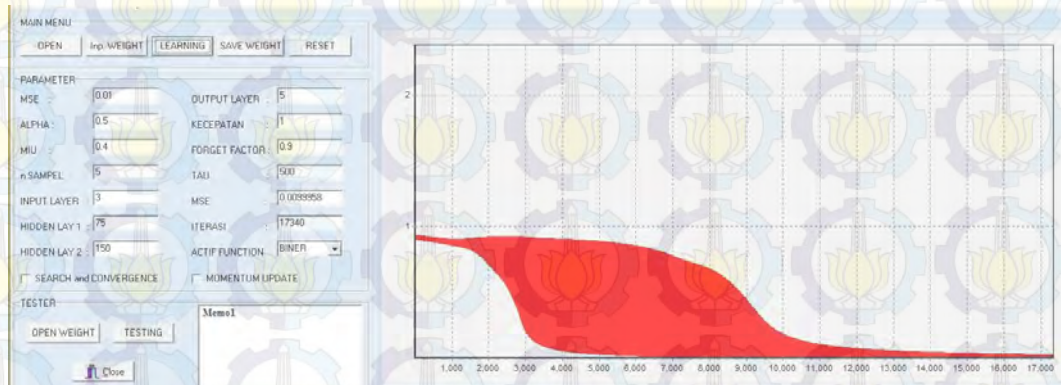
### 1. Proses Pembelajaran dengan 2 *Hidden Layer* dengan *Cladding* 2cm

#### 1.1 Proses Pembelajaran pada MSE 0.1 Terhadap *Cladding* 2cm



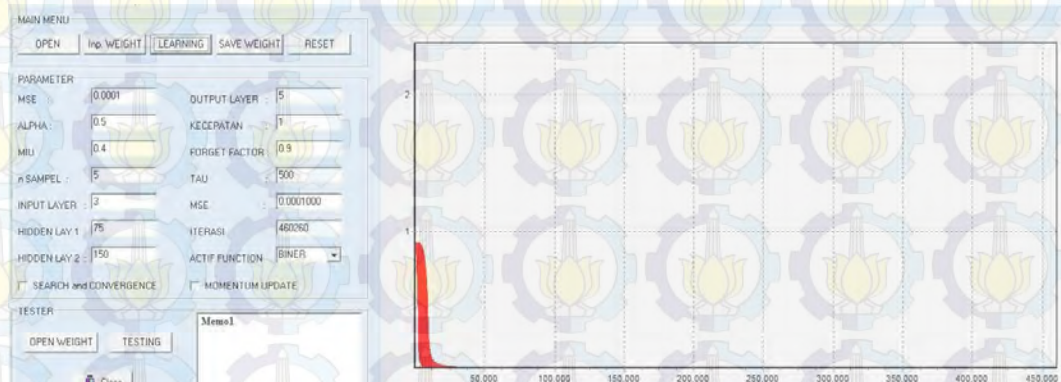
Gambar 1D.1 Pengujian 2 hidden layer, MSE 0.1

#### 1.2 Proses Pembelajaran pada MSE 0.01 Terhadap *Cladding* 2cm



Gambar 1D.2 Pengujian 2 hidden layer, MSE 0.01

#### 1.3 Proses Pembelajaran pada MSE 0.0001 Terhadap *Cladding* 2cm



Gambar 1D.3 Pengujian 2 hidden layer, MSE 0.0001



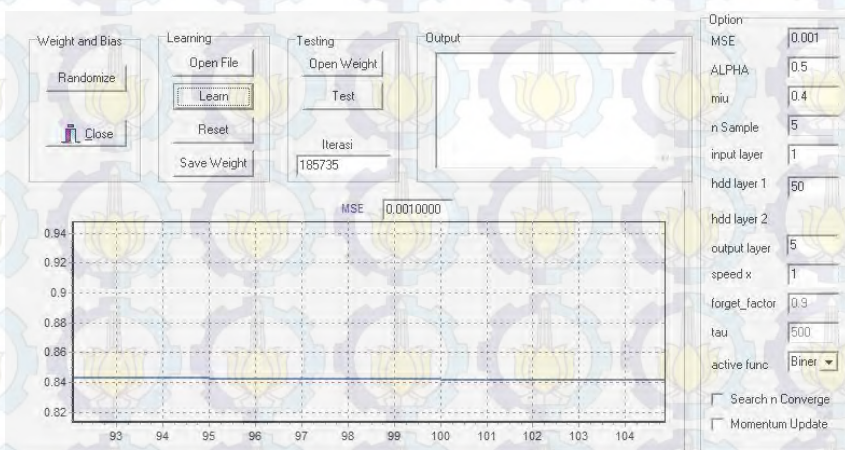
## 2. Proses Pembelajaran dengan 1 *Hidden Layer* (50 node)

### 2.1 Proses Pembelajaran pada MSE 0.1 Terhadap *Cladding 2cm*



Gambar 1D.7 Pengujian 1 hidden layer, MSE 0.1

### 2.2 Proses Pembelajaran pada MSE 0.01 Terhadap *Cladding 2cm*



Gambar 1D.8 Pengujian 1 hidden layer, MSE 0.01

### 2.3 Proses Pembelajaran pada MSE 0.0001 Terhadap *Cladding 2cm*



Gambar 1D.9 Pengujian 1 hidden layer, MSE 0.0001

### 3. Pengujian 2 Hidden Layer

#### 3.1 Pengujian pada Suhu 27°C dengan Cladding 2cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01       | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 4                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | M. Kayu P. | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | M. Kayu P. | Bensin     | Bensin     |
| 18                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Bensin     | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>80%</b> | <b>88%</b> | <b>96%</b> |

### 3.2 Pengujian pada Suhu 30°C dengan *Cladding* 2cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01       | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 4                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| Total Keberhasilan |                   |           | 92%        | 92%        | 96%        |

### 3.3 Pengujian pada Suhu 35°C dengan *Cladding* 2cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01       | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 4                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 22                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 23                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 24                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 25                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>80%</b> | <b>80%</b> | <b>84%</b> |

### 3.4 Pengujian pada Suhu 40°C dengan *Cladding* 2cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01       | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 4                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 22                 |                   | 2         | Bensin     | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 24                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>80%</b> | <b>84%</b> | <b>88%</b> |

### 3.5 Pengujian pada Suhu 45°C dengan *Cladding* 2cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01       | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 4                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 22                 |                   | 2         | Amonia     | M. Kayu P. | Chloroform |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>84%</b> | <b>88%</b> | <b>92%</b> |

#### 4. Pengujian 1 *Hidden Layer* (50 Node)

##### 4.1 Pengujian pada Suhu 27°C dengan *Cladding* 2cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.001      | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 4                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 14                 |                   | 4         | Alkohol    | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Alkohol    | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Bensin     | Bensin     |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | M. Kayu P. | Bensin     | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Bensin     |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | Bensin     | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>80%</b> | <b>88%</b> | <b>88%</b> |

#### 4.2 Pengujian pada Suhu 30°C dengan *Cladding* 2cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.001      | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 4                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | Bensin     | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>84%</b> | <b>88%</b> | <b>88%</b> |



### 4.3 Pengujian pada Suhu 35°C dengan Cladding 2cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.001      | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 4                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | Bensin     | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | Bensin     | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | Bensin     | Bensin     |
| 25                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| Total Keberhasilan |                   |           | 84%        | 88%        | 92%        |

#### 4.4 Pengujian pada Suhu 40°C dengan *Cladding* 2cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.001      | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 4                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | Bensin     | Bensin     | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | Bensin     | Bensin     |
| Total Keberhasilan |                   |           | 92%        | 88%        | 92%        |

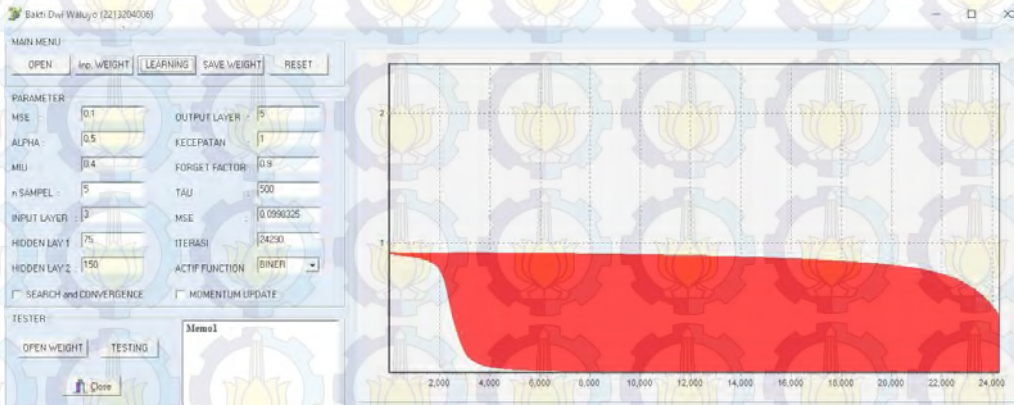
#### 4.5 Pengujian pada Suhu 45°C dengan Cladding 2cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01       | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 4                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | 88%        | 88%        | 92%        |

## LAMPIRAN 1.E

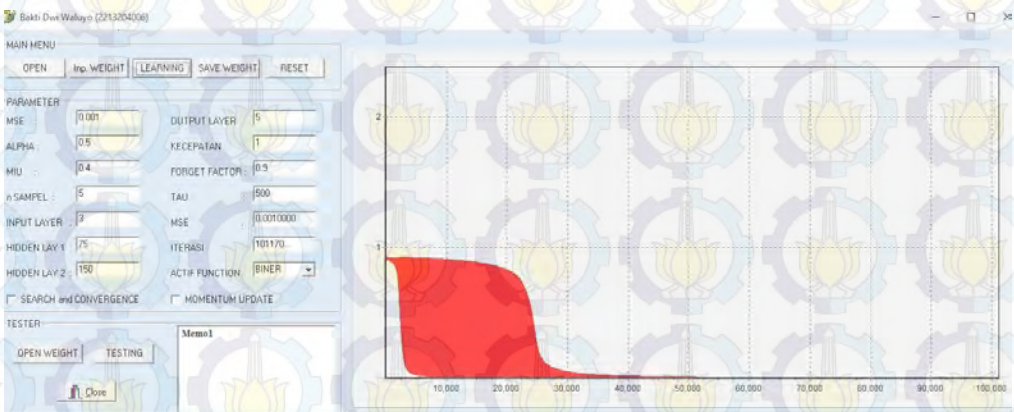
### 1. Proses Pembelajaran dengan 2 *Hidden Layer* dengan *Cladding* 3cm

#### 1.1 Proses Pembelajaran pada MSE 0.1 Terhadap *Cladding* 3cm



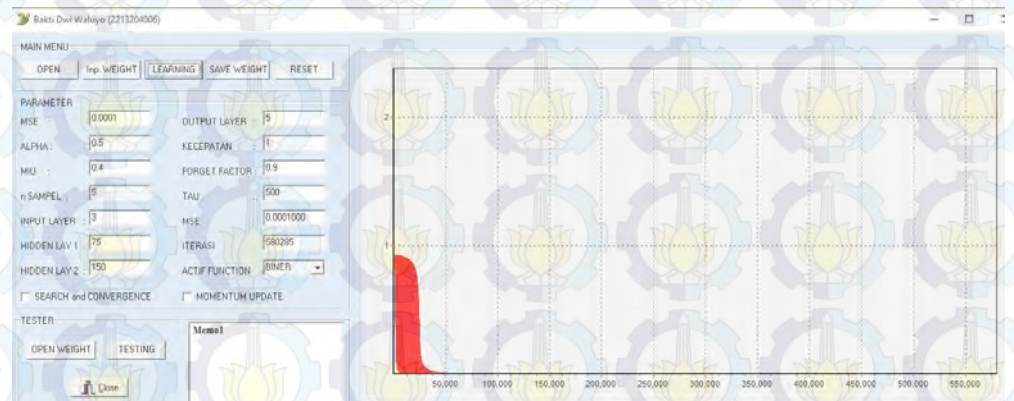
Gambar 1E.1 Pengujian 2 hidden layer, MSE 0.1

#### 1.2 Proses Pembelajaran pada MSE 0.01 Terhadap *Cladding* 3cm



Gambar 1E.2 Pengujian 2 hidden layer, MSE 0.01

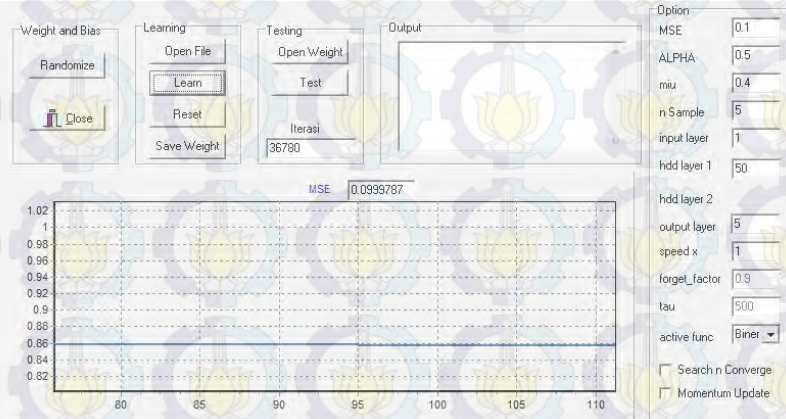
#### 1.3 Proses Pembelajaran pada MSE 0.0001 Terhadap *Cladding* 3cm



Gambar 1E.3 Pengujian 2 hidden layer, MSE 0.0001

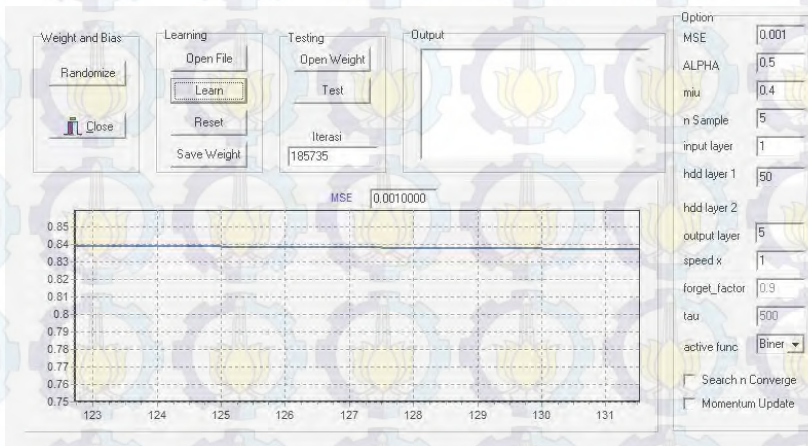
## 2 Proses Pembelajaran dengan 1 *Hidden Layer* (50 node)

### 2.1 Proses Pembelajaran pada MSE 0.1 Terhadap *Cladding* 2cm



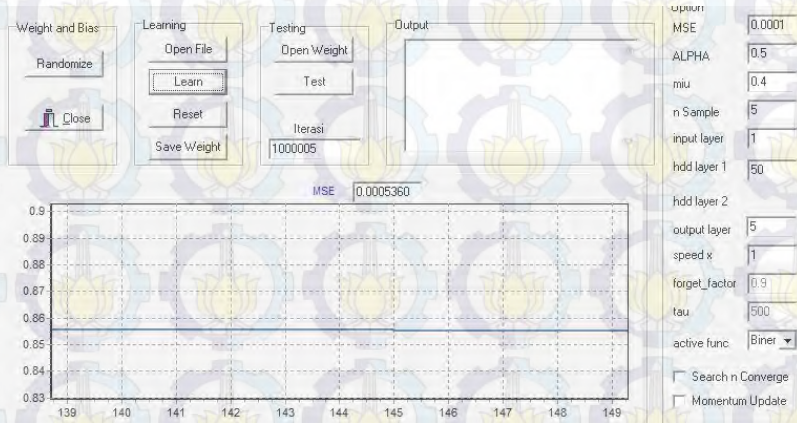
Gambar 1E.4 Pengujian 1 hidden layer, MSE 0.1

### 2.2 Proses Pembelajaran pada MSE 0.01 Terhadap *Cladding* 2cm



Gambar 1E.5 Pengujian 1 hidden layer, MSE 0.01

### 2.3 Proses Pembelajaran pada MSE 0.0001 Terhadap *Cladding* 2cm



Gambar 1E.6 Pengujian 1 hidden layer, MSE 0.0001

## 5. Pengujian 2 Hidden Layer

### 5.1 Pengujian pada Suhu 27°C dengan Cladding 3cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01       | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 2                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 3                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 4                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>84%</b> | <b>84%</b> | <b>84%</b> |

## 5.2 Pengujian pada Suhu 30°C dengan *Cladding* 3cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |             |             |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|-------------|-------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01        | 0.0001      |
| 1                  | Amonia            | 1         | Amonia     | Amonia      | Amonia      |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia      | Amonia      |
| 3                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia      | Amonia      |
| 4                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia      | Amonia      |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia      | Amonia      |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol     | Alkohol     |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol     | Alkohol     |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol     | Alkohol     |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol     | Alkohol     |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol     | Alkohol     |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin      | Bensin      |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin      | Bensin      |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin      | Bensin      |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin      | Bensin      |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin      | Bensin      |
| 16                 | Chloroform        | 1         | M. Kayu P. | Chloroform  | Chloroform  |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform  | Chloroform  |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform  | Chloroform  |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform | Chloroform  | Chloroform  |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform  | Chloroform  |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>96%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> |

### 5.3 Pengujian pada Suhu 35°C dengan *Cladding* 3cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01       | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 4                  |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 5                  |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | M. Kayu P. | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>80%</b> | <b>84%</b> | <b>84%</b> |



#### 5.4 Pengujian pada Suhu 40°C dengan *Cladding* 3cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01       | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 2                  |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 3                  |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 4                  |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 5                  |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | M. Kayu P. | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | M. Kayu P. | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 17                 |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 20                 |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | 44%        | 52%        | 56%        |

### 5.5 Pengujian pada Suhu 45°C dengan Cladding 3cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01       | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 2                  |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 3                  |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 4                  |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 5                  |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 7                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 8                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 9                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 10                 |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 17                 |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 20                 |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | Bensin     | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | Bensin     | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | 36%        | 44%        | 44%        |

## 6. Pengujian 1 *Hidden Layer* (50 Node)

### 6.1 Pengujian pada Suhu 27°C dengan *Cladding* 3cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.001      | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 2                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 3                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 4                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 5                  |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>84%</b> | <b>84%</b> | <b>84%</b> |

## 6.2 Pengujian pada Suhu 30°C dengan *Cladding* 3cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE         |             |             |
|--------------------|-------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|                    |                   |           | 0.1         | 0.001       | 0.0001      |
| 1                  | Amonia            | 1         | Amonia      | Amonia      | Amonia      |
| 2                  |                   | 2         | Amonia      | Amonia      | Amonia      |
| 3                  |                   | 3         | Amonia      | Amonia      | Amonia      |
| 4                  |                   | 4         | Amonia      | Amonia      | Amonia      |
| 5                  |                   | 5         | Amonia      | Amonia      | Amonia      |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol     | Alkohol     | Alkohol     |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol     | Alkohol     | Alkohol     |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol     | Alkohol     | Alkohol     |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol     | Alkohol     | Alkohol     |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol     | Alkohol     | Alkohol     |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin      | Bensin      | Bensin      |
| 12                 |                   | 2         | Bensin      | Bensin      | Bensin      |
| 13                 |                   | 3         | Bensin      | Bensin      | Bensin      |
| 14                 |                   | 4         | Bensin      | Bensin      | Bensin      |
| 15                 |                   | 5         | Bensin      | Bensin      | Bensin      |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform  | Chloroform  | Chloroform  |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform  | Chloroform  | Chloroform  |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform  | Chloroform  | Chloroform  |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform  | Chloroform  | Chloroform  |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform  | Chloroform  | Chloroform  |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  | M. Kayu P.  |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> |

### 6.3 Pengujian pada Suhu 35°C dengan *Cladding* 3cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.001      | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 2                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 3                  |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 4                  |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 5                  |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 8                  |                   | 3         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 17                 |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 20                 |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>84%</b> | <b>84%</b> | <b>84%</b> |

#### 6.4 Pengujian pada Suhu 40°C dengan *Cladding* 3cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.001      | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 2                  |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 3                  |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 4                  |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 5                  |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Amonia     | Amonia     | Alkohol    |
| 7                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 8                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Alkohol    |
| 9                  |                   | 4         | Amonia     | Alkohol    | Amonia     |
| 10                 |                   | 5         | Alkohol    | Alkohol    | Alkohol    |
| 11                 | Bensin            | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 17                 |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 20                 |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | <b>40%</b> | <b>44%</b> | <b>48%</b> |

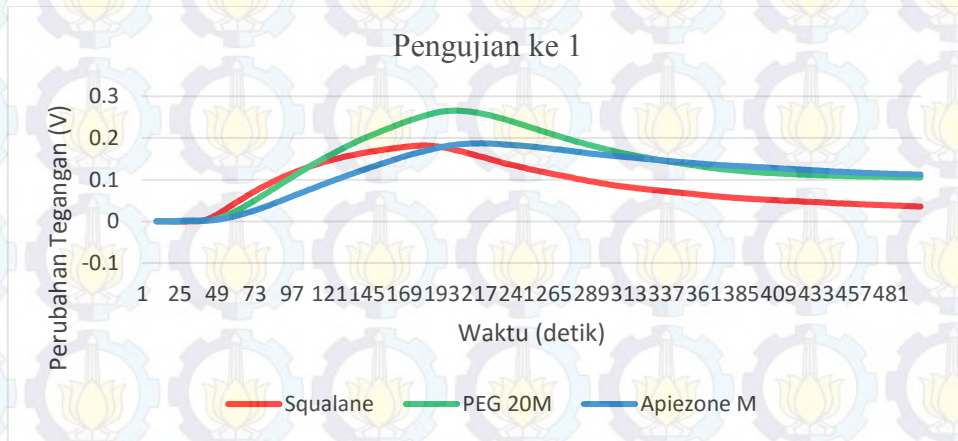
### 6.5 Pengujian pada Suhu 45°C dengan *Cladding* 3cm

| No                 | Jenis Gas         | Pengujian | MSE        |            |            |
|--------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                    |                   |           | 0.1        | 0.01       | 0.0001     |
| 1                  | Amonia            | 1         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 2                  |                   | 2         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 3                  |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 4                  |                   | 4         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 5                  |                   | 5         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 6                  | Alkohol           | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 7                  |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 8                  |                   | 3         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 9                  |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 10                 |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 11                 | Bensin            | 1         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 12                 |                   | 2         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 13                 |                   | 3         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 14                 |                   | 4         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 15                 |                   | 5         | Bensin     | Bensin     | Bensin     |
| 16                 | Chloroform        | 1         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 17                 |                   | 2         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 18                 |                   | 3         | Chloroform | Chloroform | Chloroform |
| 19                 |                   | 4         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 20                 |                   | 5         | Amonia     | Amonia     | Amonia     |
| 21                 | Minyak Kayu Putih | 1         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 22                 |                   | 2         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 23                 |                   | 3         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 24                 |                   | 4         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| 25                 |                   | 5         | M. Kayu P. | M. Kayu P. | M. Kayu P. |
| Total Keberhasilan |                   |           | 44%        | 44%        | 44%        |

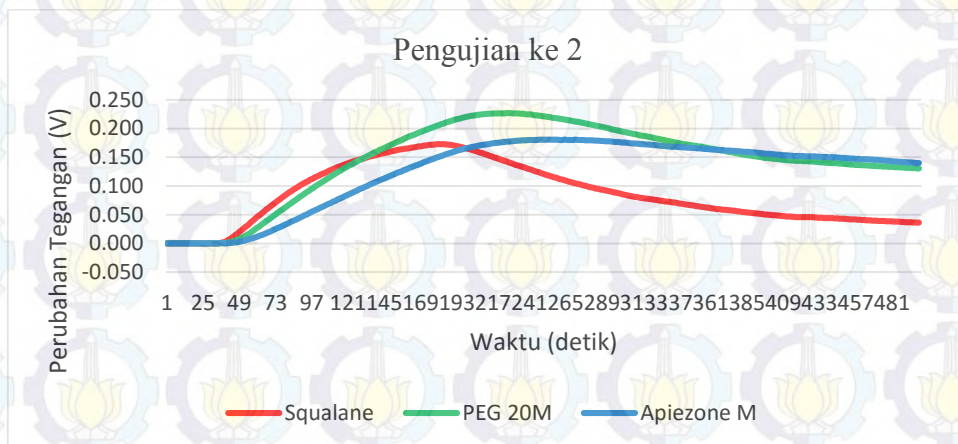
## LAMPIRAN 1.F

### 1. Pengujian Minyak Wangi Bernama Bulgari

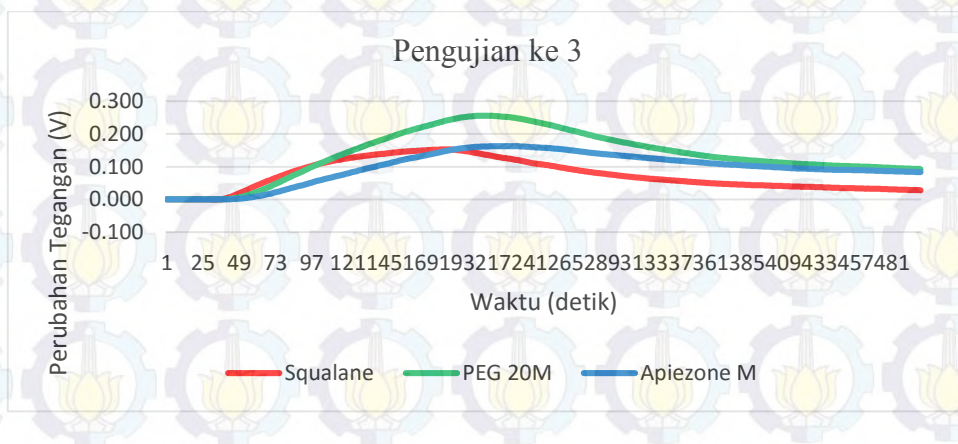
#### 1.1 Pengujian ke 1



#### 1.2 Pengujian ke 2



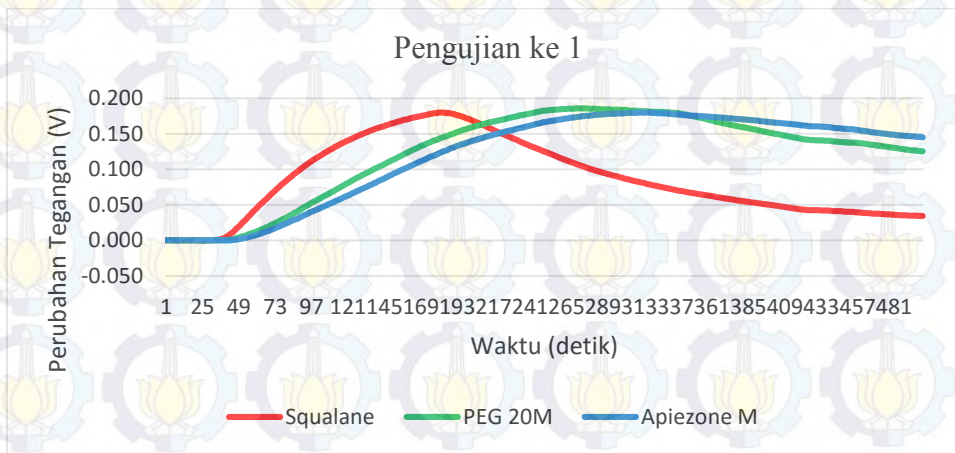
#### 1.3 Pengujian ke 3



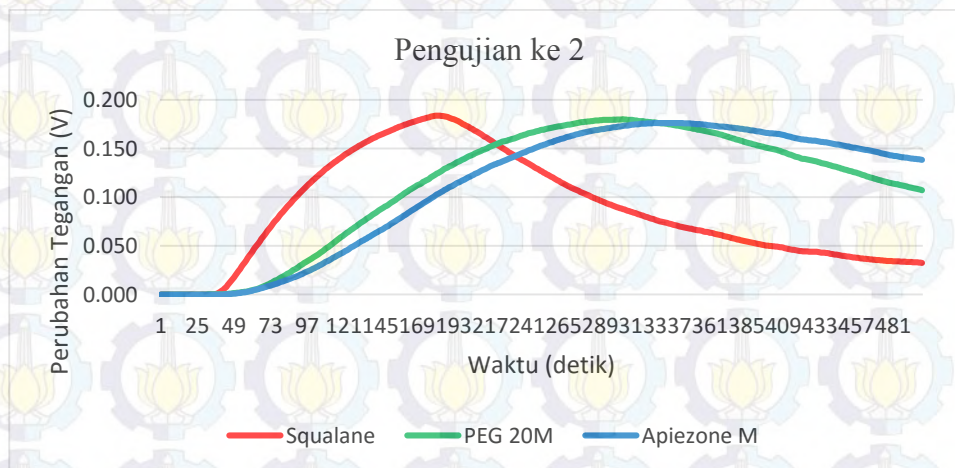


## 2. Pengujian Minyak Wangi Bernama Dunhil

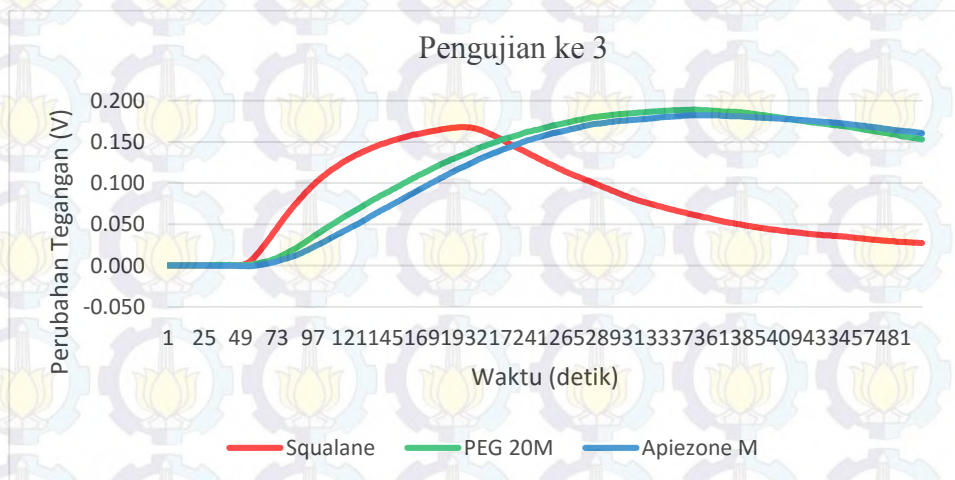
### 2.1 Pengujian ke 1



### 2.2 Pengujian ke 2

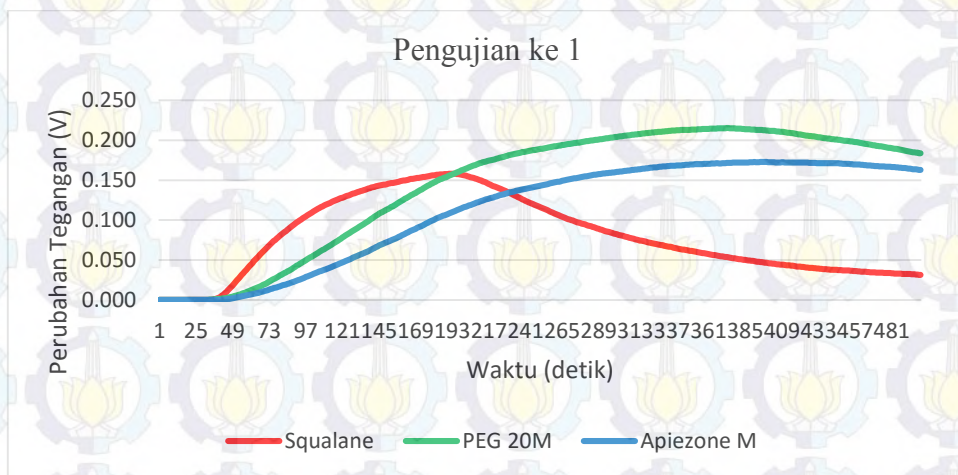


### 2.3 Pengujian ke 3

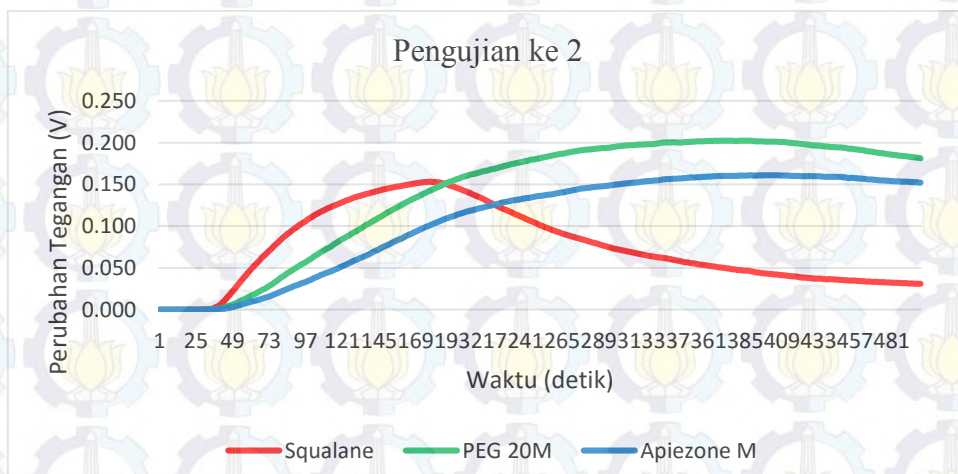


### 3. Pengujian Minyak Wangi Bernama Barcelona

#### 3.1 Pengujian ke 1



#### 3.2 Pengujian ke 2



#### 4. Identifikasi dengan NN

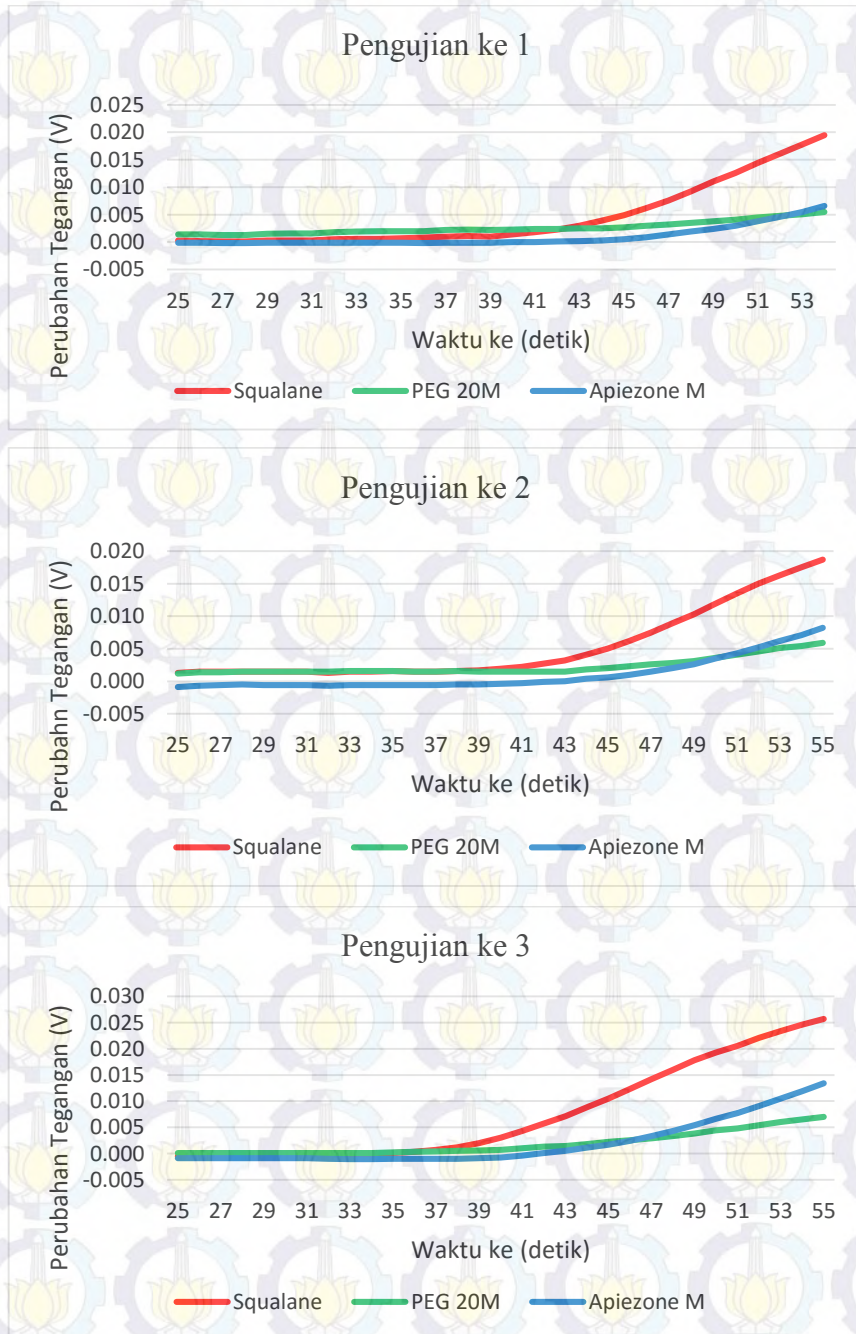
| No                     | Jenis Gas | Pengujian | Status    | % Hasil |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| 1                      | Bulgari   | 1         | Sesuai    | 100%    |
| 2                      |           | 2         | Sesuai    |         |
| 3                      |           | 3         | Sesuai    |         |
| 4                      |           | 4         | Sesuai    |         |
| 5                      |           | 5         | Sesuai    |         |
| 6                      | Dunhil    | 1         | Sesuai    | 80%     |
| 7                      |           | 2         | Sesuai    |         |
| 8                      |           | 3         | Sesuai    |         |
| 9                      |           | 4         | Bercelona |         |
| 10                     |           | 5         | Sesuai    |         |
| 11                     | Bercelona | 1         | Sesuai    | 80%     |
| 12                     |           | 2         | Dunhil    |         |
| 13                     |           | 3         | Sesuai    |         |
| 14                     |           | 4         | Sesuai    |         |
| 15                     |           | 5         | Sesuai    |         |
| Rata-rata keberhasilan |           |           |           | 86.6%   |

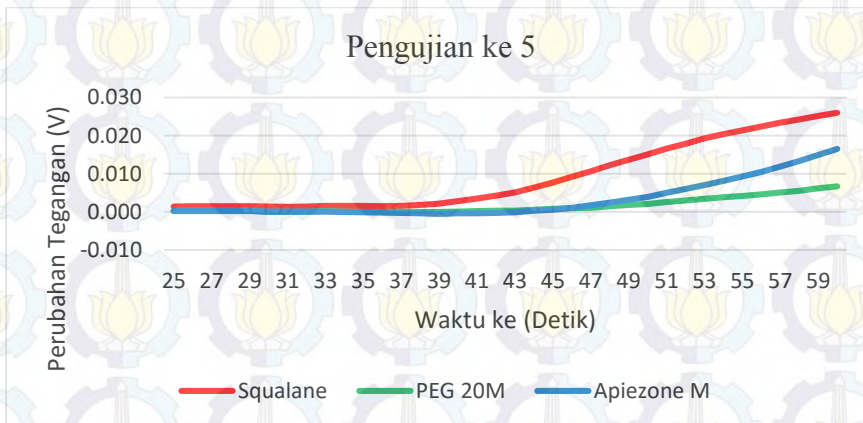
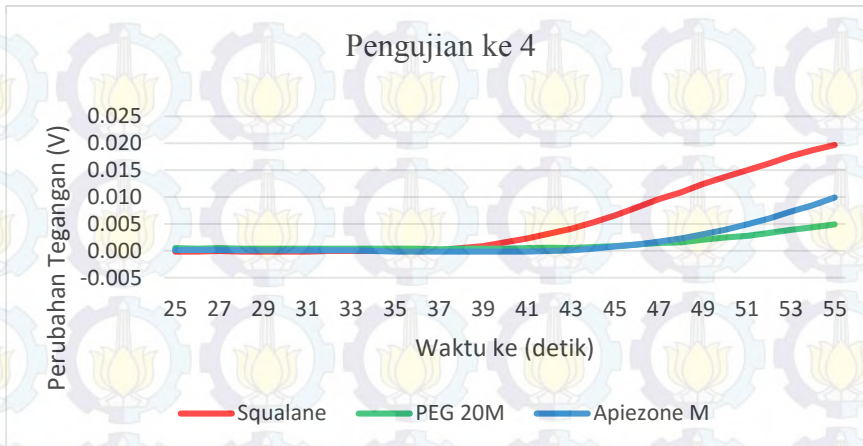
## LAMPIRAN 1.G

### Pengujian dengan *Cladding* 2cm

#### 1. Pengujian Terhadap Gas Amonia

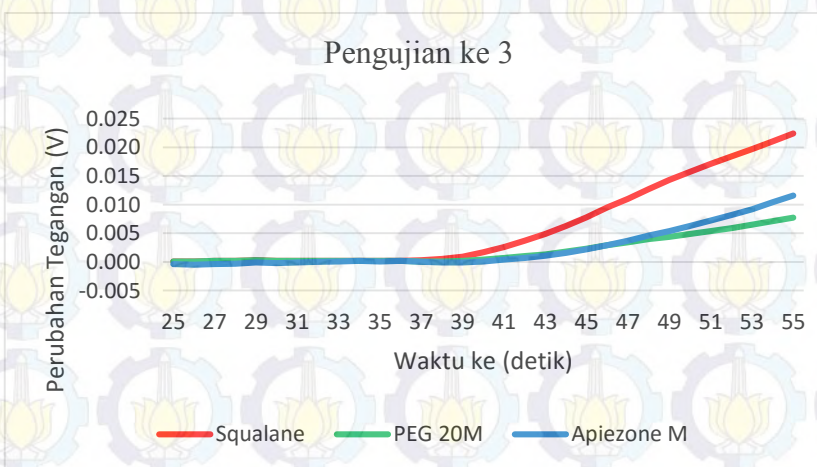
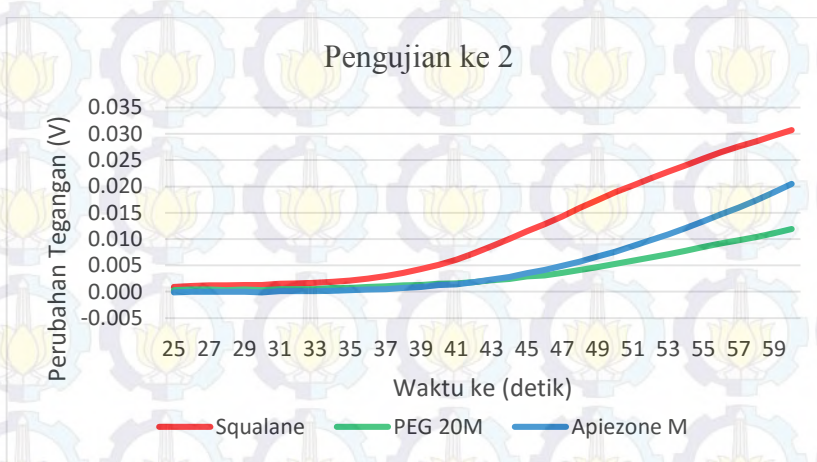
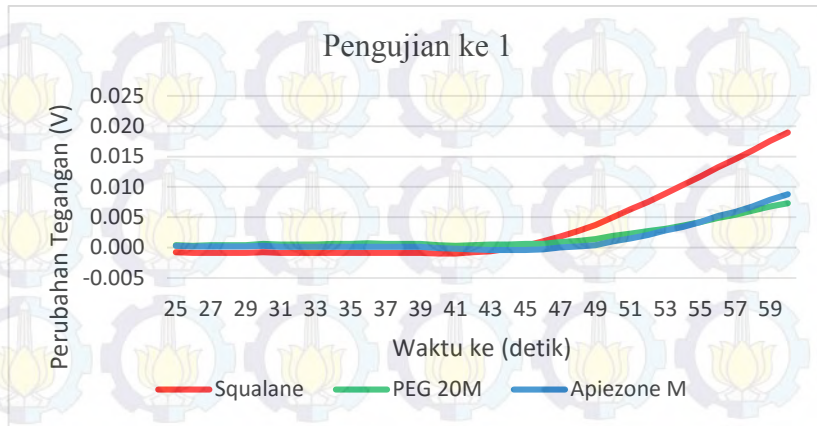
##### 1.1 Pengujian Pada Suhu 27°C

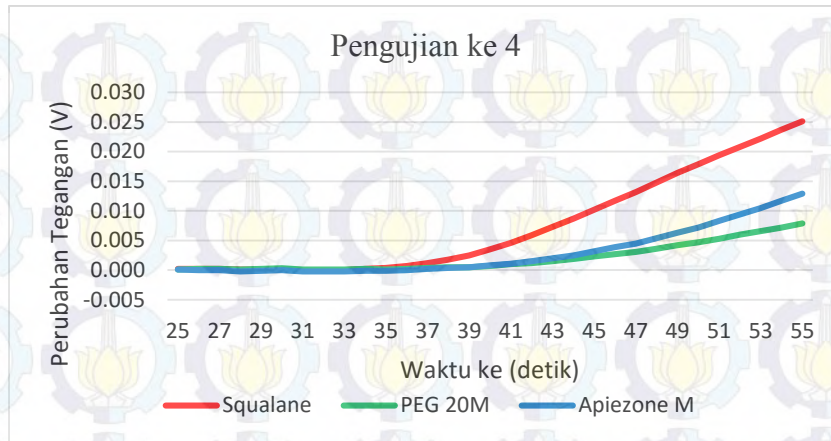




| Pengujian | Lapisan (detik) |             |            |
|-----------|-----------------|-------------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M |
| 1         | 12              | 18          | 18         |
| 2         | 15              | 23          | 22         |
| 3         | 12              | 22          | 18         |
| 4         | 13              | 25          | 21         |
| 5         | 13              | 26          | 21         |
| Rata-rata | <b>13</b>       | <b>22.8</b> | <b>20</b>  |

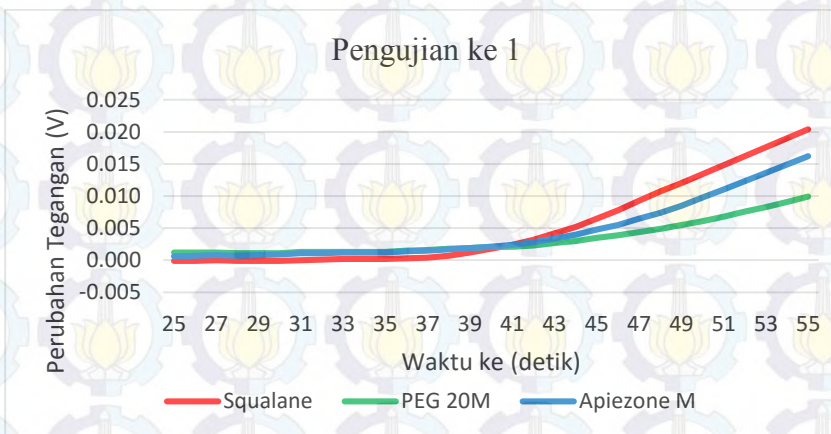
## 1.2 Pengujian Pada Suhu 30°C

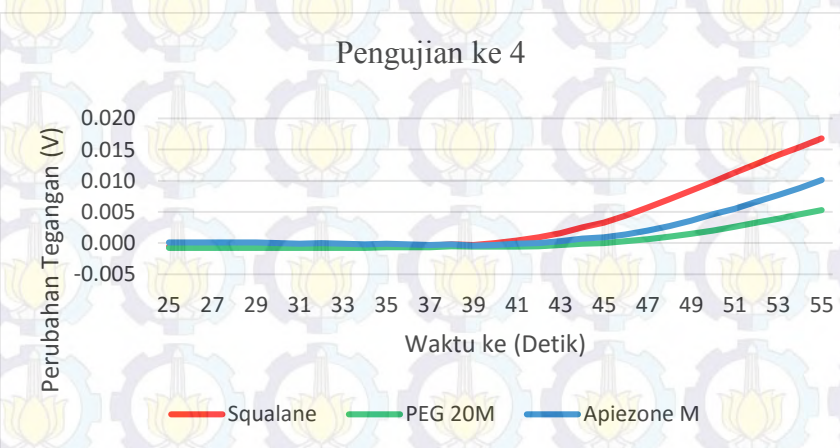
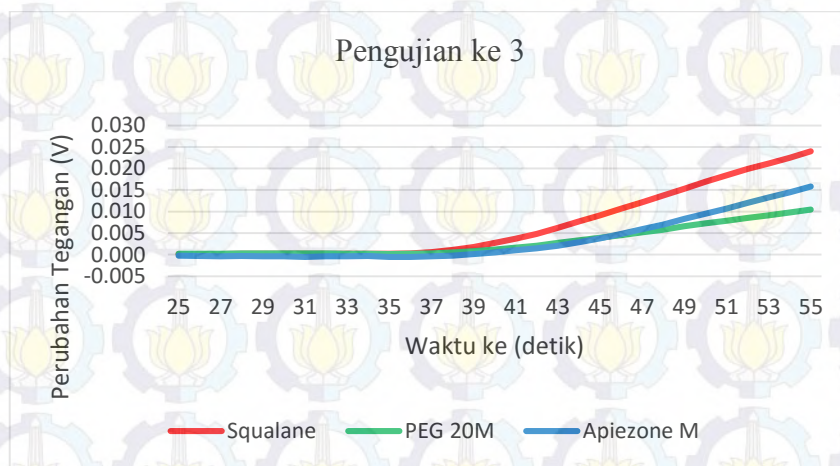
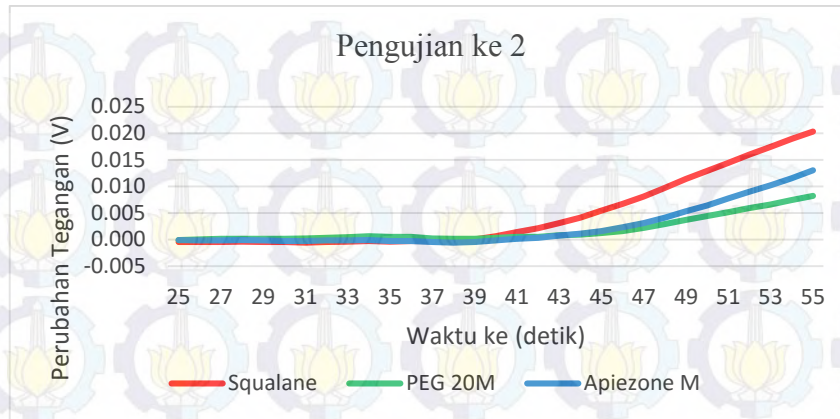




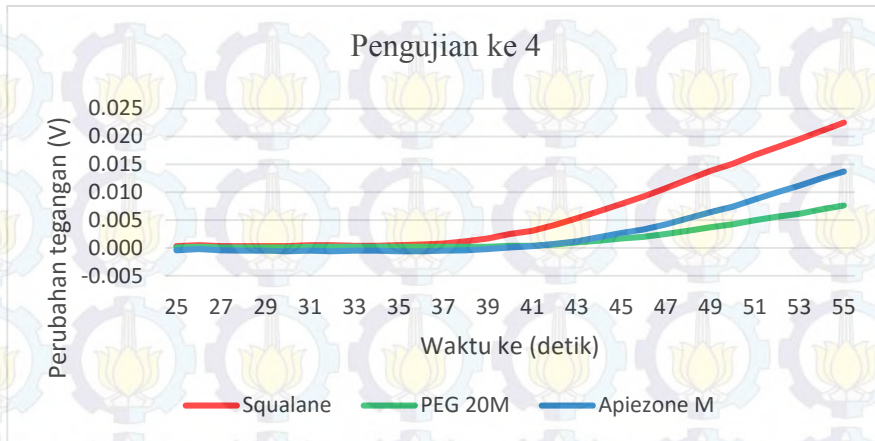
| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 30              | 26          | 26          |
| 2         | 10              | 17          | 20          |
| 3         | 13              | 19          | 18          |
| 4         | 11              | 17          | 19          |
| 5         | 12              | 17          | 20          |
| Rata-rata | <b>15.2</b>     | <b>19.2</b> | <b>20.6</b> |

### 1.3 Pengujian Pada Suhu 35°C



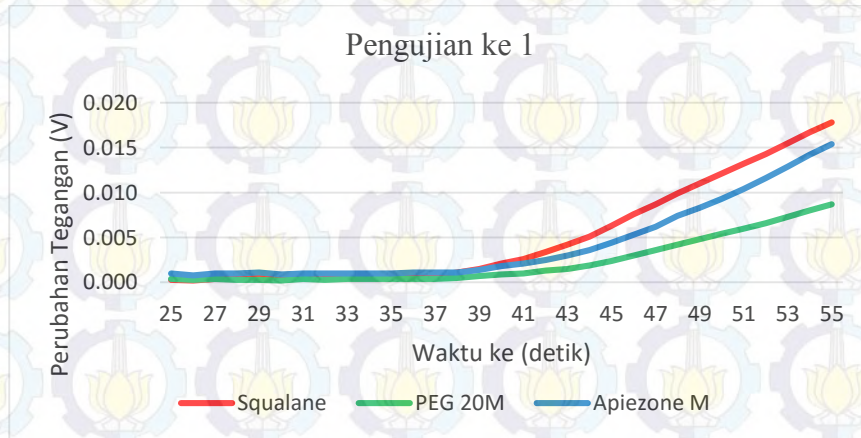


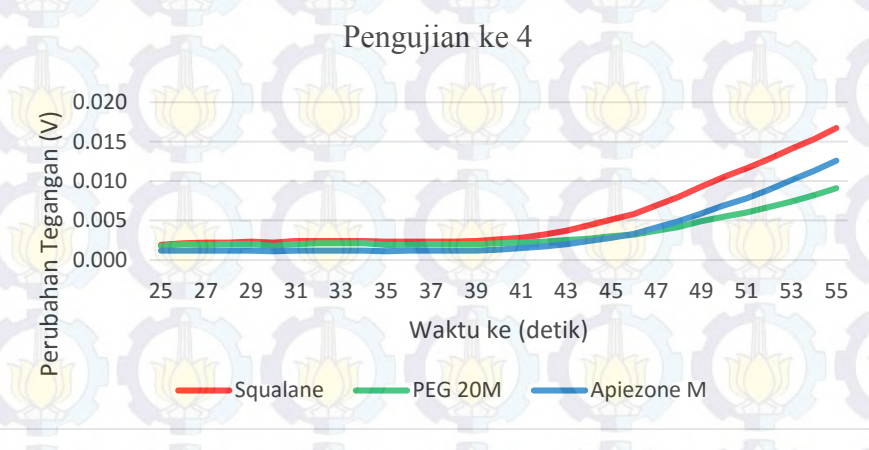
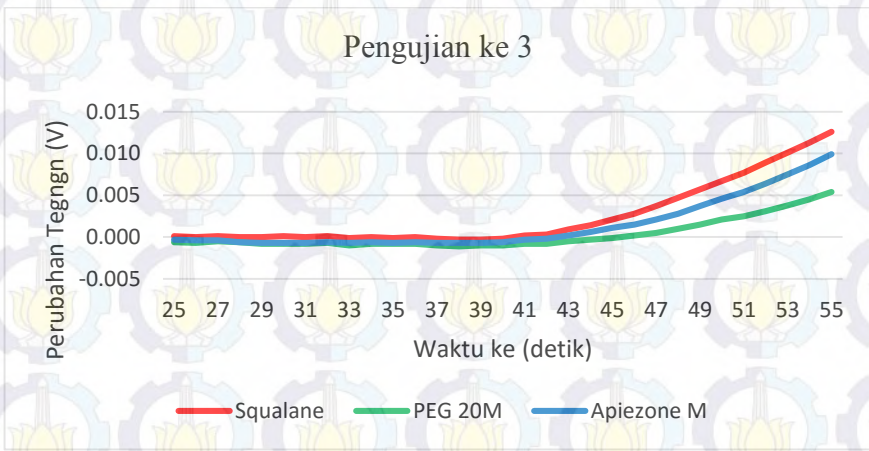
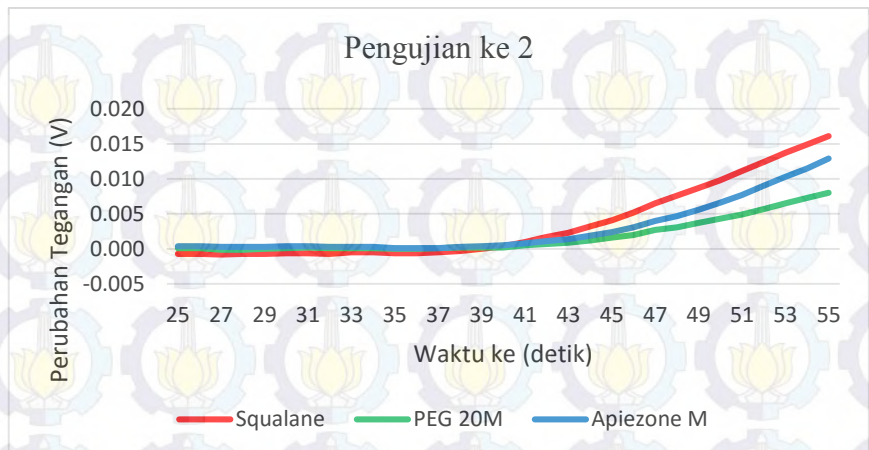


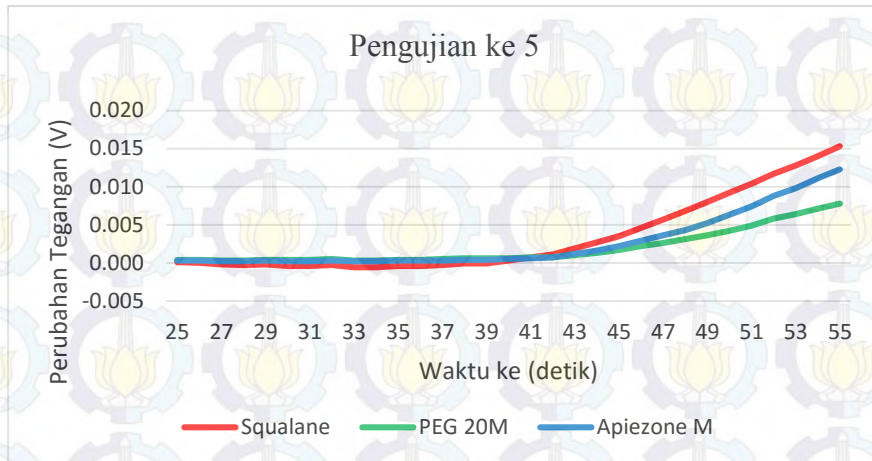


| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 14              | 15          | 17          |
| 2         | 15              | 21          | 18          |
| 3         | 9               | 11          | 11          |
| 4         | 16              | 24          | 20          |
| 5         | 13              | 21          | 17          |
| Rata-rata | <b>13.4</b>     | <b>18.4</b> | <b>16.6</b> |

#### 1.4 Pengujian Pada Suhu 40°C

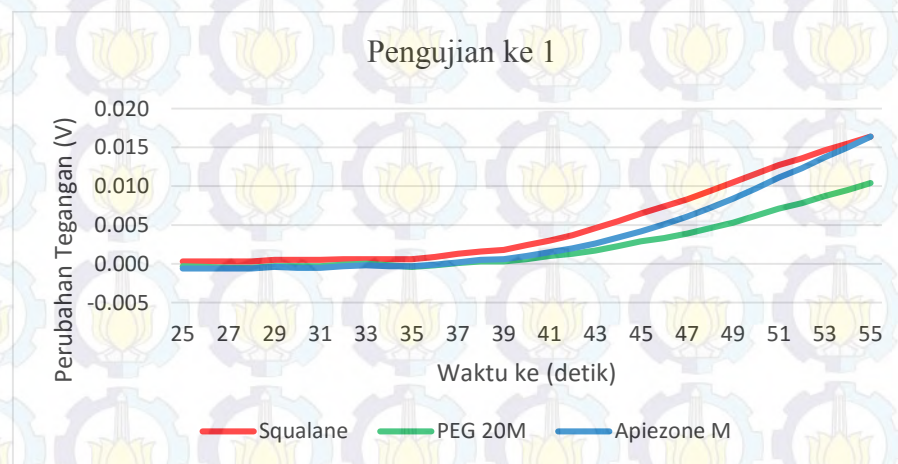


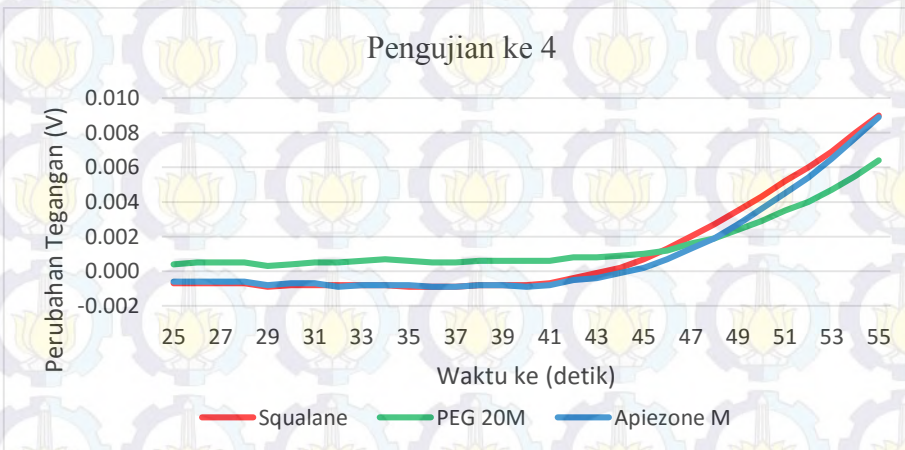
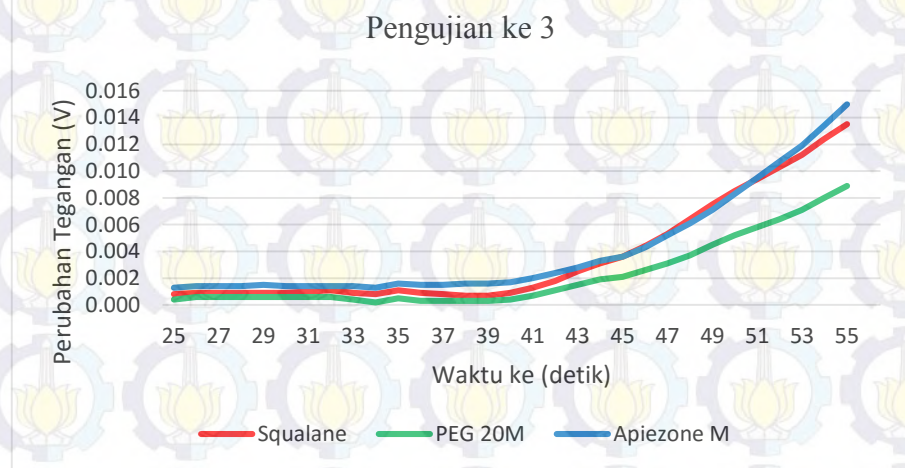
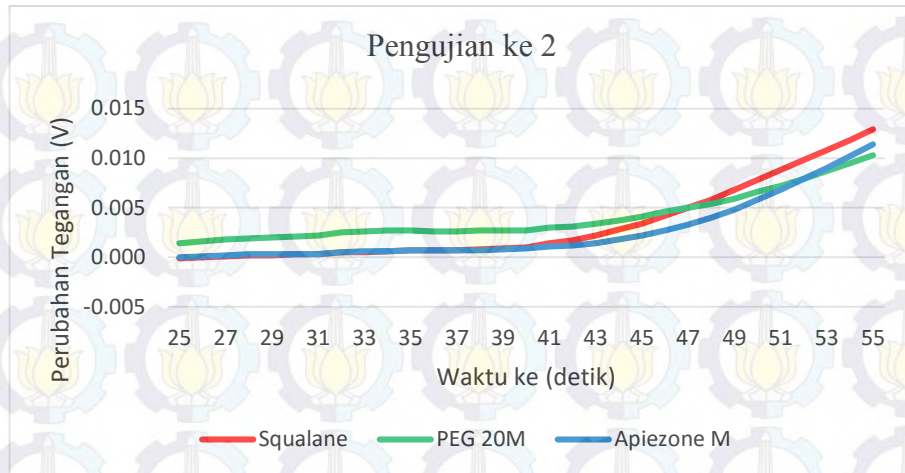


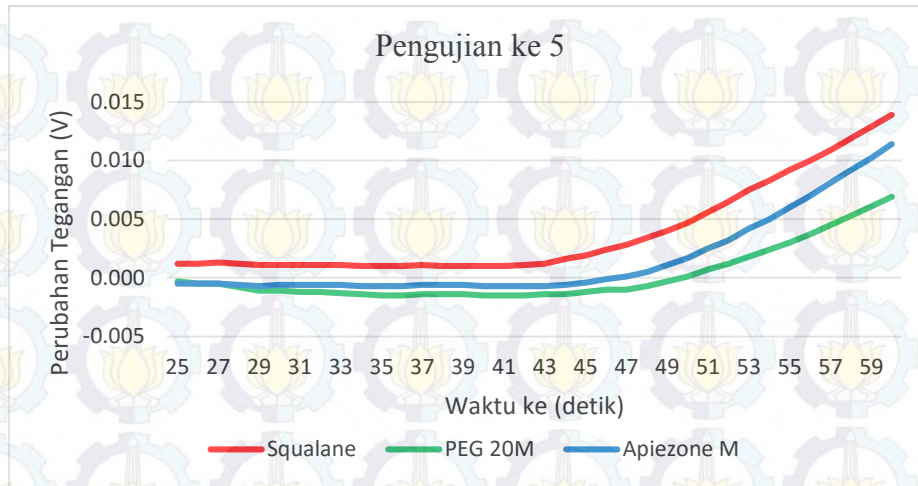


| Pengujian | Lapisan (detik) |           |            |
|-----------|-----------------|-----------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M   | Apiezone M |
| 1         | 14              | 19        | 16         |
| 2         | 16              | 21        | 18         |
| 3         | 18              | 25        | 20         |
| 4         | 15              | 19        | 18         |
| 5         | 17              | 21        | 18         |
| Rata-rata | <b>16</b>       | <b>21</b> | <b>18</b>  |

### 1.5 Pengujian Pada Suhu 45°C



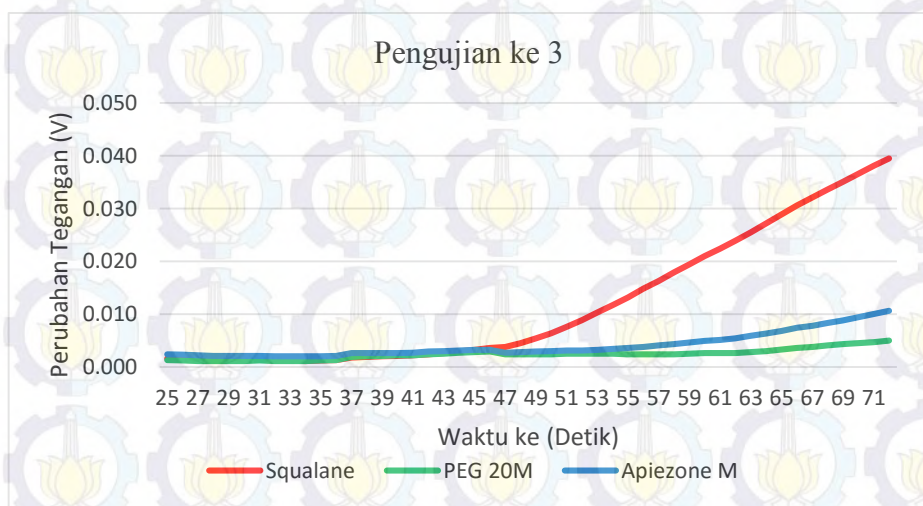
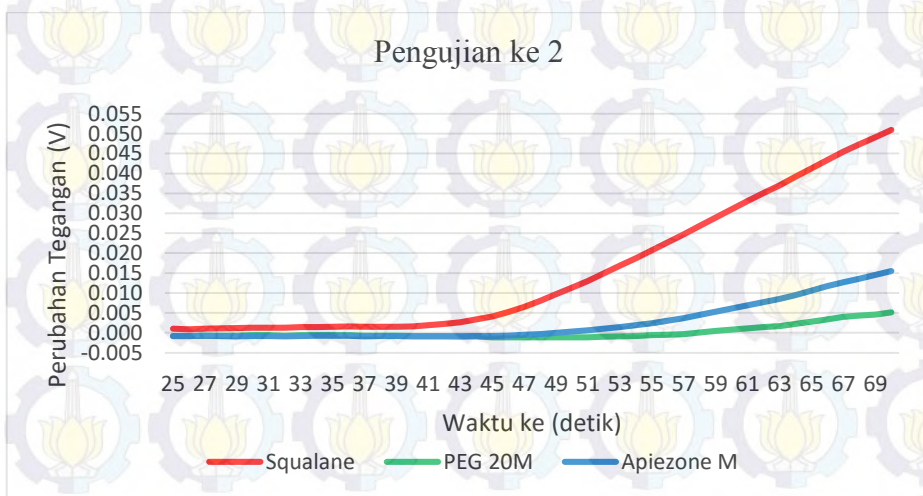
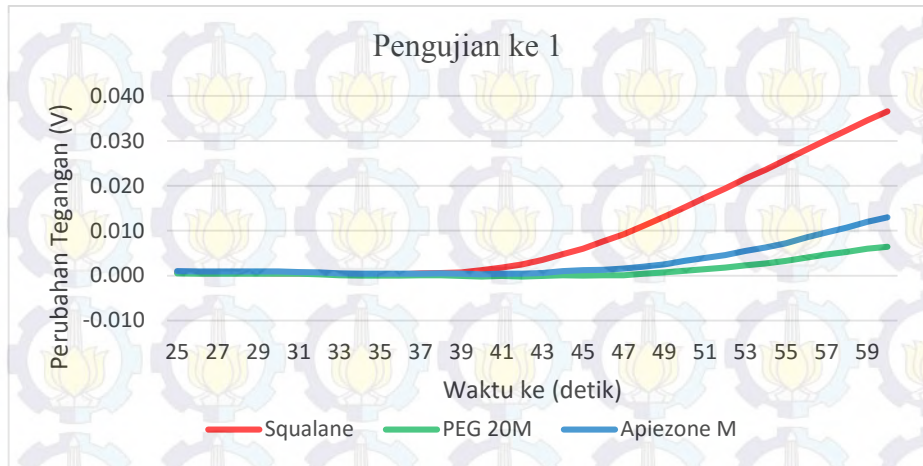


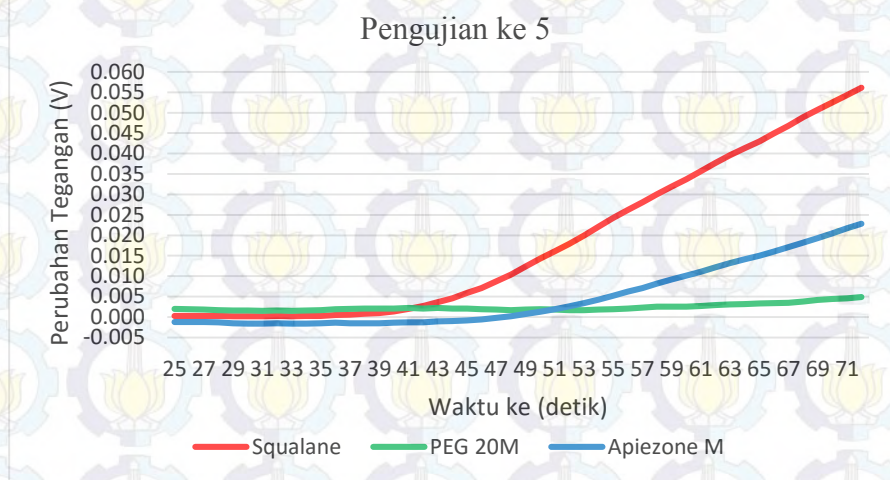
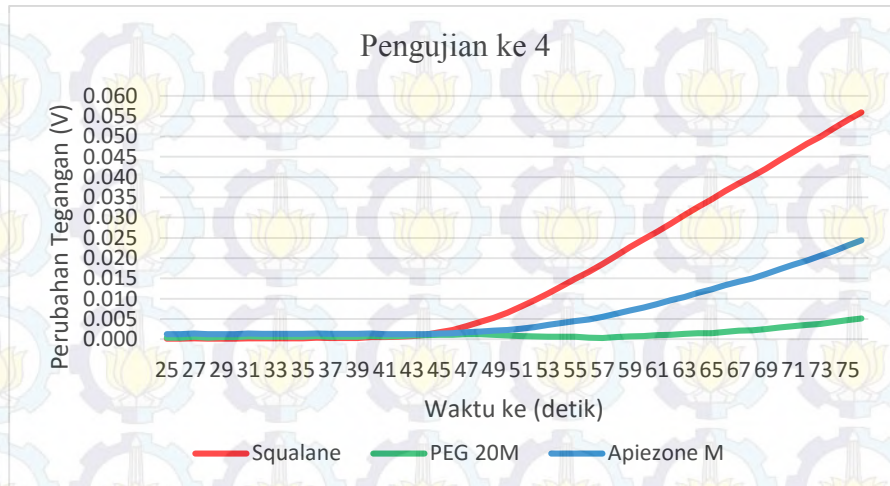


| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 13              | 18          | 16          |
| 2         | 17              | 17          | 20          |
| 3         | 17              | 20          | 17          |
| 4         | 21              | 20          | 22          |
| 5         | 20              | 28          | 24          |
| Rata-rata | <b>17.6</b>     | <b>20.6</b> | <b>19.8</b> |

## 2. Pengujian Terhadap Gas Alkohol

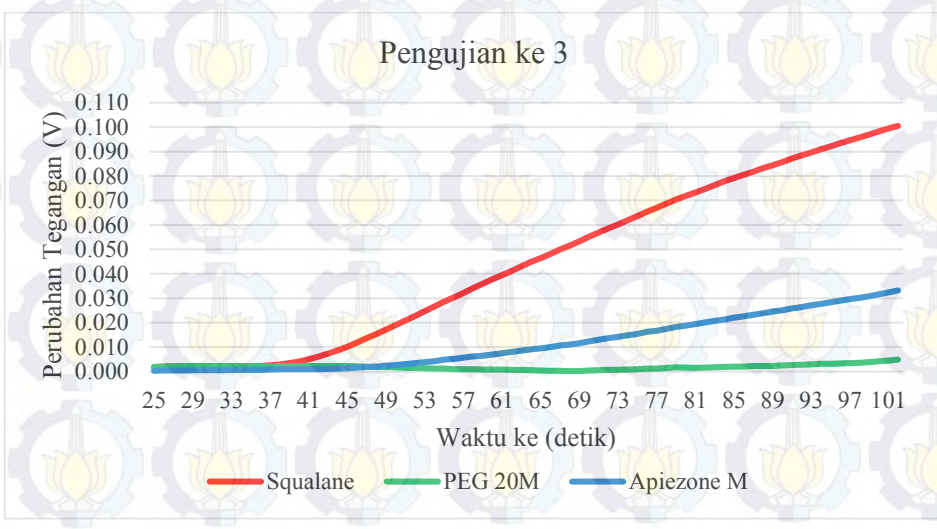
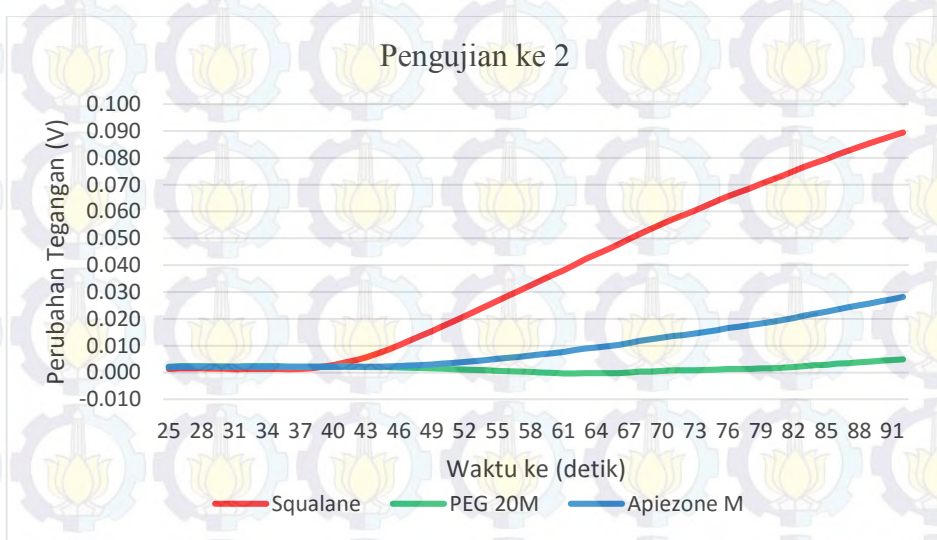
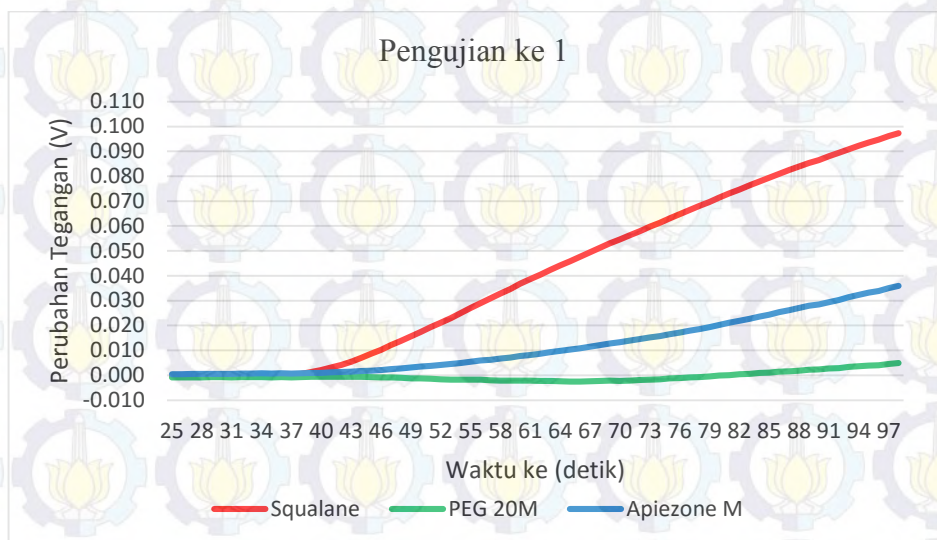
### 2.1 Pengujian Pada Suhu 27°C



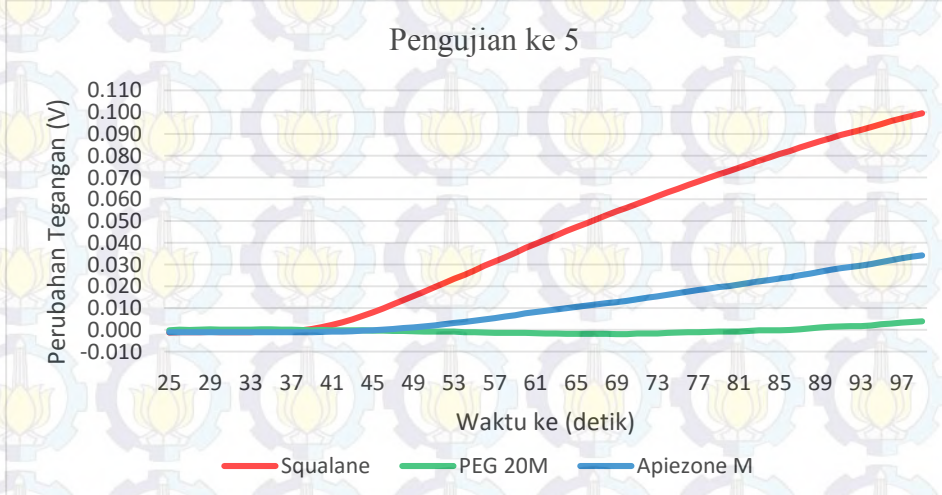
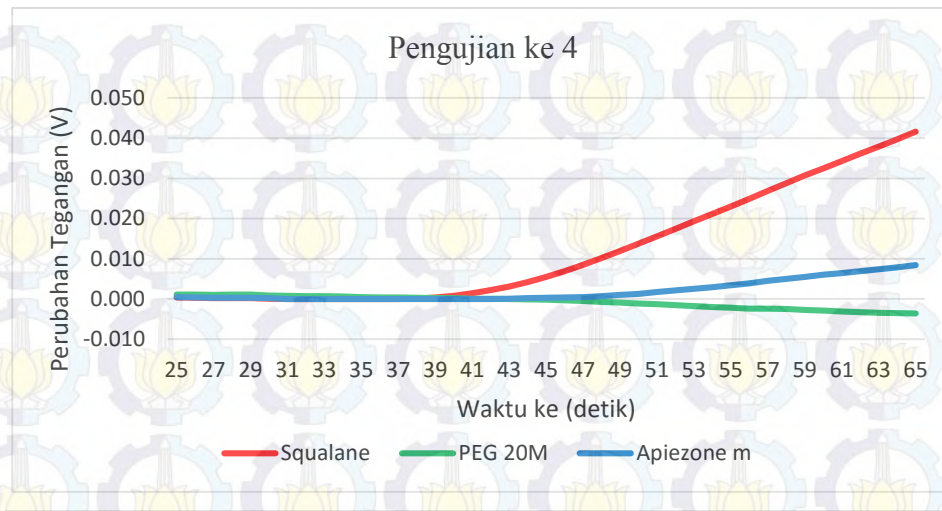


| Pengujian | Lapisan (detik) |           |             |
|-----------|-----------------|-----------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M   | Apiezone M  |
| 1         | 14              | 27        | 22          |
| 2         | 15              | 37        | 24          |
| 3         | 19              | 40        | 30          |
| 4         | 18              | 43        | 24          |
| 5         | 14              | 38        | 24          |
| Rata-rata | <b>16</b>       | <b>37</b> | <b>24.8</b> |

## 2.2 Pengujian Pada Suhu 30°C

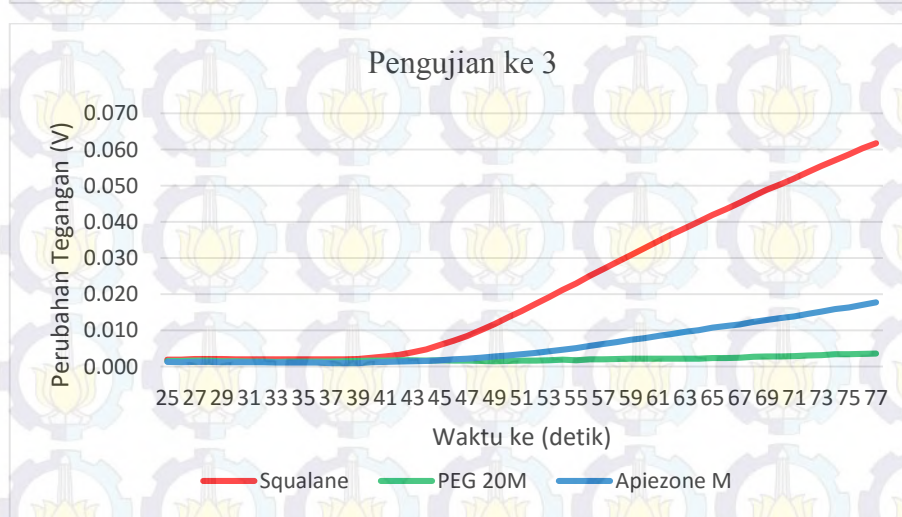
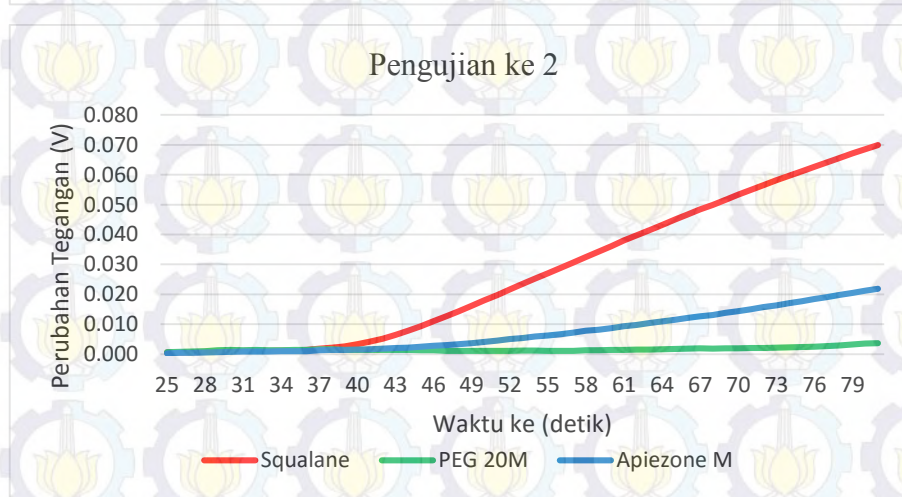
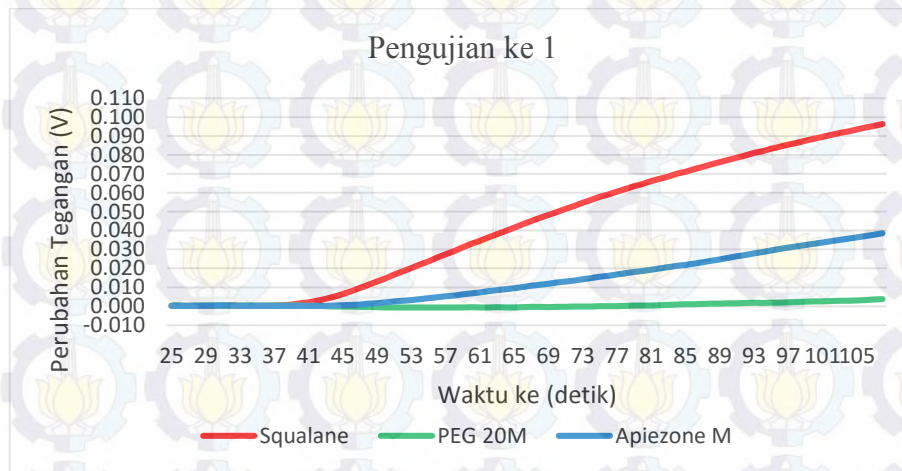


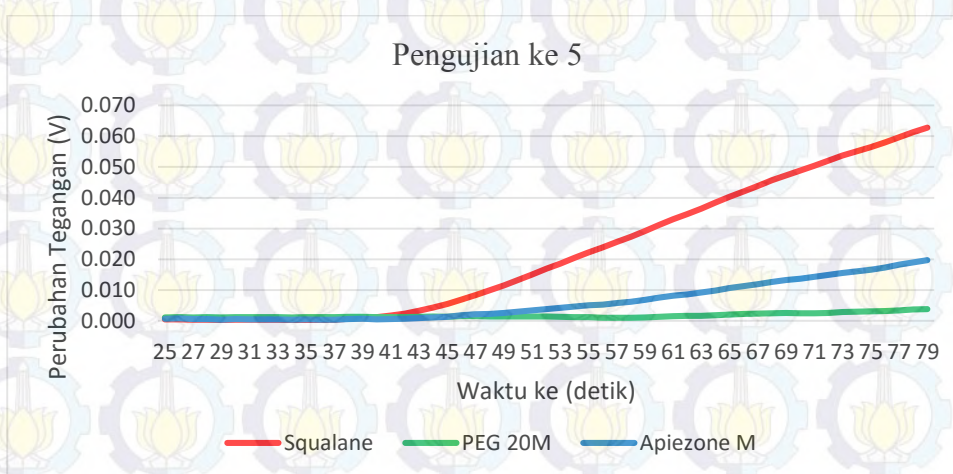
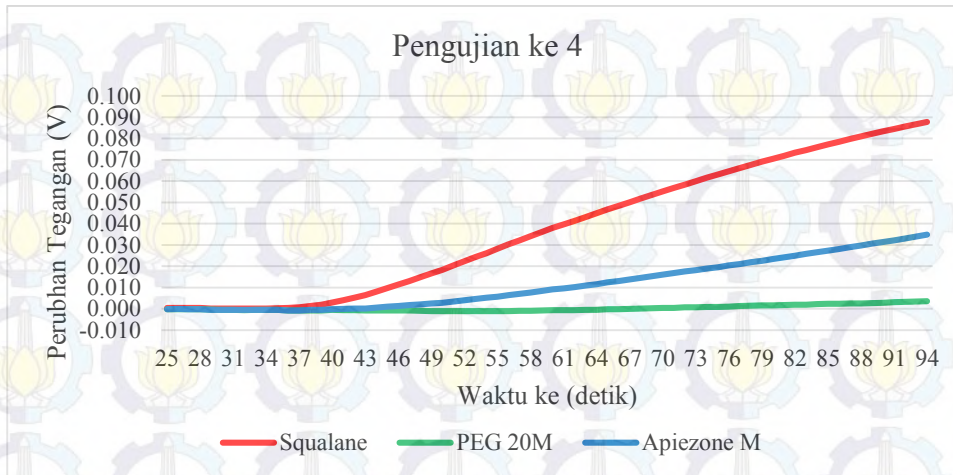




| Pengujian        | Lapisan (detik) |             |             |
|------------------|-----------------|-------------|-------------|
|                  | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1                | 13              | 65          | 22          |
| 2                | 12              | 59          | 22          |
| 3                | 11              | 68          | 23          |
| 4                | 14              | 34          | 26          |
| 5                | 12              | 68          | 24          |
| <b>Rata-rata</b> | <b>12.4</b>     | <b>58.8</b> | <b>23.4</b> |

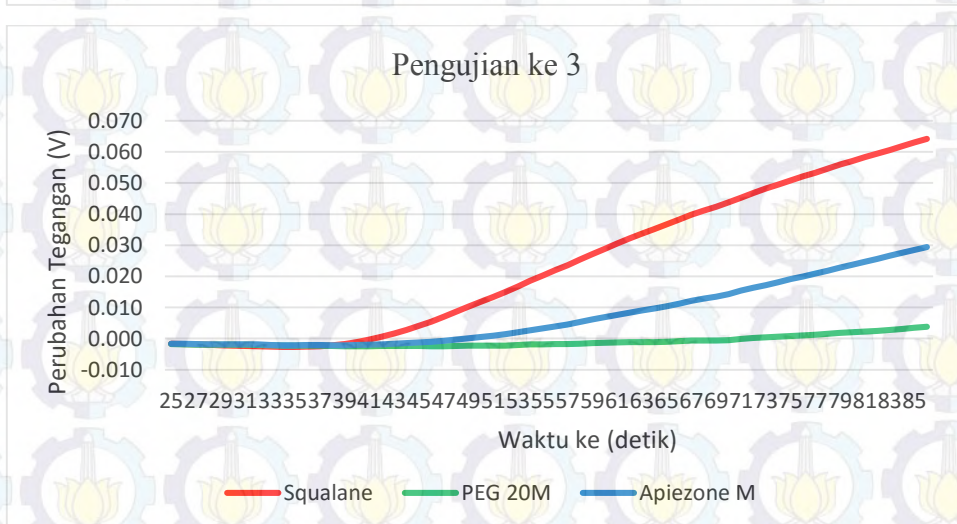
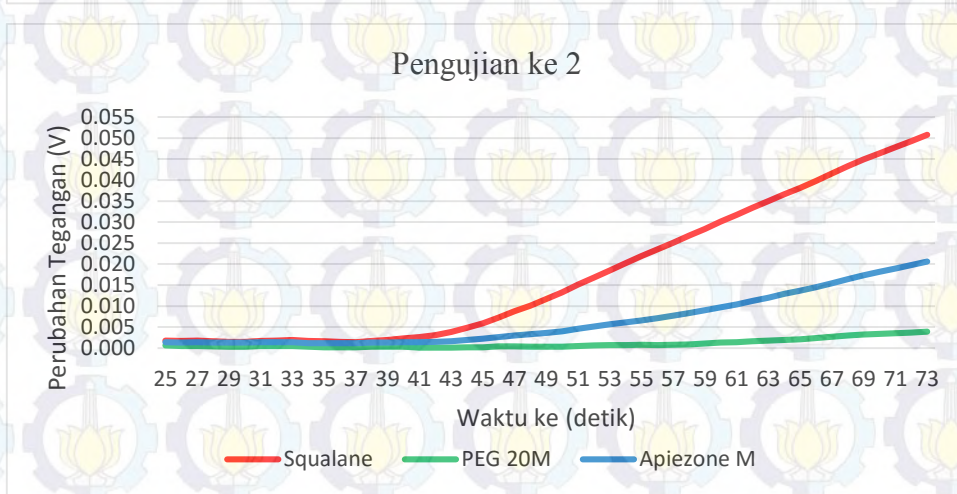
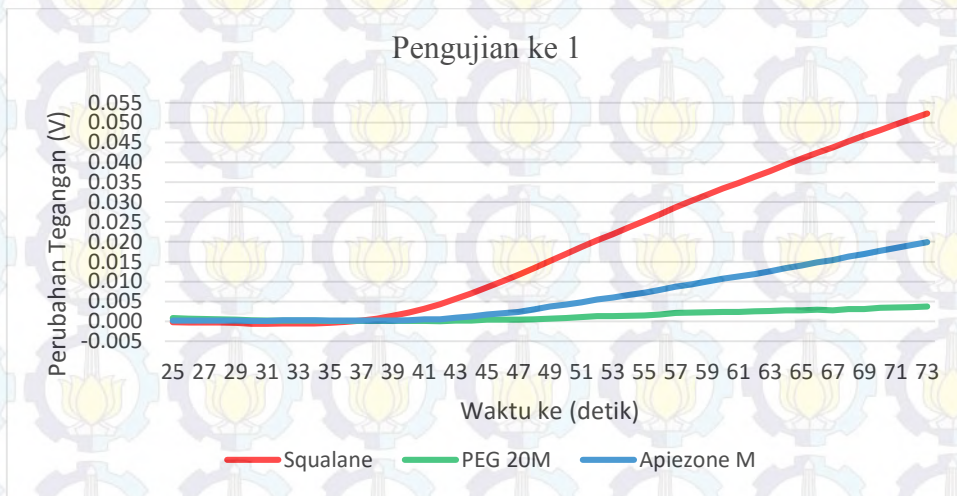
### 2.3 Pengujian Pada Suhu 35°C

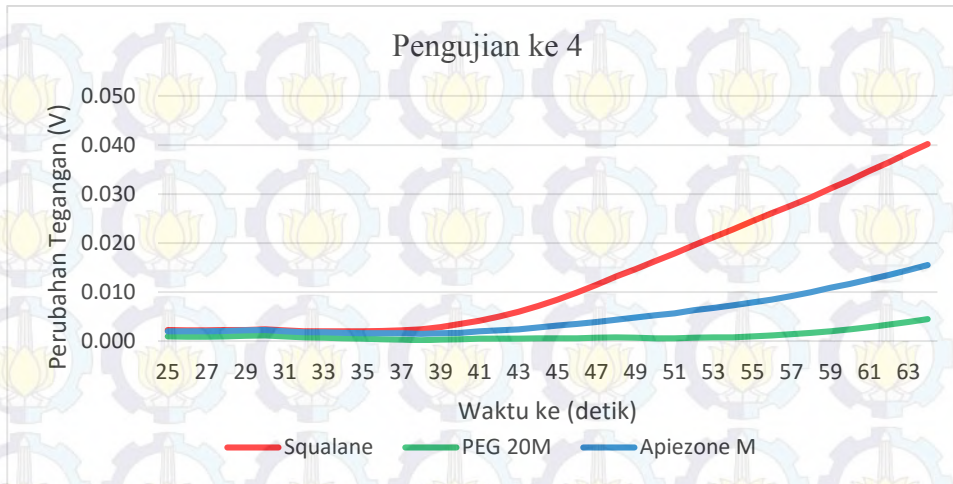




| Pengujian        | Lapisan (detik) |             |             |
|------------------|-----------------|-------------|-------------|
|                  | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1                | 12              | 75          | 24          |
| 2                | 11              | 50          | 21          |
| 3                | 14              | 46          | 23          |
| 4                | 11              | 63          | 22          |
| 5                | 14              | 48          | 23          |
| <b>Rata-rata</b> | <b>12.4</b>     | <b>56.4</b> | <b>22.6</b> |

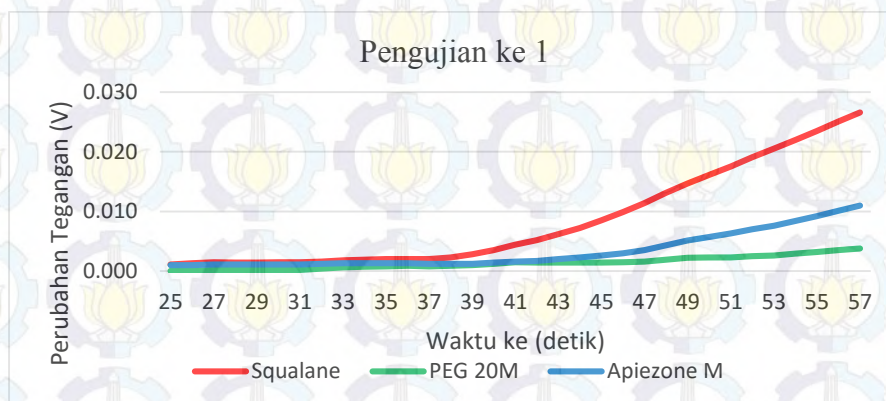
## 2.4 Pengujian Pada Suhu 40°C

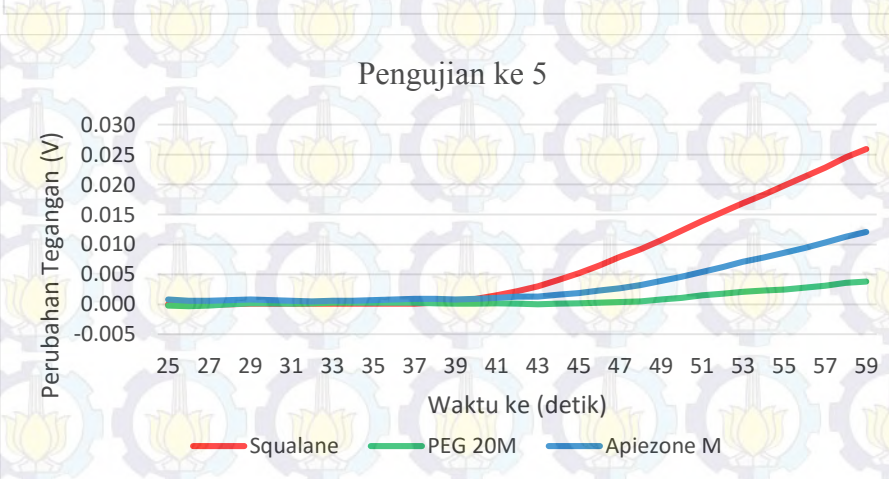
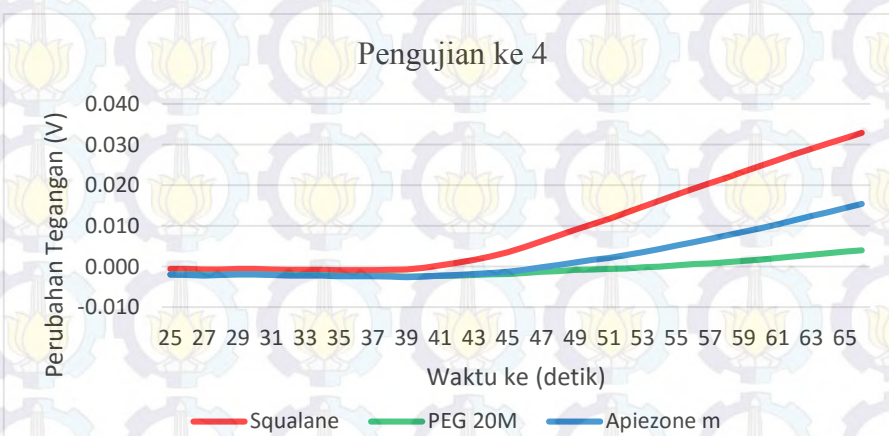
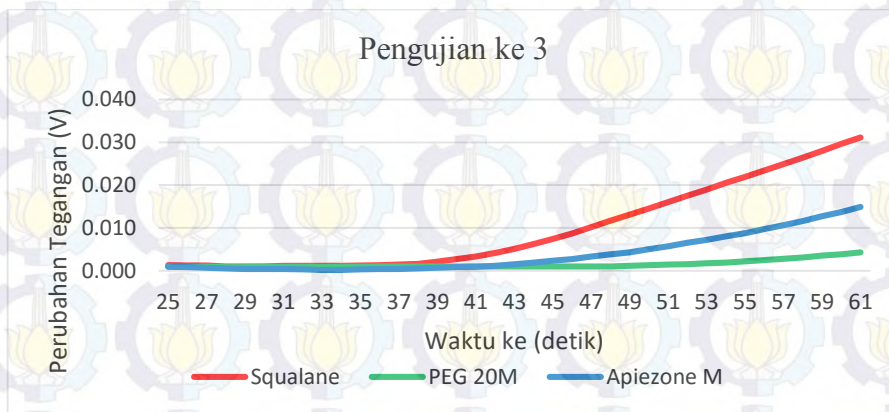
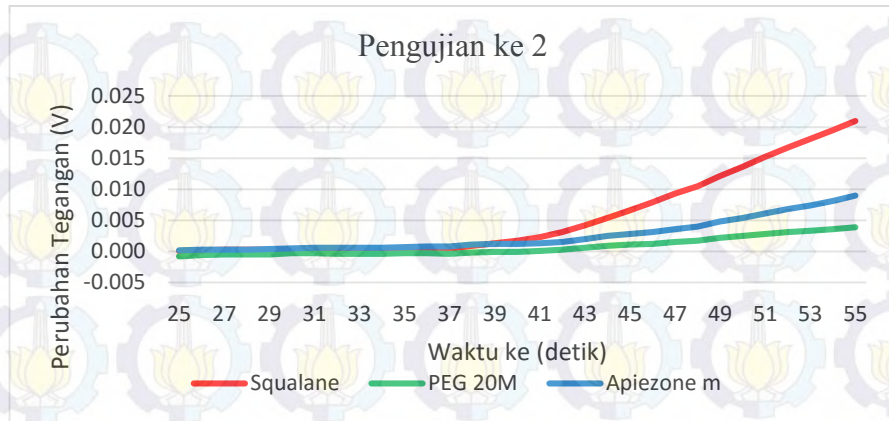




| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 12              | 42      | 20         |
| 2         | 14              | 42      | 20         |
| 3         | 15              | 54      | 26         |
| 4         | 12              | 33      | 18         |
| 5         | 12              | 40      | 22         |
| Rata-rata | 13              | 42.2    | 21.2       |

## 2.5 Pengujian Pada Suhu 45°C

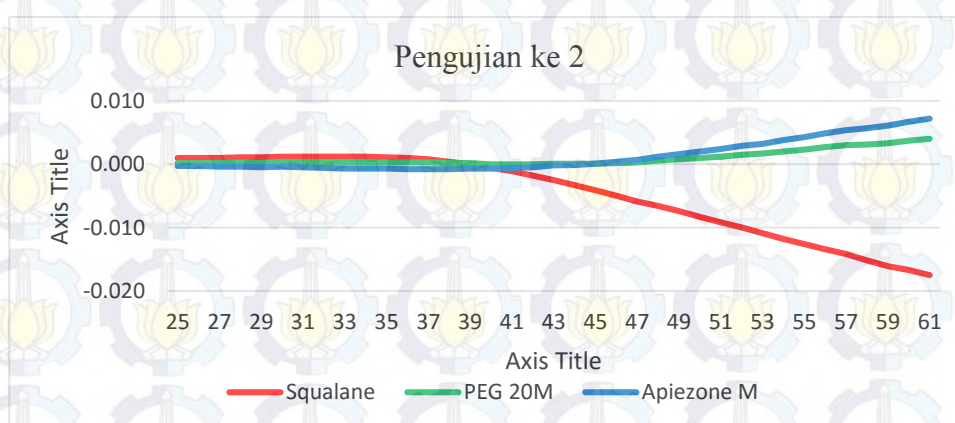
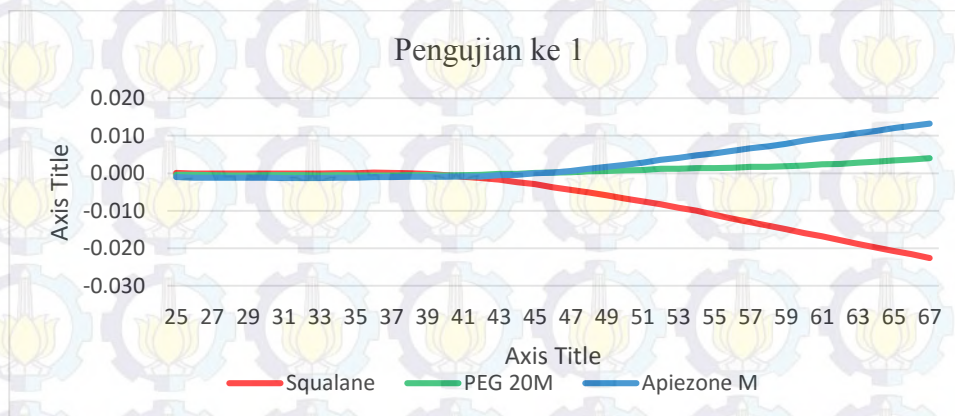


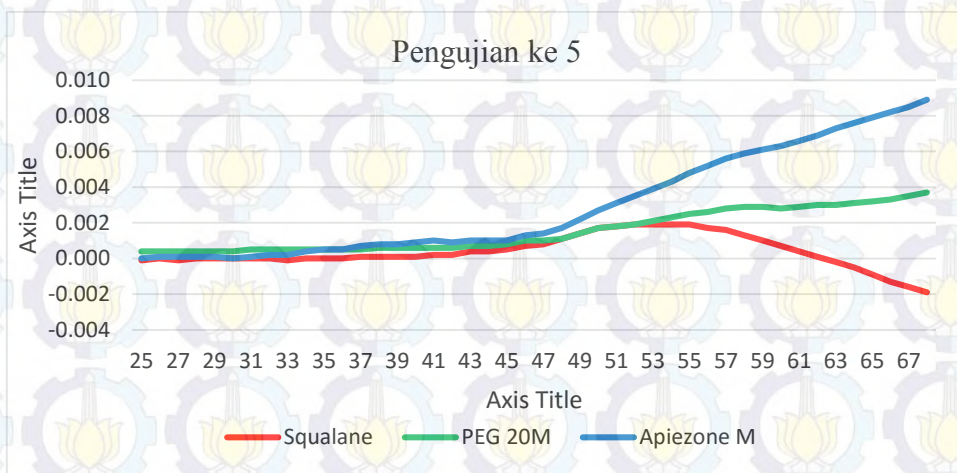
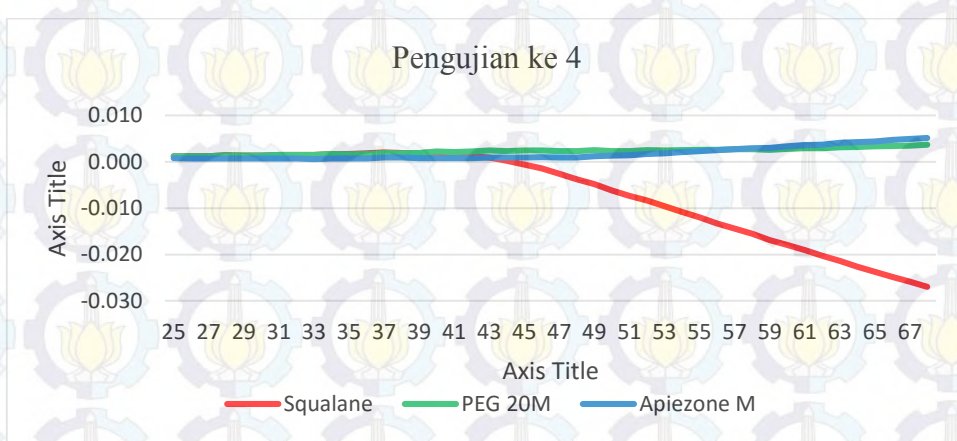
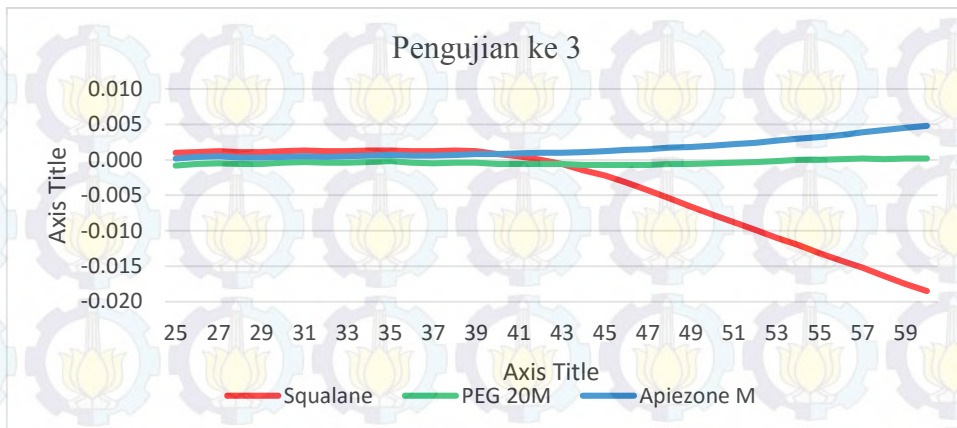


| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 12              | 26          | 18          |
| 2         | 14              | 24          | 19          |
| 3         | 13              | 30          | 21          |
| 4         | 16              | 34          | 25          |
| 5         | 15              | 28          | 20          |
| Rata-rata | <b>14</b>       | <b>28.4</b> | <b>20.6</b> |

### 3. Pengujian Terhadap Gas Bensin

#### 3.1 Pengujian Pada Suhu 27°C

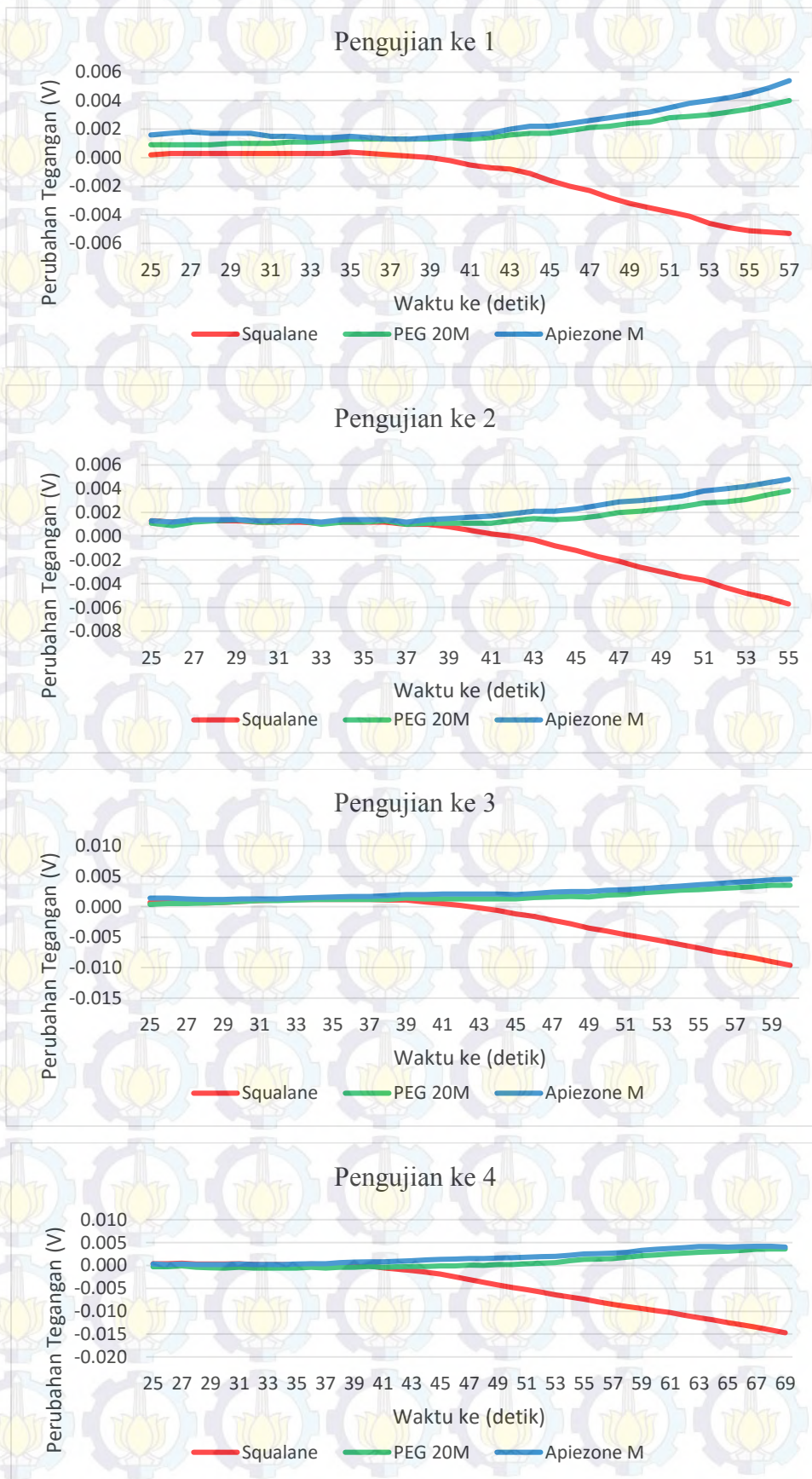




| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 17              | 36          | 24          |
| 2         | 18              | 30          | 25          |
| 3         | 17              | 94          | 29          |
| 4         | 19              | 37          | 37          |
| 5         | 23              | 37          | 23          |
| Rata-rata | <b>18.8</b>     | <b>46.8</b> | <b>27.6</b> |

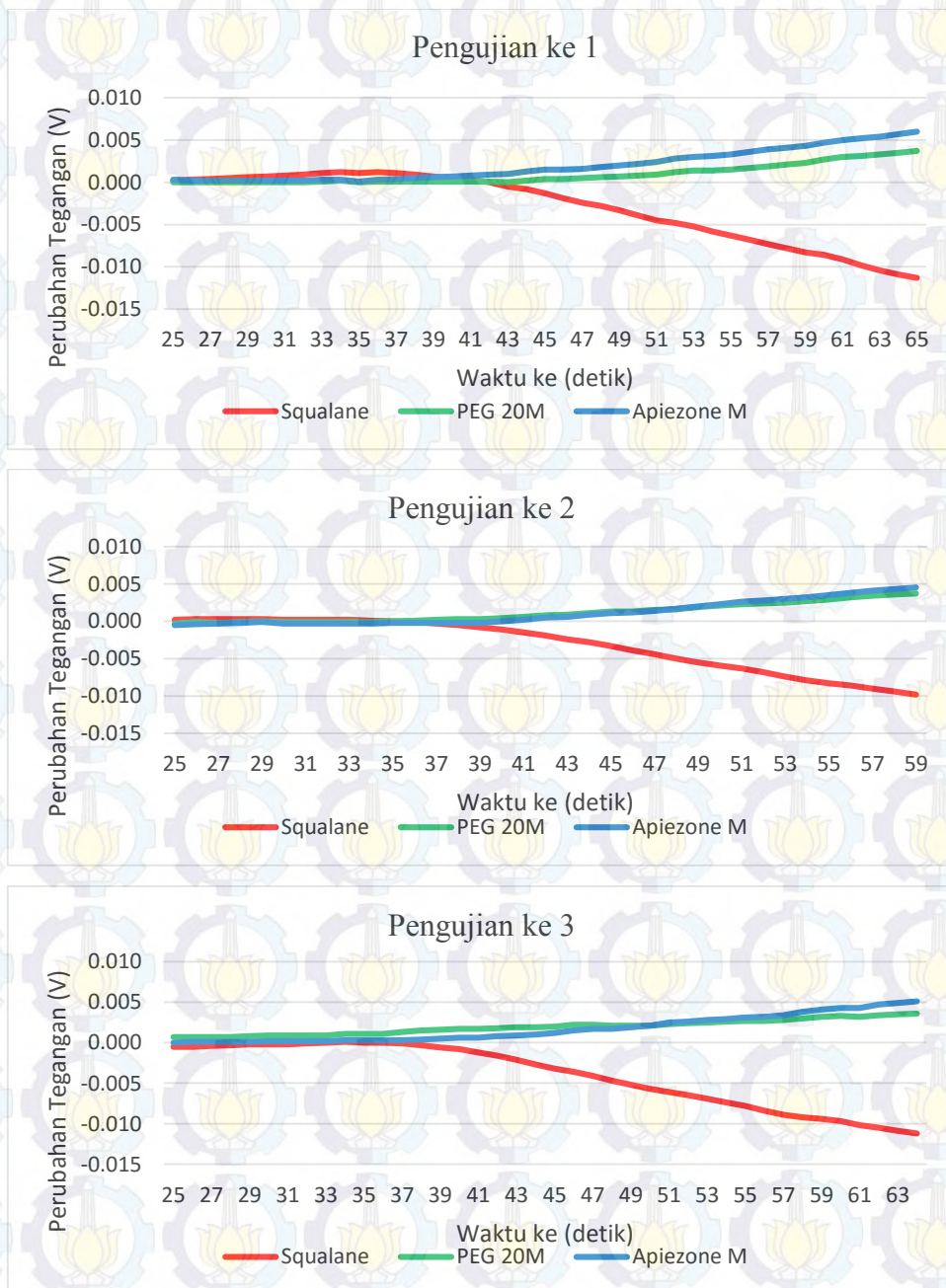


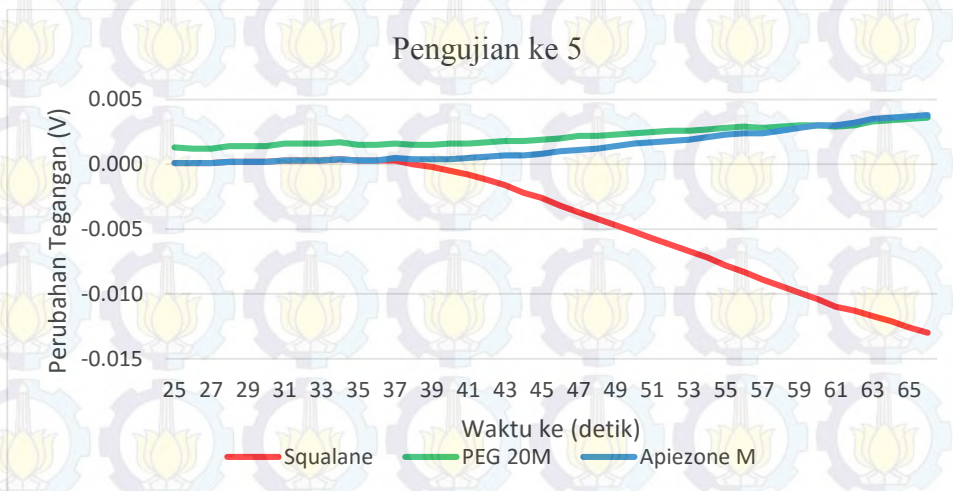
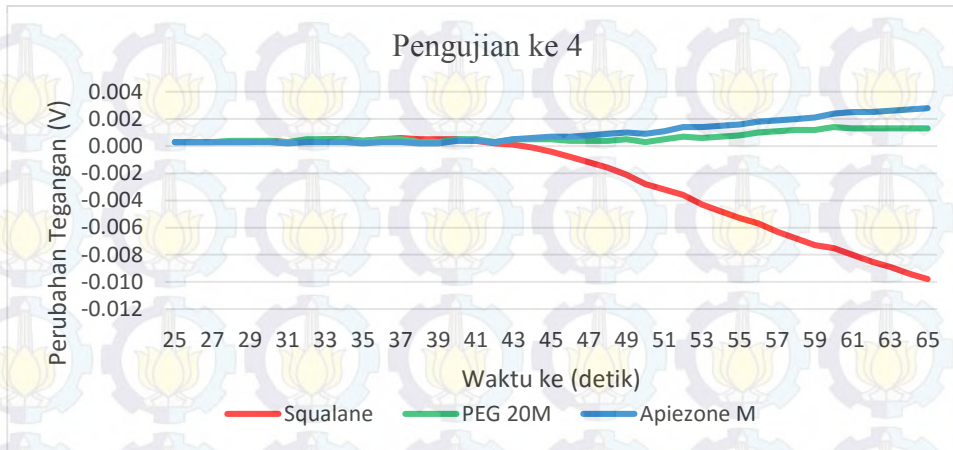
### 3.2 Pengujian Pada Suhu 30°C



| Pengujian | Lapisan (detik) |           |            |
|-----------|-----------------|-----------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M   | Apiezone M |
| 1         | 22              | 26        | 23         |
| 2         | 21              | 24        | 22         |
| 3         | 21              | 28        | 27         |
| 4         | 20              | 37        | 33         |
| 5         | 22              | 40        | 30         |
| Rata-rata | <b>21.2</b>     | <b>31</b> | <b>27</b>  |

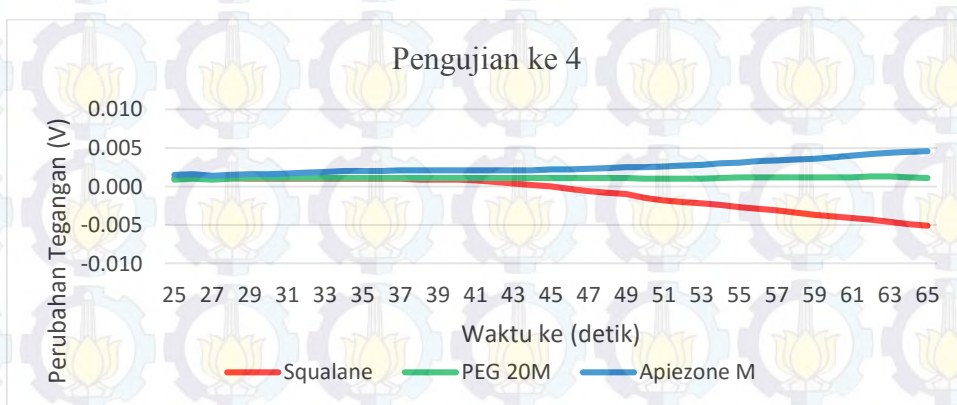
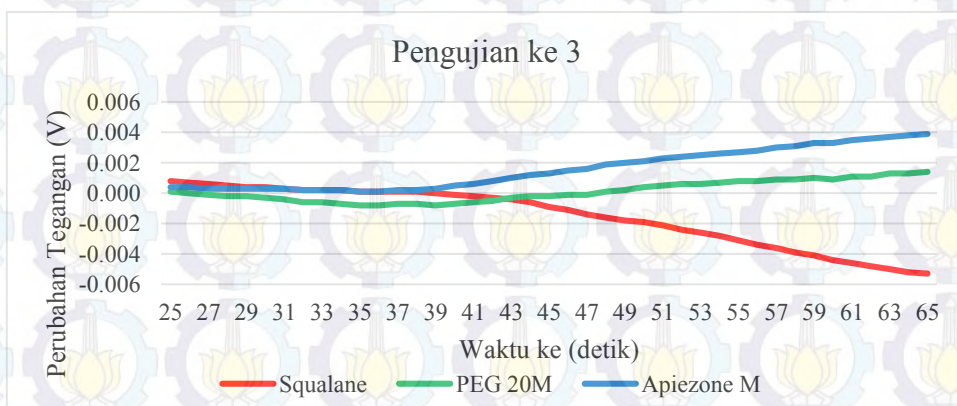
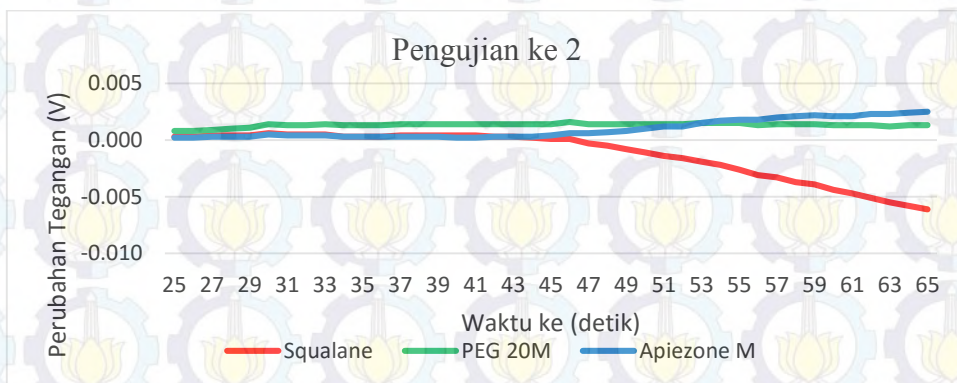
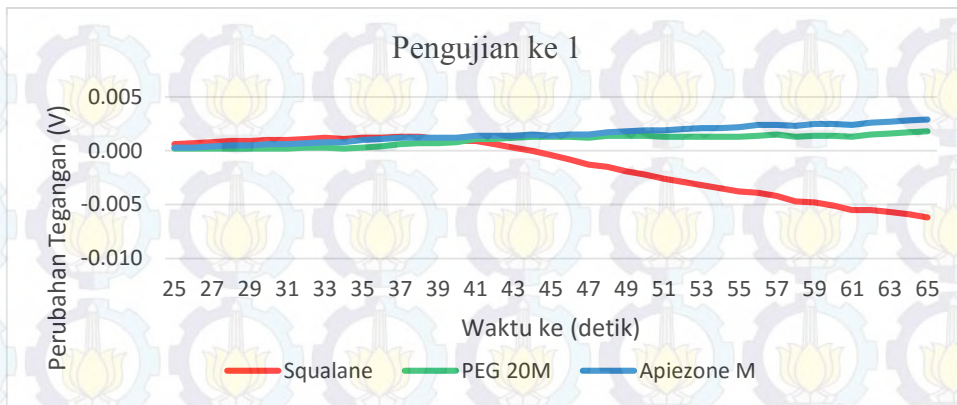
### 3.3 Pengujian Pada Suhu 35°C

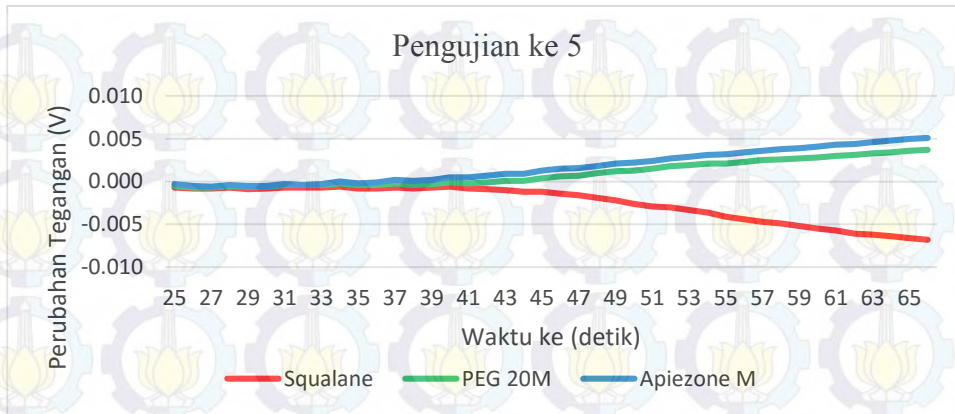




| Pengujian | Lapisan (detik) |             |            |
|-----------|-----------------|-------------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M |
| 1         | 22              | 34          | 30         |
| 2         | 17              | 29          | 27         |
| 3         | 18              | 32          | 31         |
| 4         | 22              | 35          | 35         |
| 5         | 19              | 34          | 32         |
| Rata-rata | <b>19.6</b>     | <b>32.8</b> | <b>31</b>  |

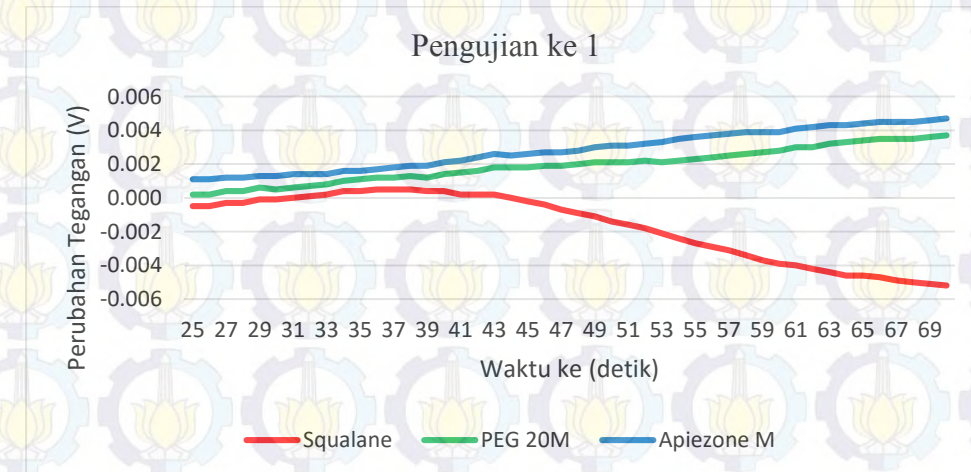
### 3.4 Pengujian Pada Suhu 40°C

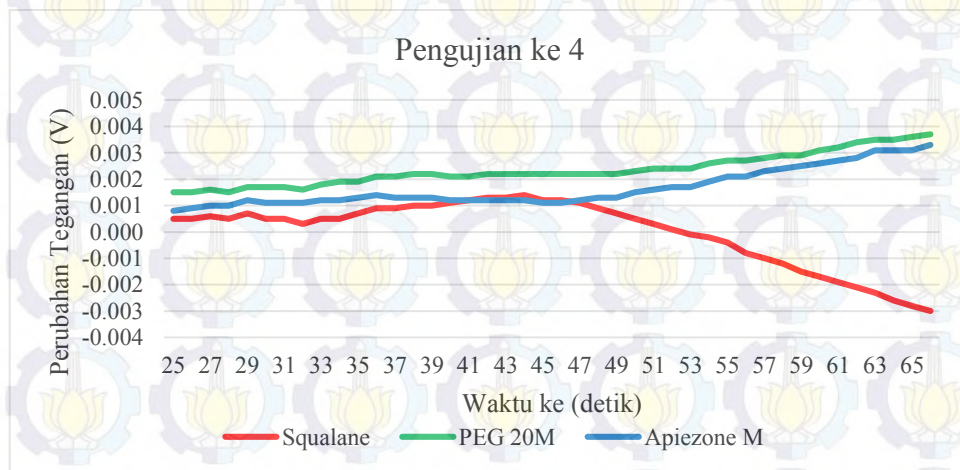
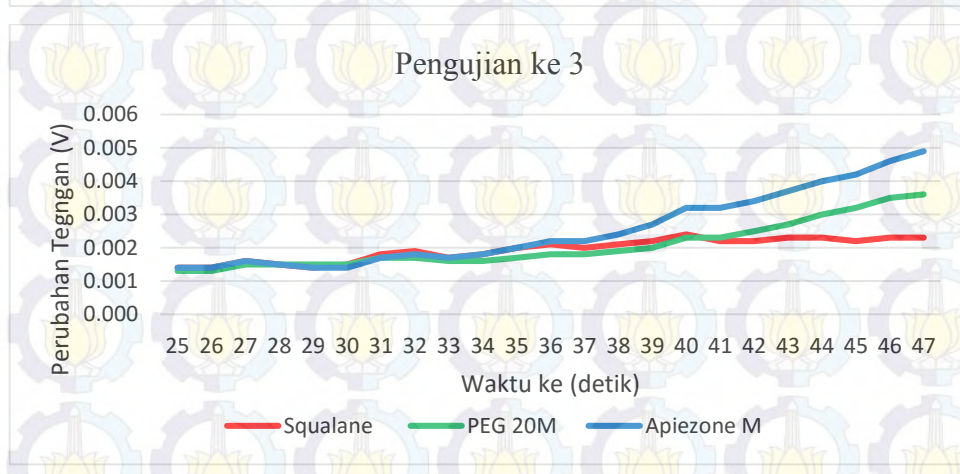
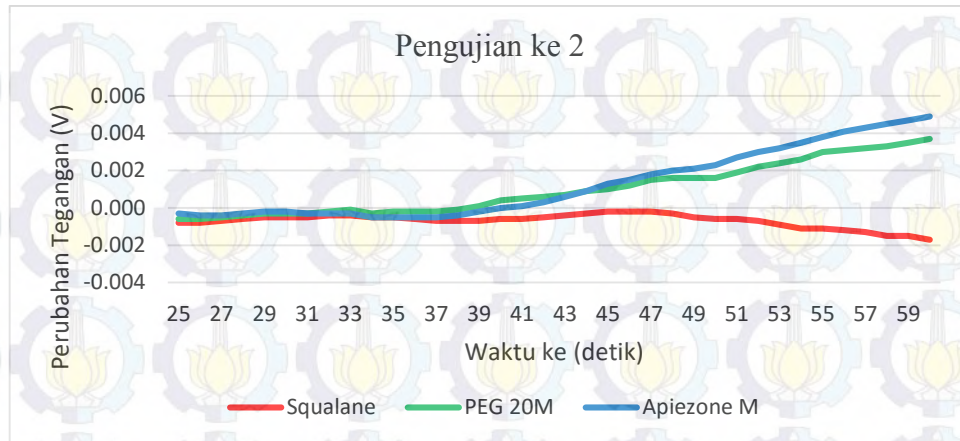




| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 25              | 60      | 52         |
| 2         | 29              | 60      | 35         |
| 3         | 27              | 60      | 35         |
| 4         | 29              | 60      | 31         |
| 5         | 25              | 35      | 27         |
| Rata-rata | 27              | 55      | 36         |

### 3.5 Pengujian Pada Suhu 45°C

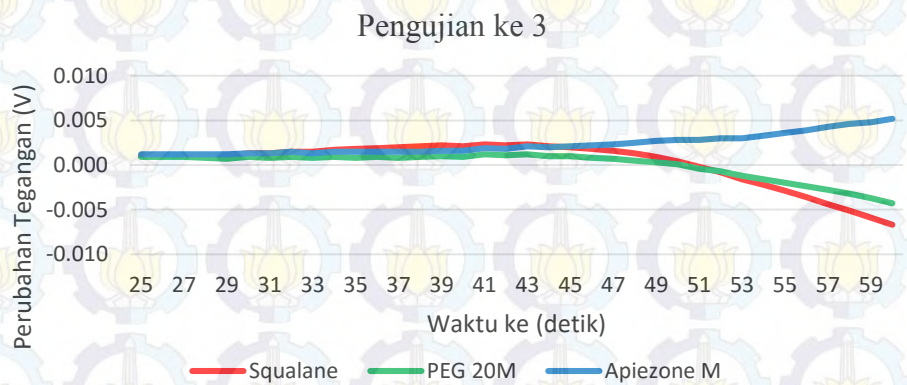
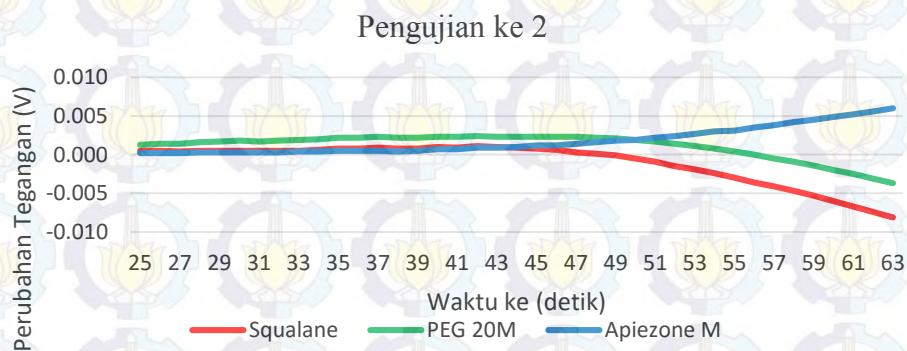
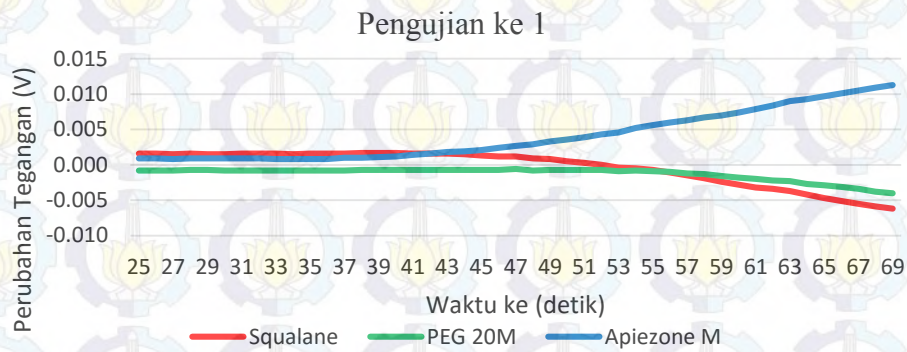


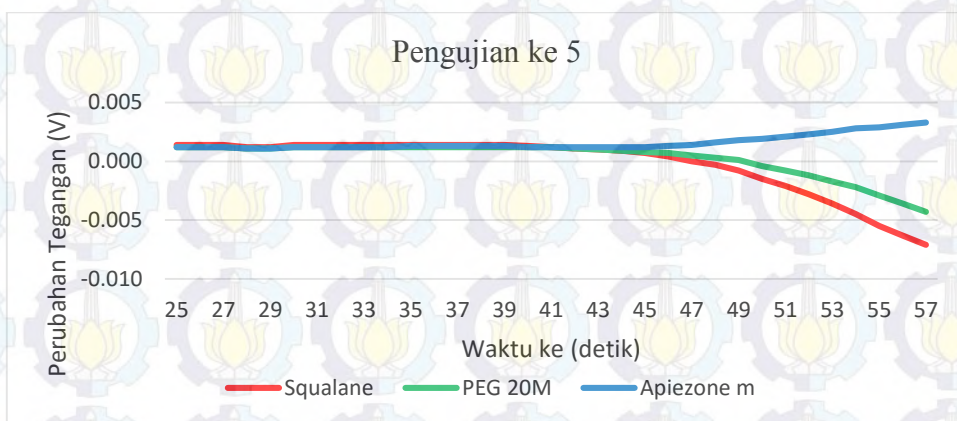
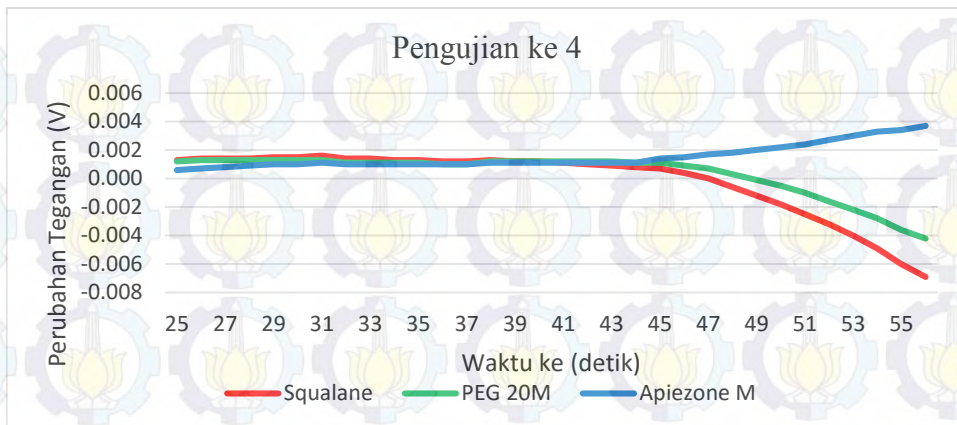


| Pengujian        | Lapisan (detik) |             |             |
|------------------|-----------------|-------------|-------------|
|                  | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1                | 29              | 38          | 27          |
| 2                | 29              | 29          | 25          |
| 3                | 16              | 16          | 14          |
| 4                | 35              | 35          | 37          |
| 5                | 30              | 34          | 35          |
| <b>Rata-rata</b> | <b>27.8</b>     | <b>30.4</b> | <b>27.6</b> |

## 4. Pengujian Terhadap Gas Chloroform

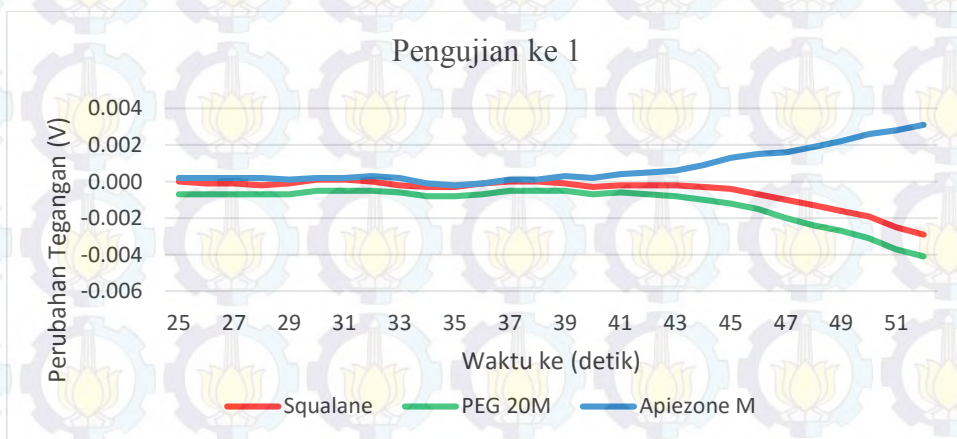
### 4.1 Pengujian Pada Suhu 27°C



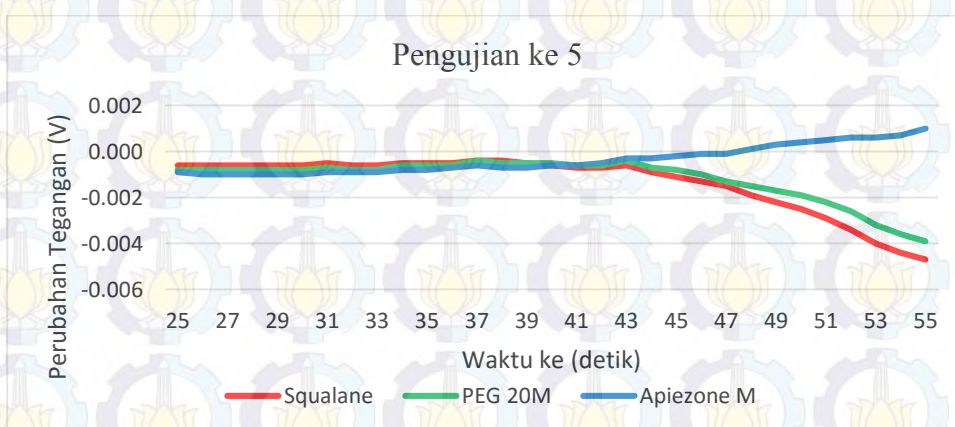
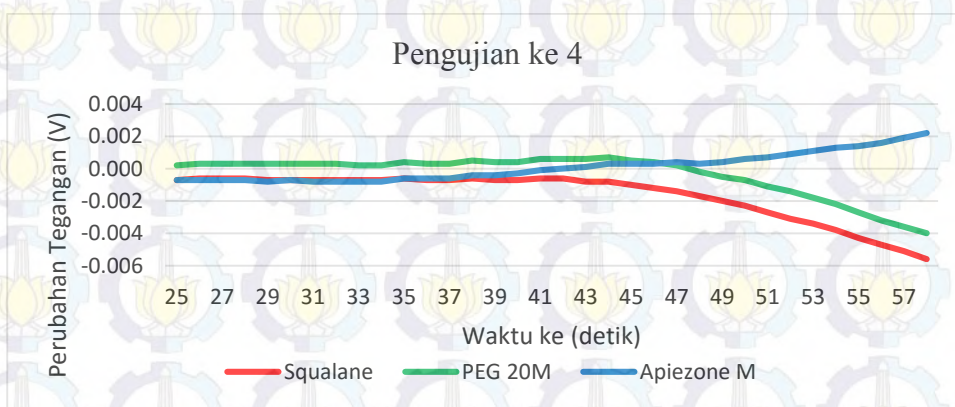
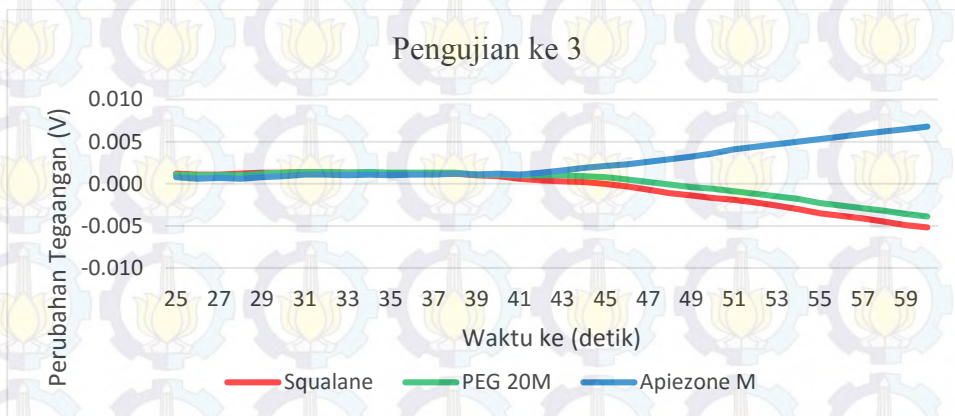
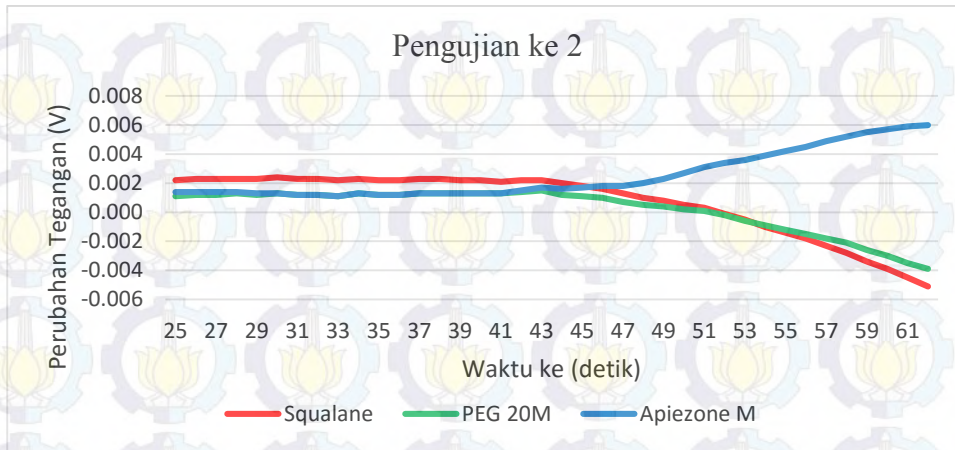


| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 34              | 38      | 22         |
| 2         | 26              | 30      | 27         |
| 3         | 26              | 28      | 25         |
| 4         | 23              | 25      | 26         |
| 5         | 23              | 27      | 29         |
| Rata-rata | 26.4            | 29.6    | 25.8       |

#### 4.2 Pengujian Pada Suhu 30°C

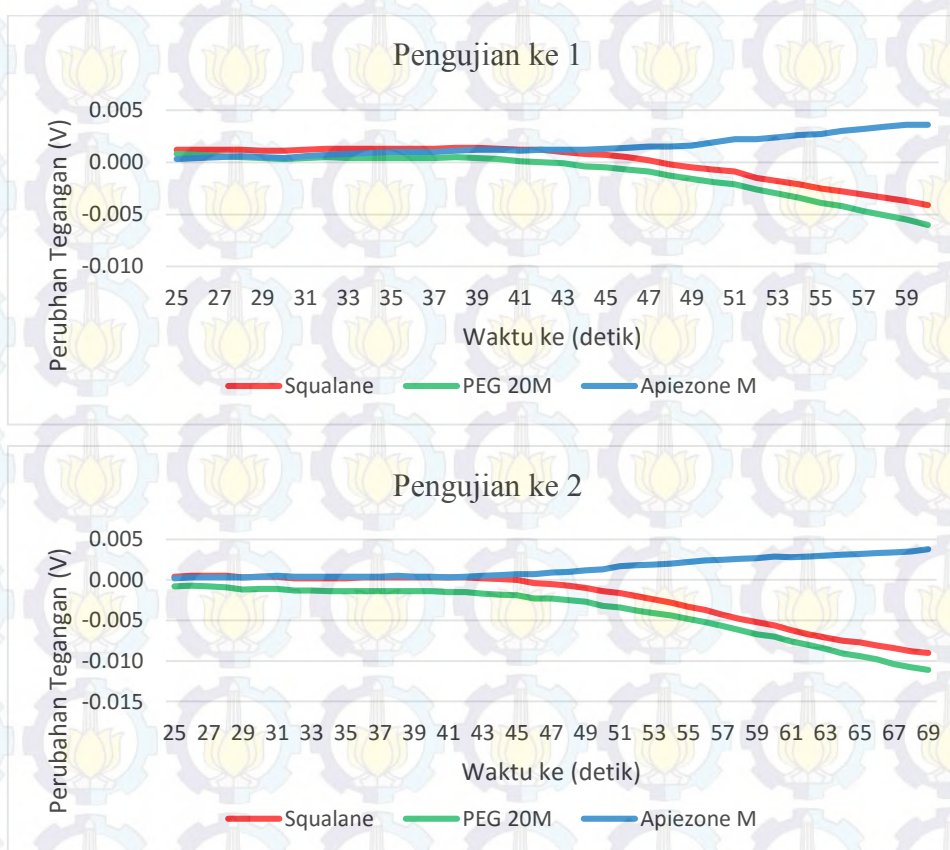


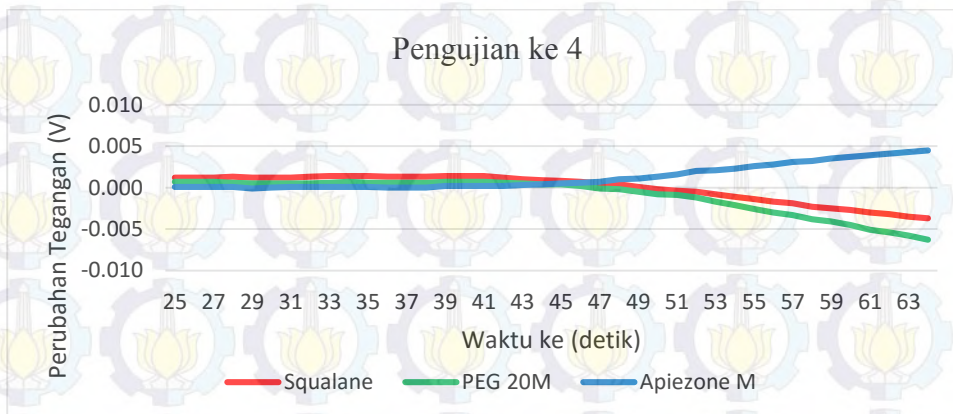
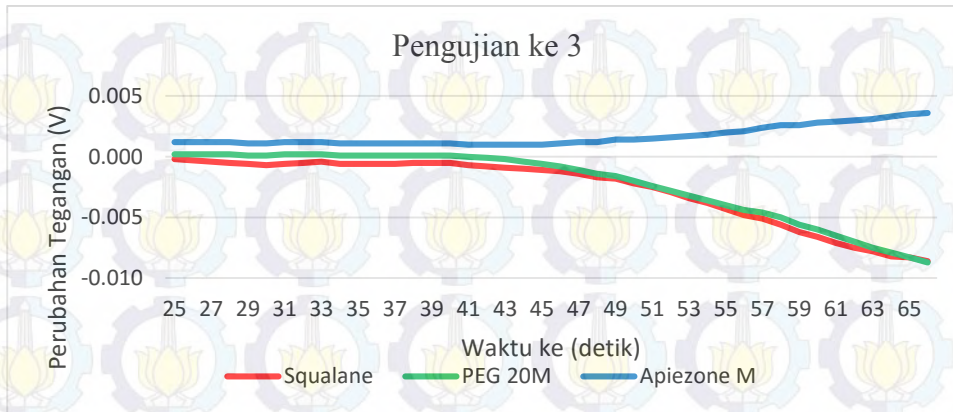




| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 25              | 21      | 26         |
| 2         | 30              | 32      | 24         |
| 3         | 24              | 32      | 36         |
| 4         | 23              | 25      | 35         |
| 5         | 25              | 30      | 21         |
| Rata-rata | 25.4            | 28      | 28.4       |

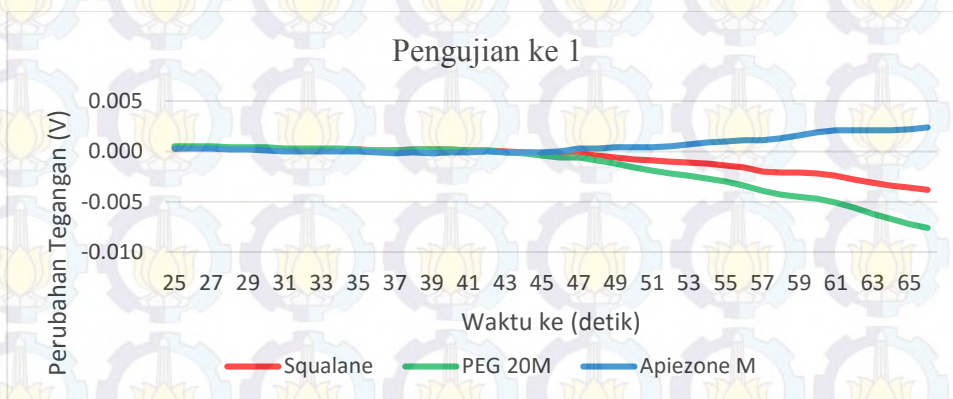
### 4.3 Pengujian Pada Suhu 35°C

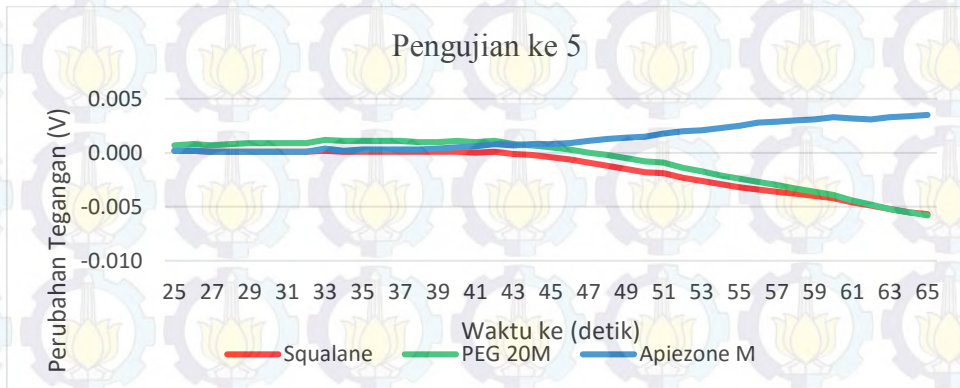
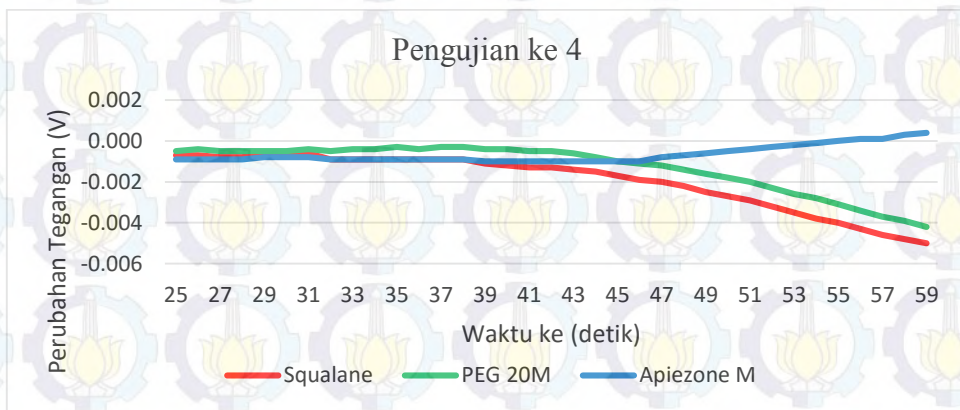
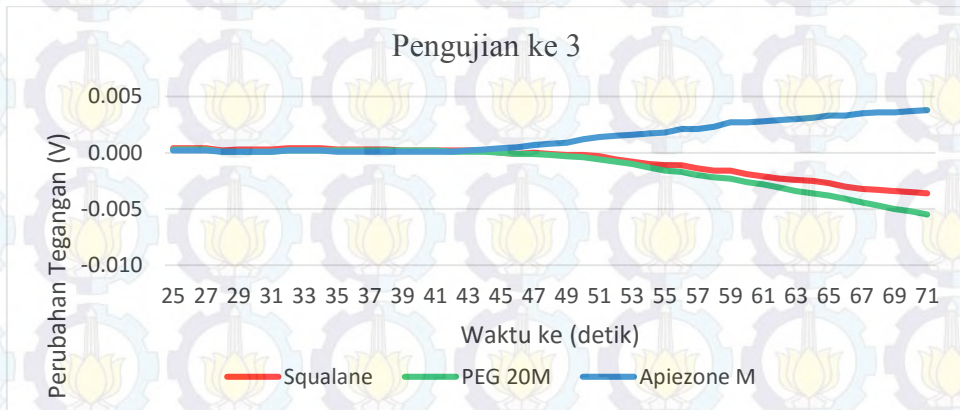
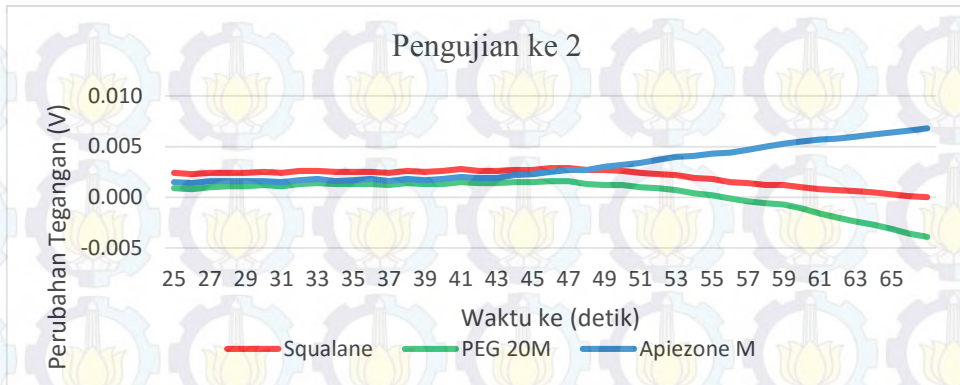




| Pengujian | Lapisan (detik) |             |            |
|-----------|-----------------|-------------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M |
| 1         | 30              | 25          | 31         |
| 2         | 27              | 23          | 39         |
| 3         | 25              | 26          | 35         |
| 4         | 34              | 28          | 31         |
| 5         | 30              | 27          | 34         |
| Rata-rata | <b>29.2</b>     | <b>25.8</b> | <b>34</b>  |

#### 4.4 Pengujian Pada Suhu 40°C

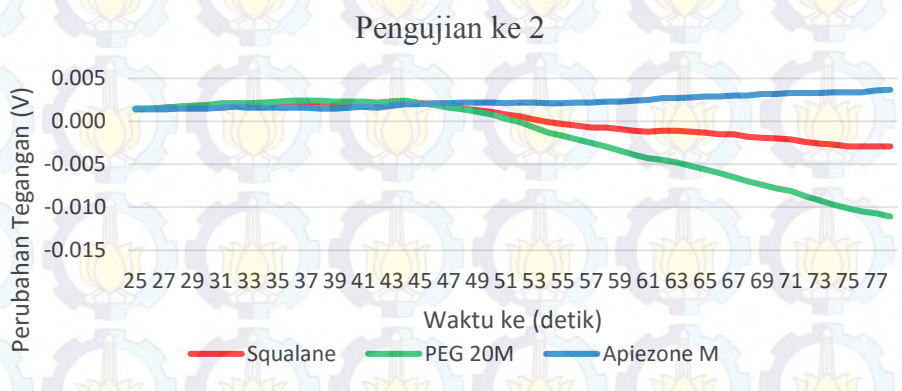
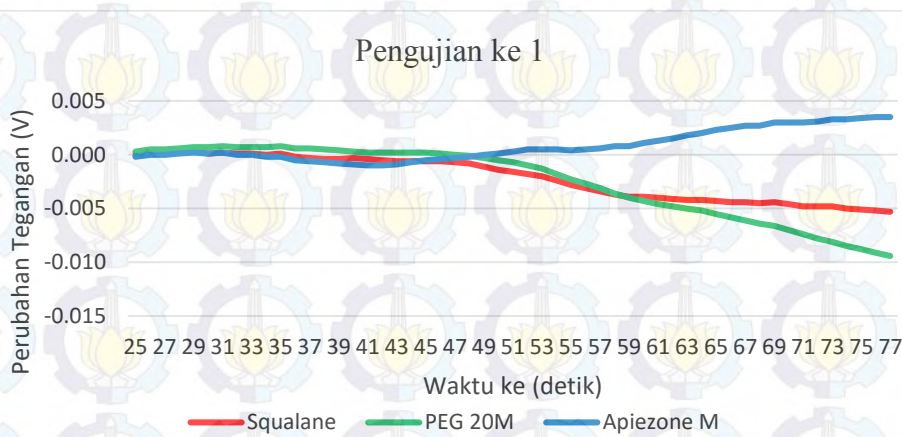




| Pengujian | Lapisan (detik) |
|-----------|-----------------|
| 1         | 25              |
| 2         | 25              |
| 3         | 25              |
| 4         | 25              |
| 5         | 25              |

|           | Squalane    | PEG 20M   | Apiezone M  |
|-----------|-------------|-----------|-------------|
| 1         | 35          | 27        | 45          |
| 2         | 45          | 36        | 22          |
| 3         | 41          | 35        | 41          |
| 4         | 25          | 28        | 45          |
| 5         | 28          | 29        | 40          |
| Rata-rata | <b>34.8</b> | <b>31</b> | <b>38.6</b> |

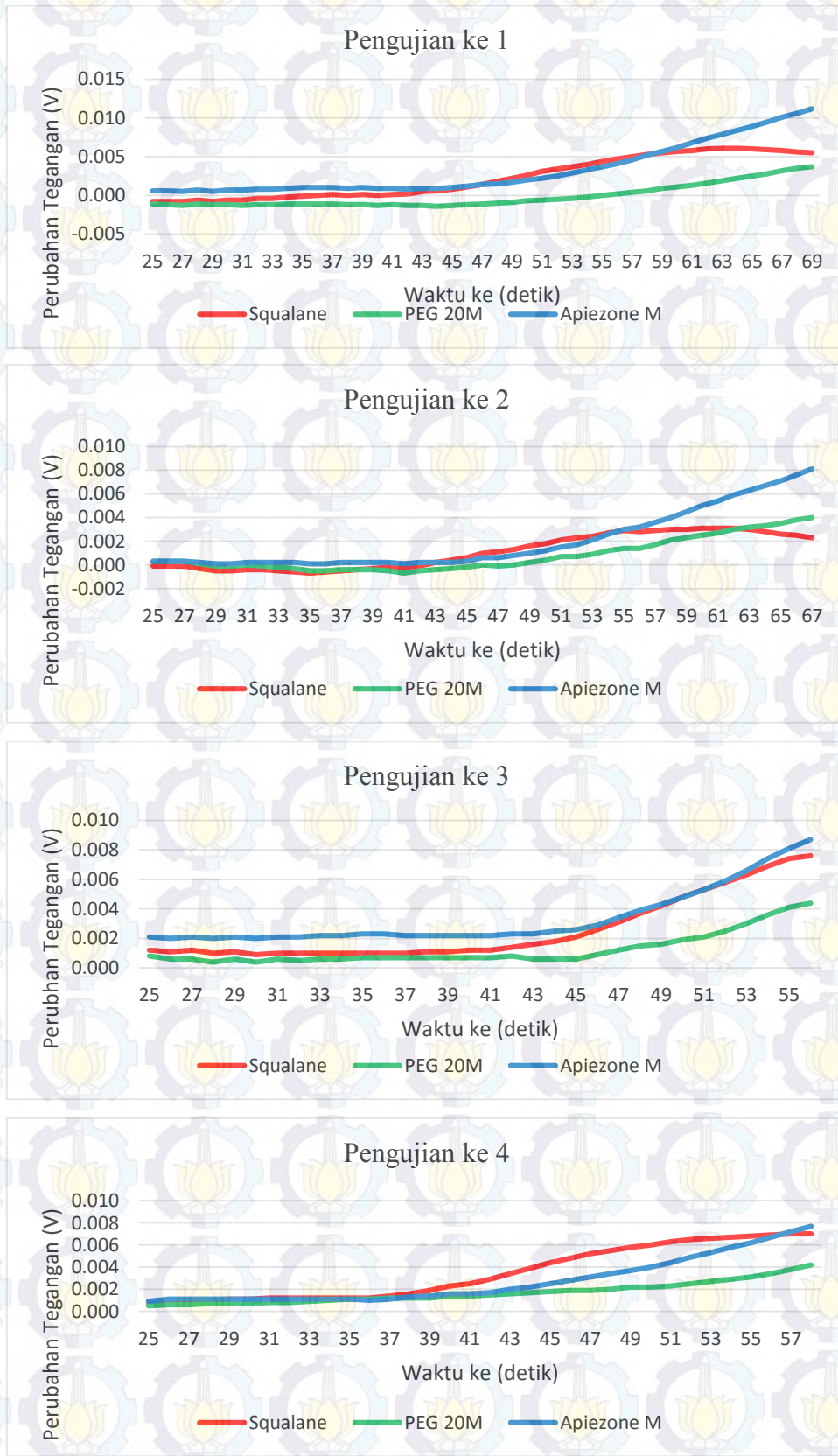
#### 4.5 Pengujian Pada Suhu 45°C

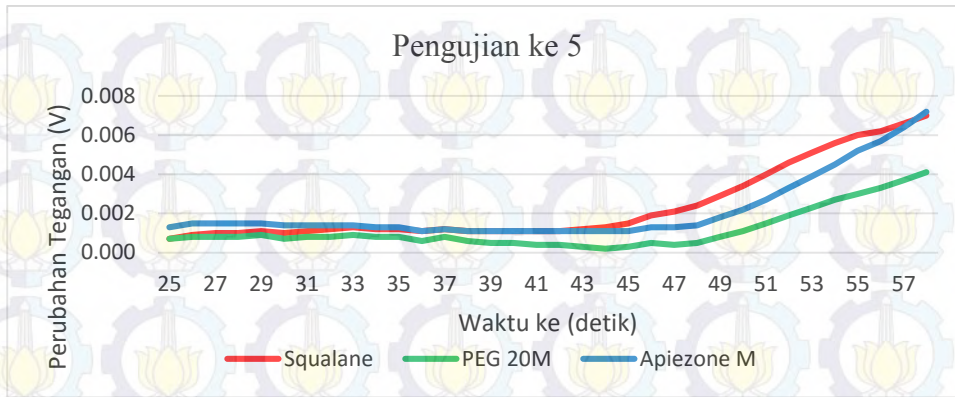


| Pengujian | Lapisan (detik) |             |            |
|-----------|-----------------|-------------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M |
| 1         | 41              | 33          | 39         |
| 2         | 45              | 31          | 43         |
| 3         | 39              | 29          | 40         |
| 4         | 40              | 35          | 37         |
| 5         | 42              | 33          | 41         |
| Rata-rata | <b>41.4</b>     | <b>32.2</b> | <b>40</b>  |

## 5. Pengujian Terhadap Gas Minyak Kayu Putih

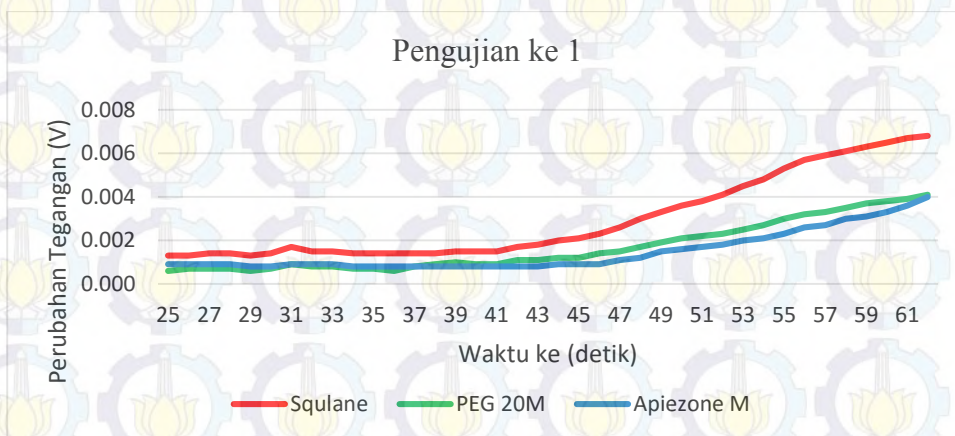
### 5.1 Pengujian Pada Suhu 27°C

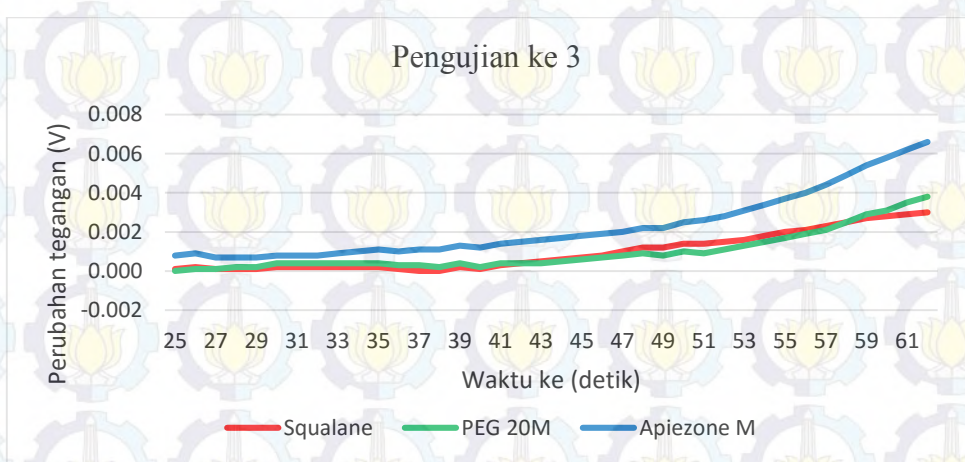
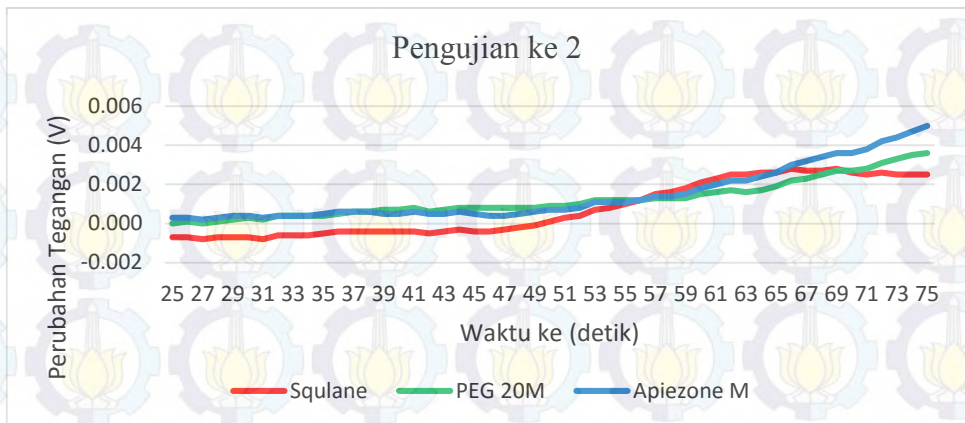




| Pengujian | Lapisan (detik) |             |            |
|-----------|-----------------|-------------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M |
| 1         | 22              | 38          | 27         |
| 2         | 24              | 38          | 28         |
| 3         | 19              | 24          | 18         |
| 4         | 12              | 28          | 19         |
| 5         | 21              | 26          | 23         |
| Rata-rata | <b>19.6</b>     | <b>30.8</b> | <b>23</b>  |

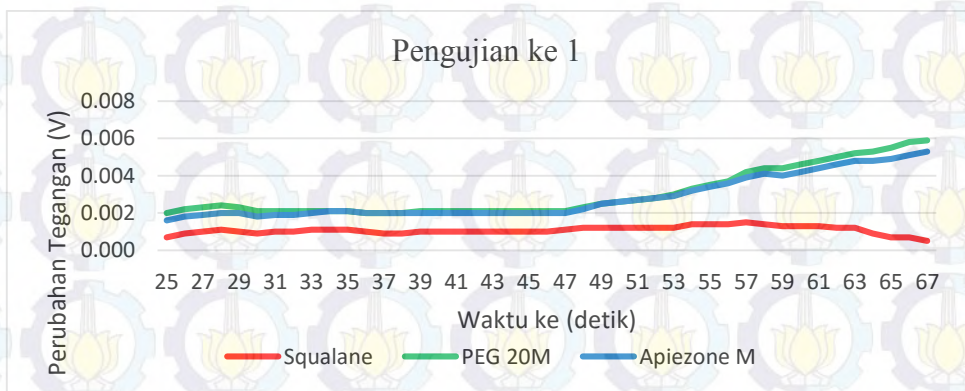
## 5.2 Pengujian Pada Suhu 30°C





| Pengujian | Lapisan (detik) |             |            |
|-----------|-----------------|-------------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M |
| 1         | 22              | 30          | 31         |
| 2         | 33              | 45          | 42         |
| 3         | 33              | 31          | 25         |
| 4         | 35              | 40          | 27         |
| 5         | 37              | 38          | 30         |
| Rata-rata | <b>32</b>       | <b>36.8</b> | <b>31</b>  |

### 5.3 Pengujian Pada Suhu 35°C

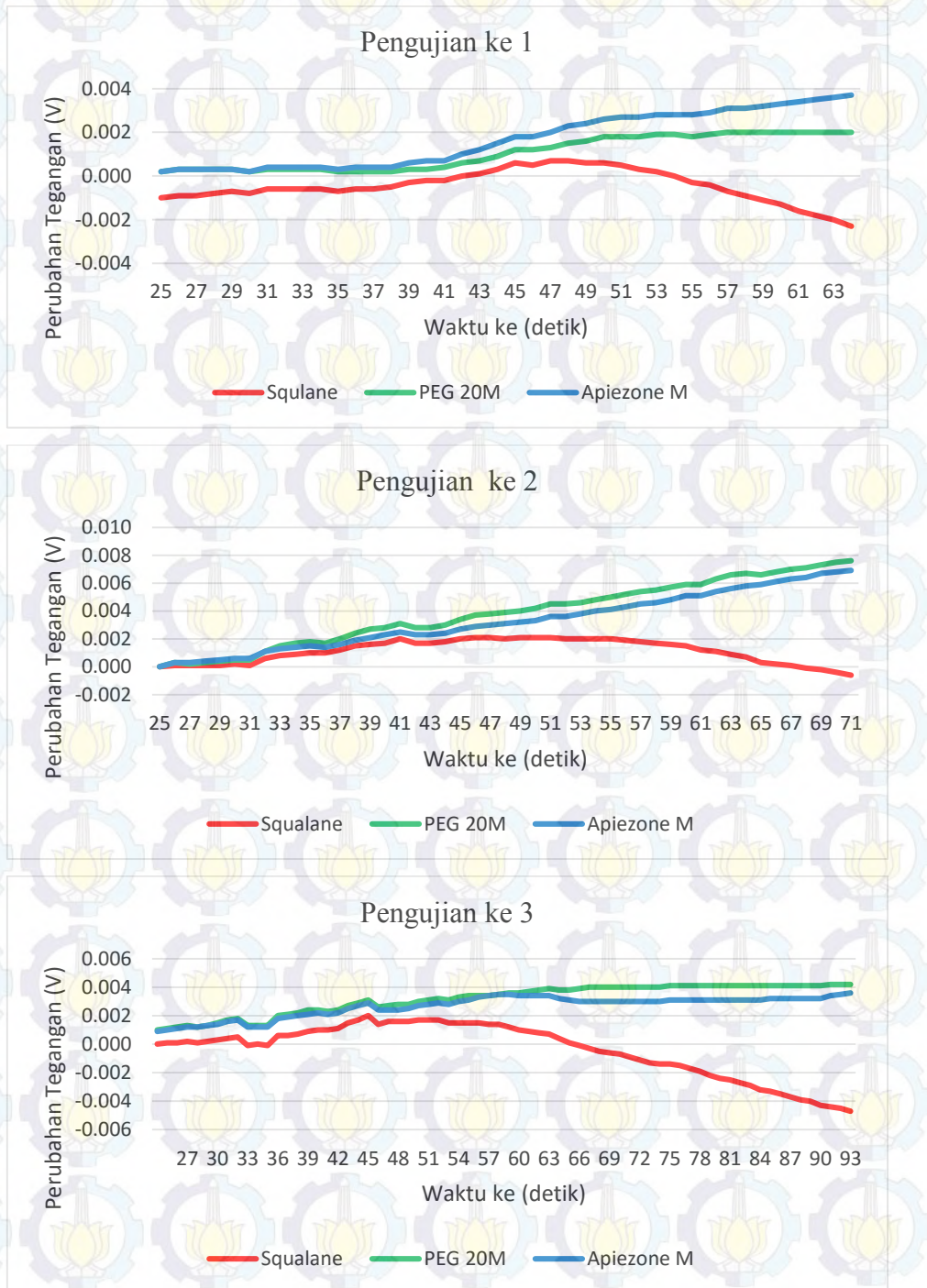


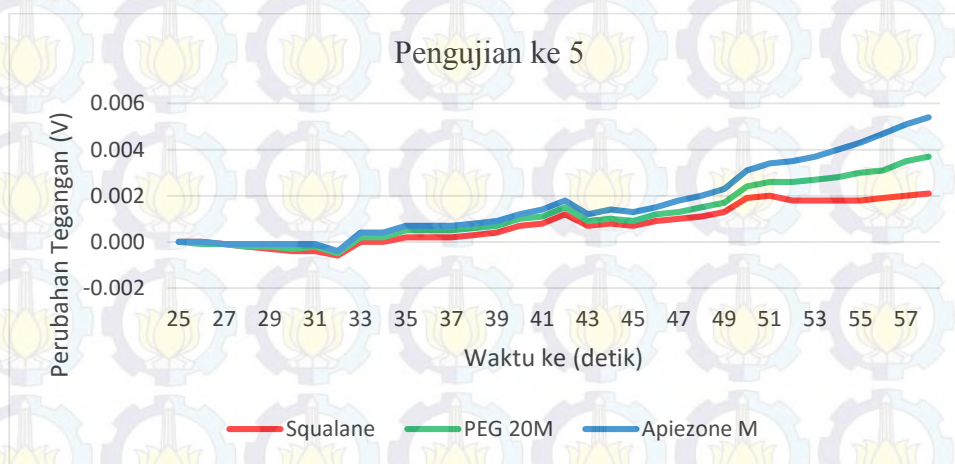
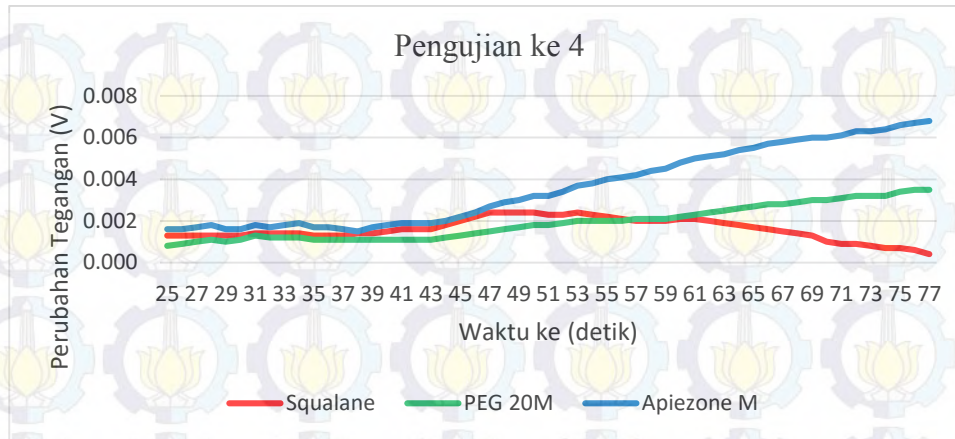




|           | Squalane  | PEG 20M     | Apiezone M  |
|-----------|-----------|-------------|-------------|
| 1         | 37        | 27          | 27          |
| 2         | 25        | 26          | 25          |
| 3         | 31        | 32          | 30          |
| 4         | 40        | 45          | 50          |
| 5         | 47        | 43          | 45          |
| Rata-rata | <b>36</b> | <b>34.6</b> | <b>35.4</b> |

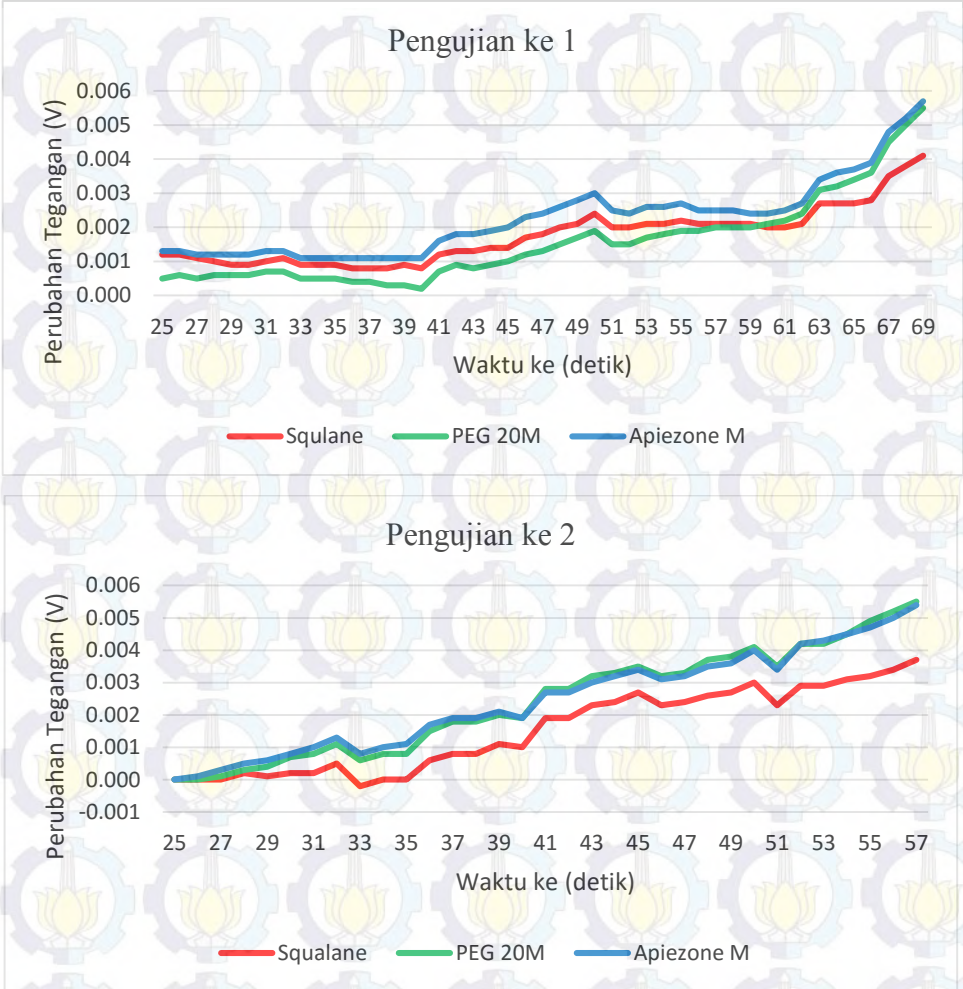
#### 5.4 Pengujian Pada Suhu 40°C





| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 30              | 45          | 33          |
| 2         | 14              | 16          | 25          |
| 3         | 33              | 13          | 13          |
| 4         | 30              | 30          | 24          |
| 5         | 33              | 27          | 24          |
| Rata-rata | <b>28</b>       | <b>26.2</b> | <b>23.8</b> |

### 5.5 Pengujian Pada Suhu 45°C



| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 38              | 37          | 36          |
| 2         | 27              | 20          | 20          |
| 3         | 40              | 45          | 27          |
| 4         | 35              | 40          | 35          |
| 5         | 33              | 37          | 38          |
| Rata-rata | <b>34.6</b>     | <b>35.8</b> | <b>31.2</b> |



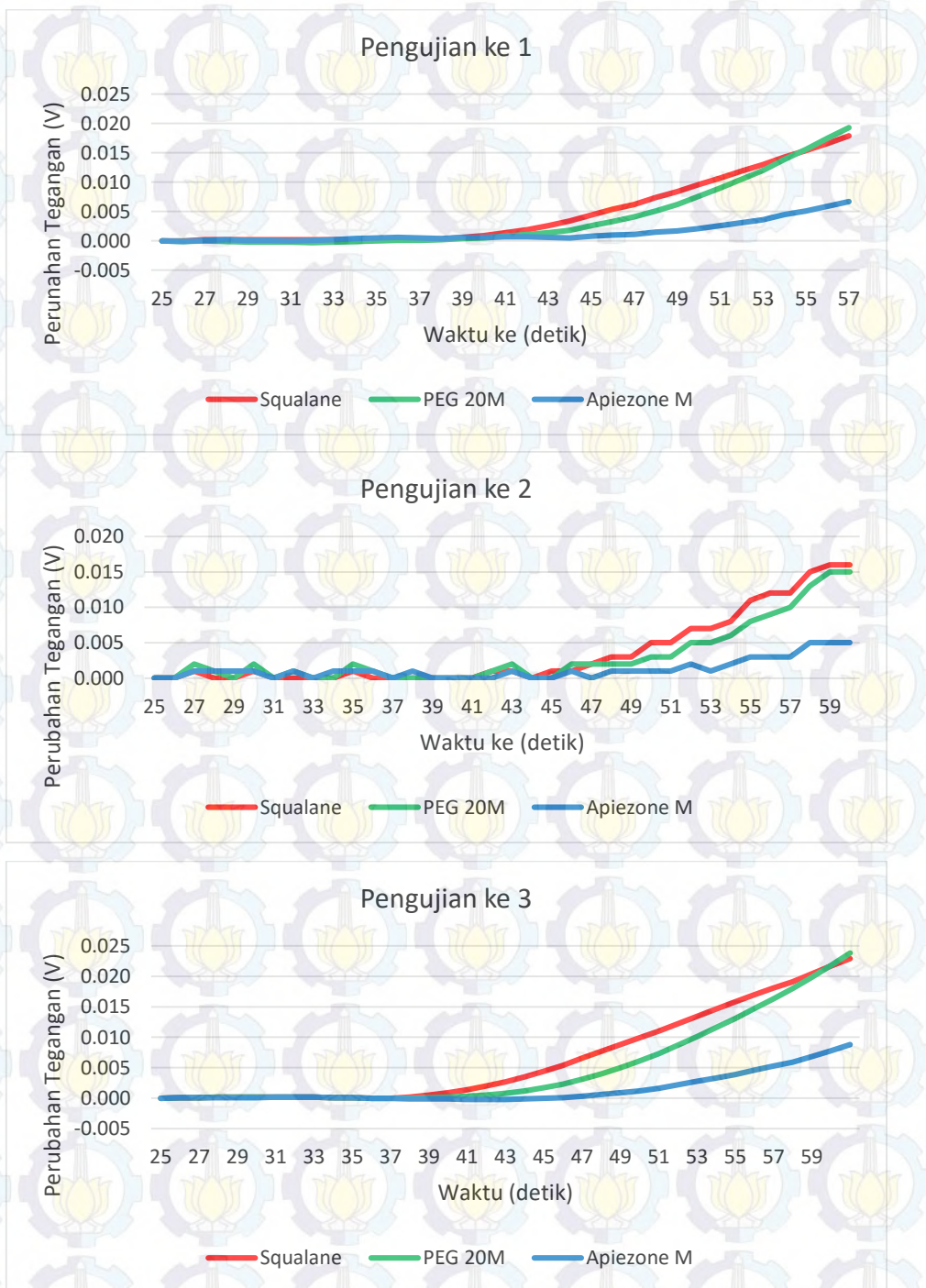
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN 1.H

### Pengujian dengan *Cladding* 3cm

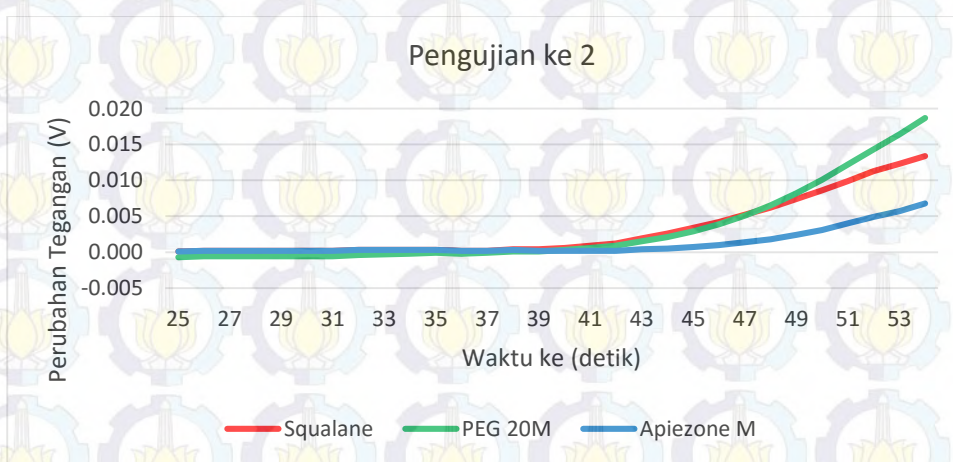
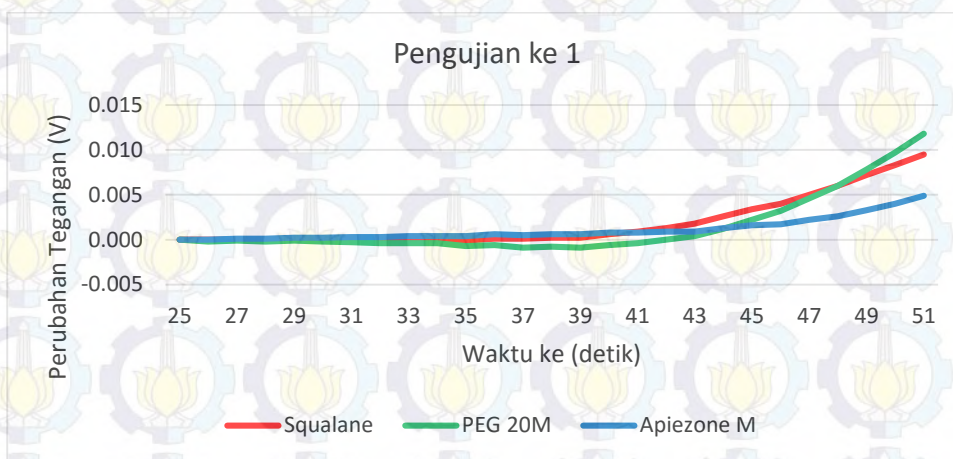
#### 6. Pengujian Terhadap Gas Amonia

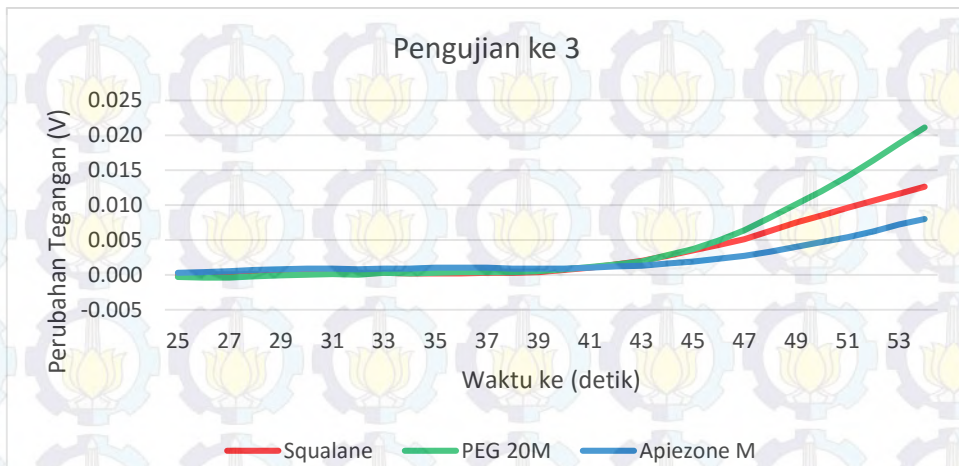
##### 6.1 Pengujian Pada Suhu 27°C



| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 15              | 18          | 24          |
| 2         | 20              | 22          | 28          |
| 3         | 15              | 19          | 26          |
| Rata-rata | <b>16.7</b>     | <b>19.7</b> | <b>26.0</b> |

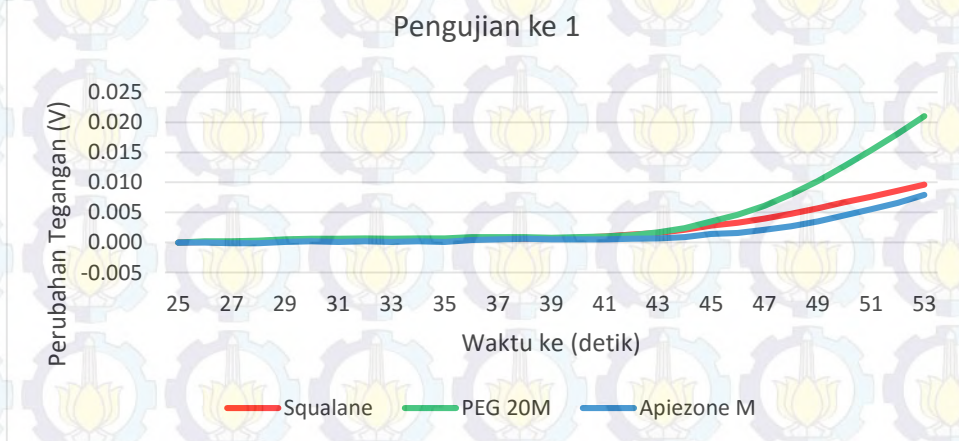
## 6.2 Pengujian Pada Suhu 30°C



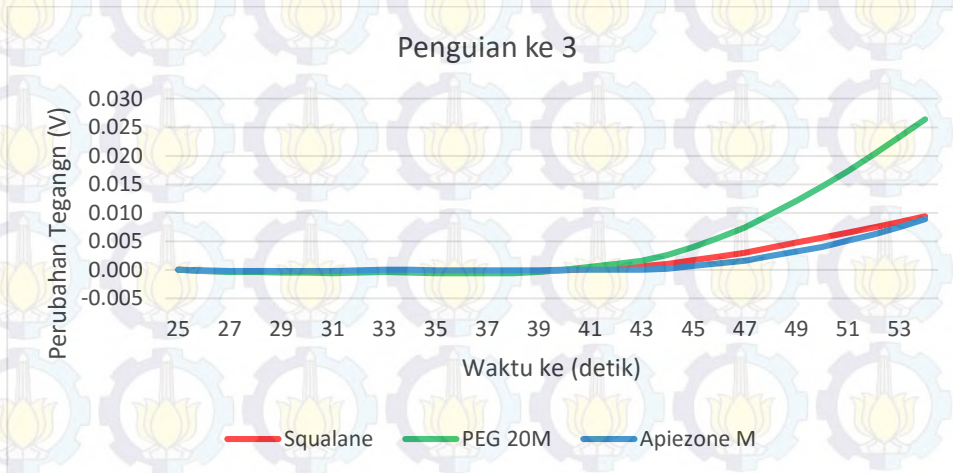
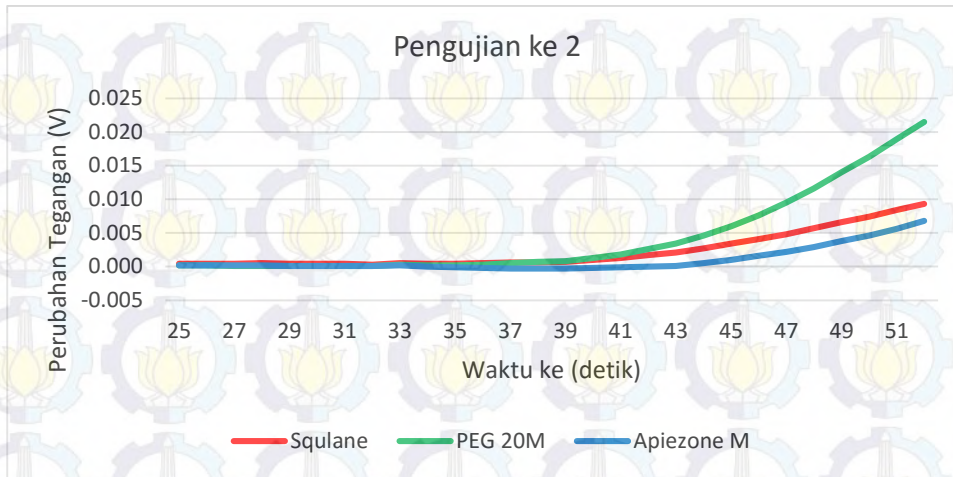


| Pengujian | Lapisan (detik) |             |            |
|-----------|-----------------|-------------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M |
| 1         | 16              | 17          | 20         |
| 2         | 16              | 16          | 20         |
| 3         | 16              | 17          | 20         |
| Rata-rata | <b>16</b>       | <b>16.6</b> | <b>20</b>  |

### 6.3 Pengujian Pada Suhu 35°C

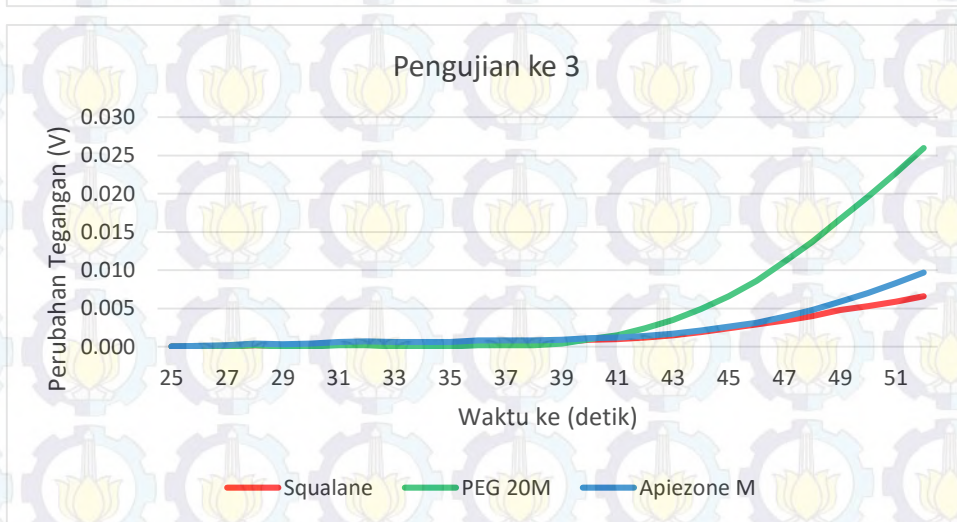
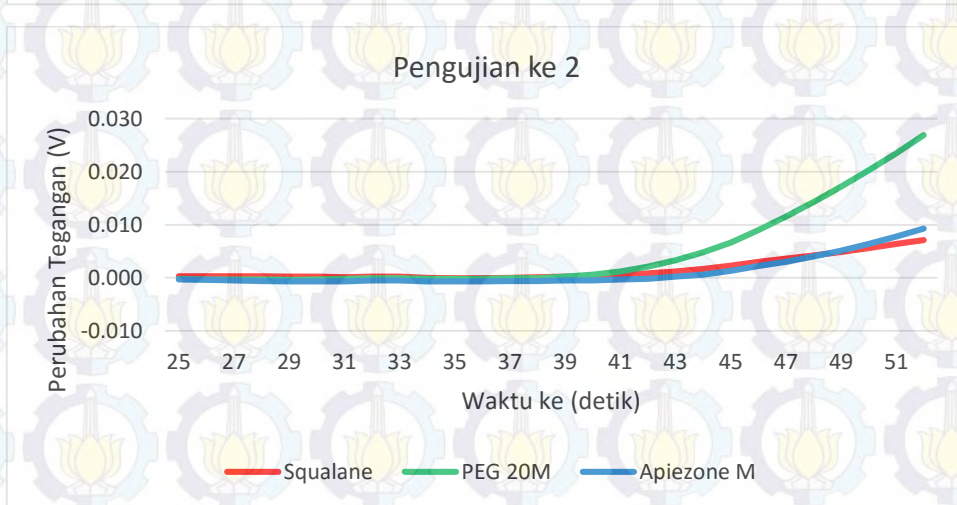
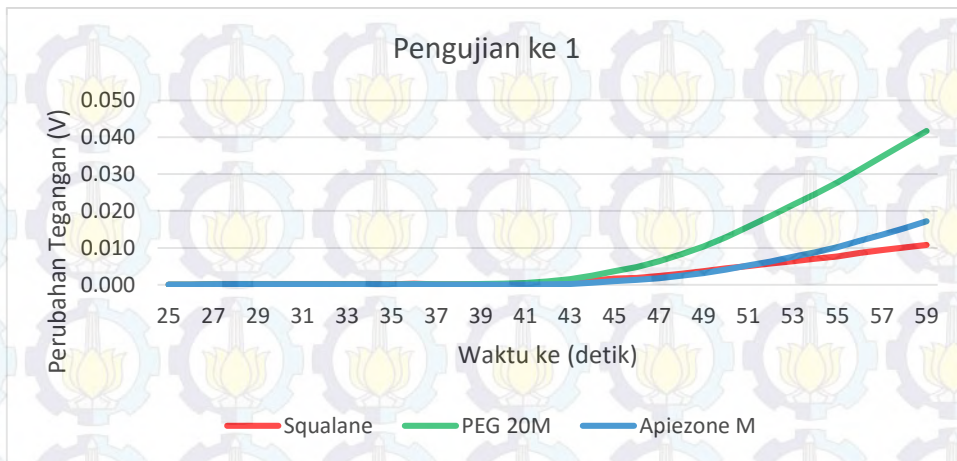






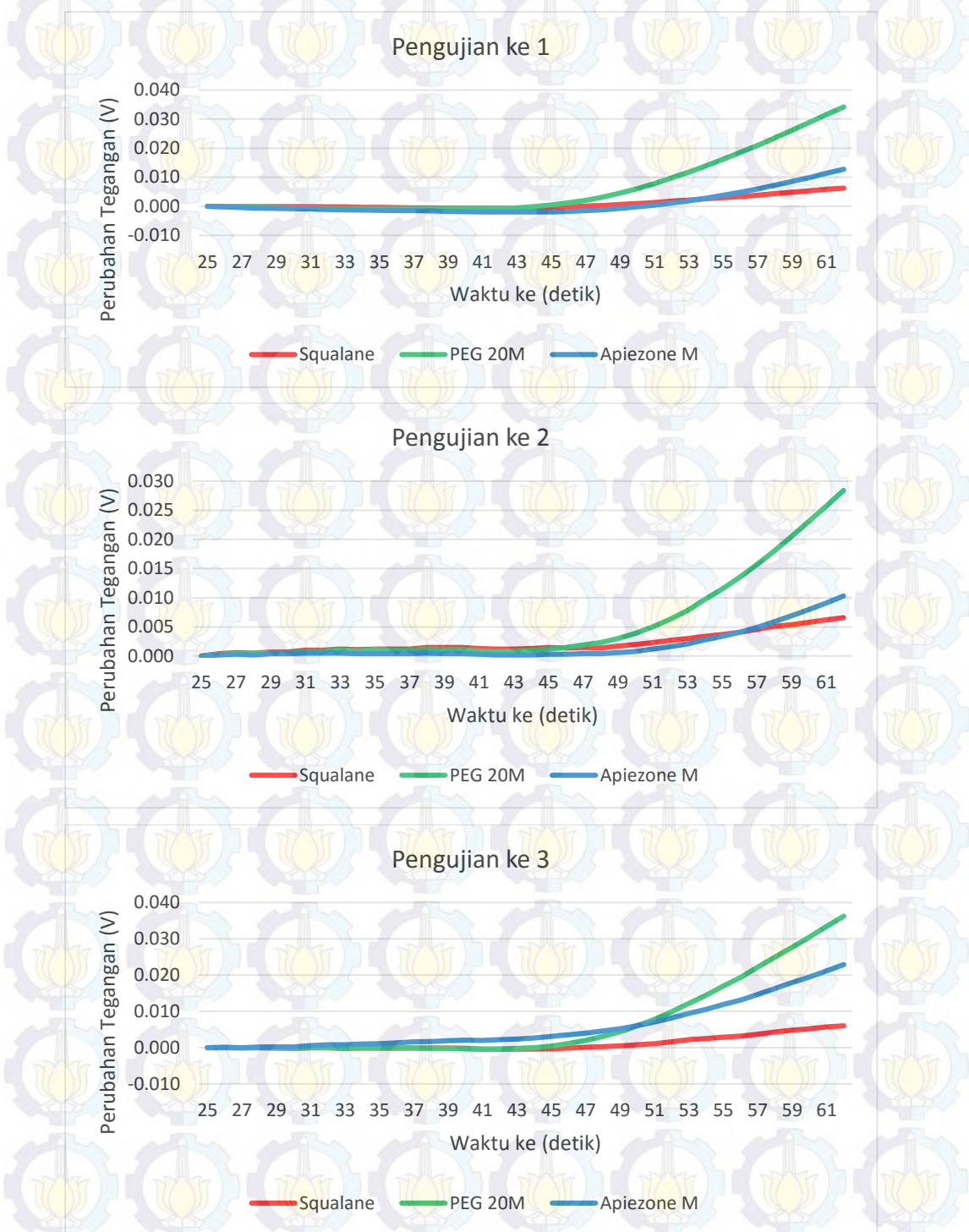
| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 18              | 16          | 20          |
| 2         | 16              | 14          | 20          |
| 3         | 18              | 16          | 21          |
| Rata-rata | <b>17.3</b>     | <b>15.3</b> | <b>20.3</b> |

#### 6.4 Pengujian Pada Suhu 40°C



| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 20              | 18          | 20          |
| 2         | 16              | 12          | 18          |
| 3         | 21              | 14          | 20          |
| Rata-rata | <b>19.0</b>     | <b>14.7</b> | <b>19.3</b> |

## 6.5 Pengujian Pada Suhu 45°C

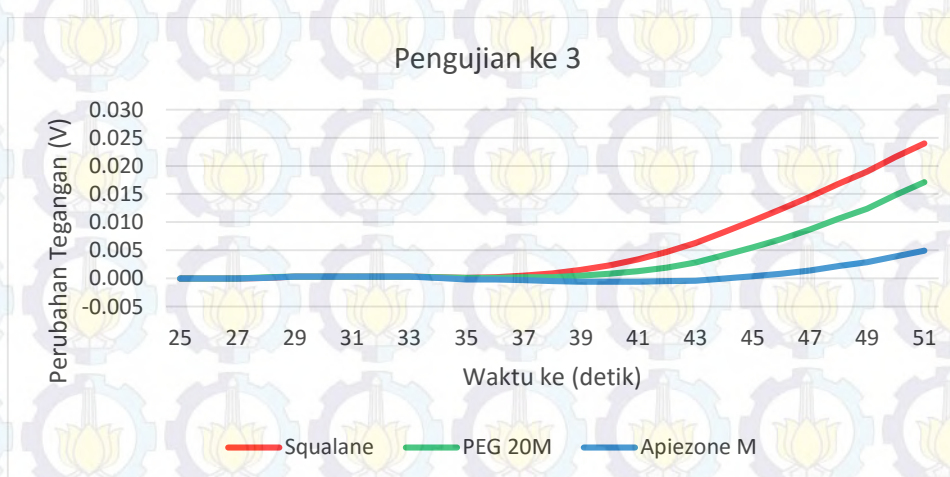
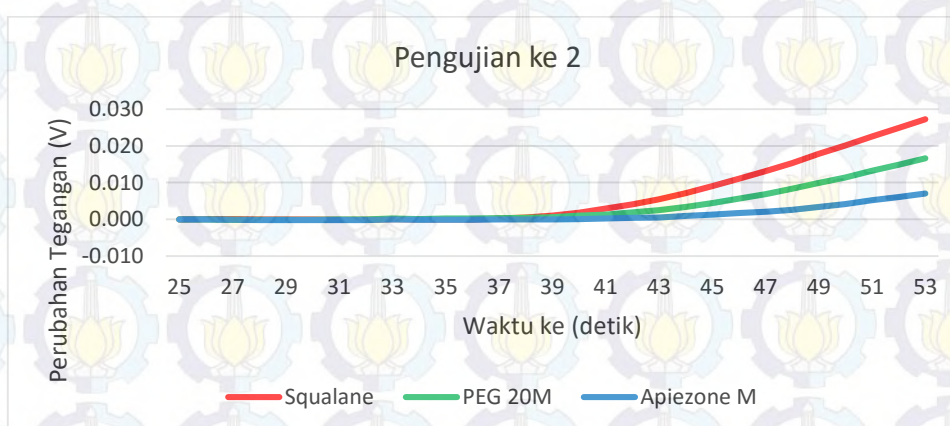
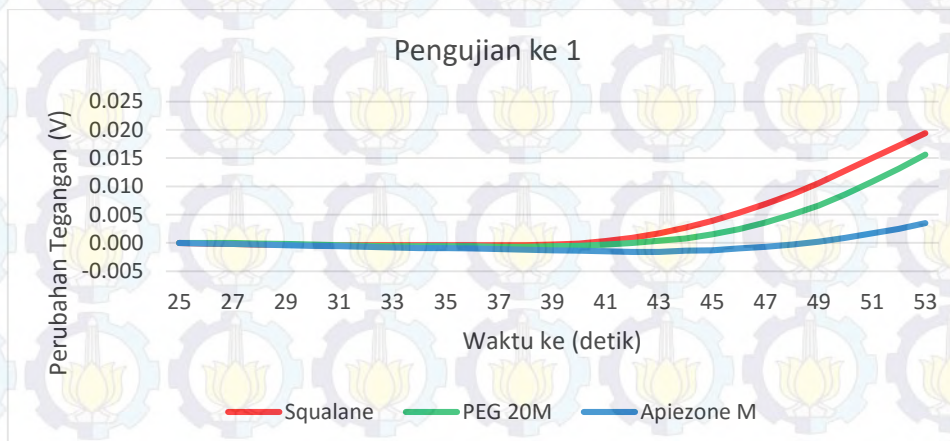


| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 24              | 18      | 25         |
| 2         | 27              | 21      | 26         |
| 3         | 30              | 18      | 19         |

|           |      |      |      |
|-----------|------|------|------|
| Rata-rata | 27.0 | 19.0 | 23.3 |
|-----------|------|------|------|

## 7. Pengujian Terhadap Gas Alkohol

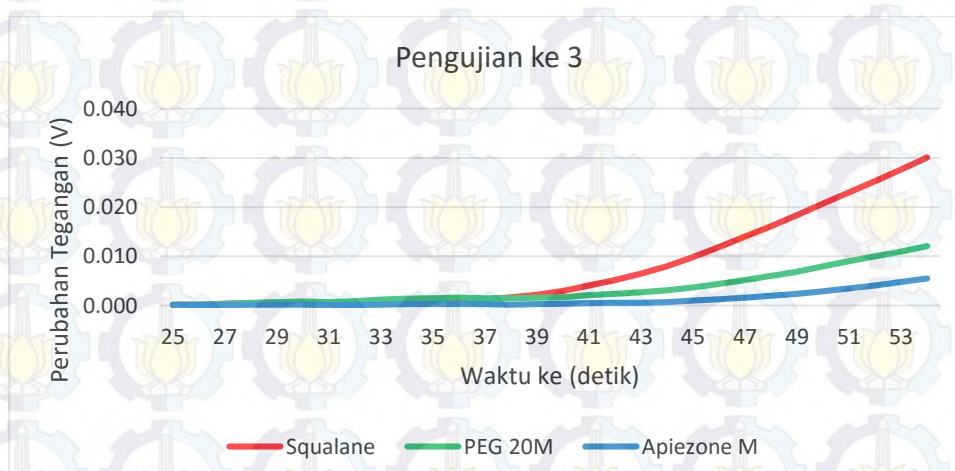
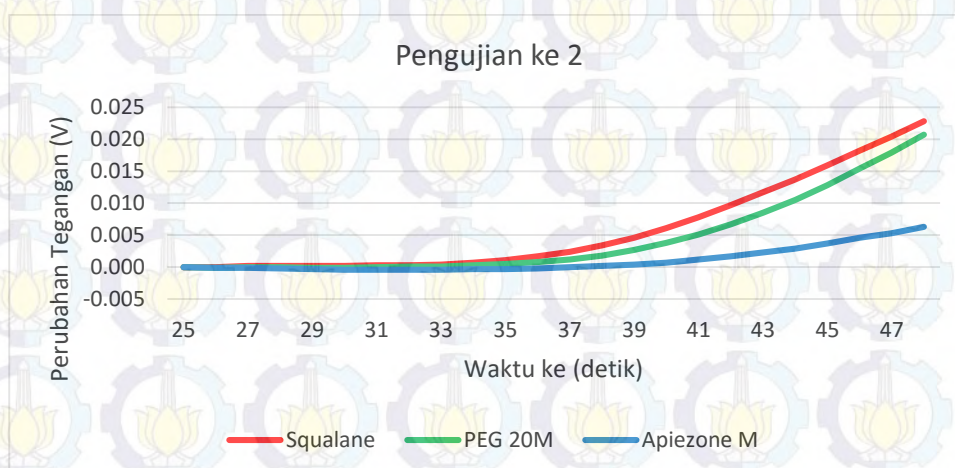
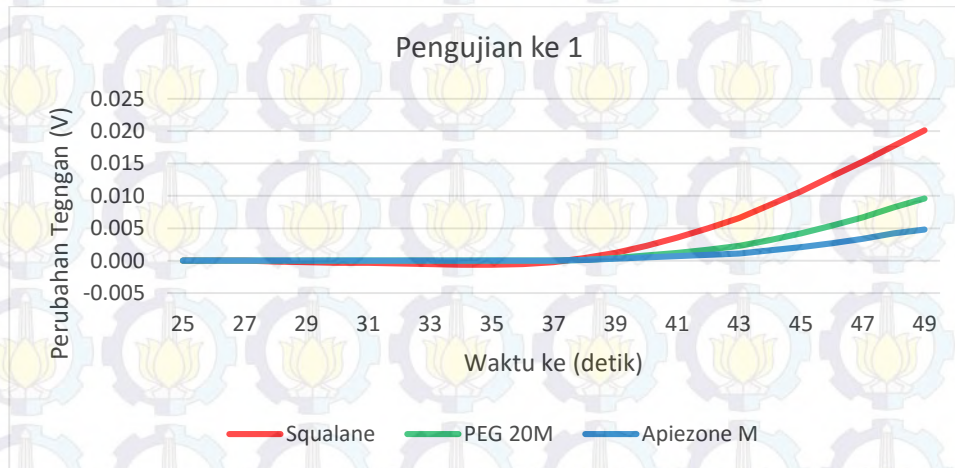
### 7.1 Pengujian Pada Suhu 27°C



| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 15              | 18      | 22         |

|           |      |    |    |
|-----------|------|----|----|
| 2         | 12   | 16 | 21 |
| 3         | 11   | 14 | 20 |
| Rata-rata | 12.7 | 16 | 21 |

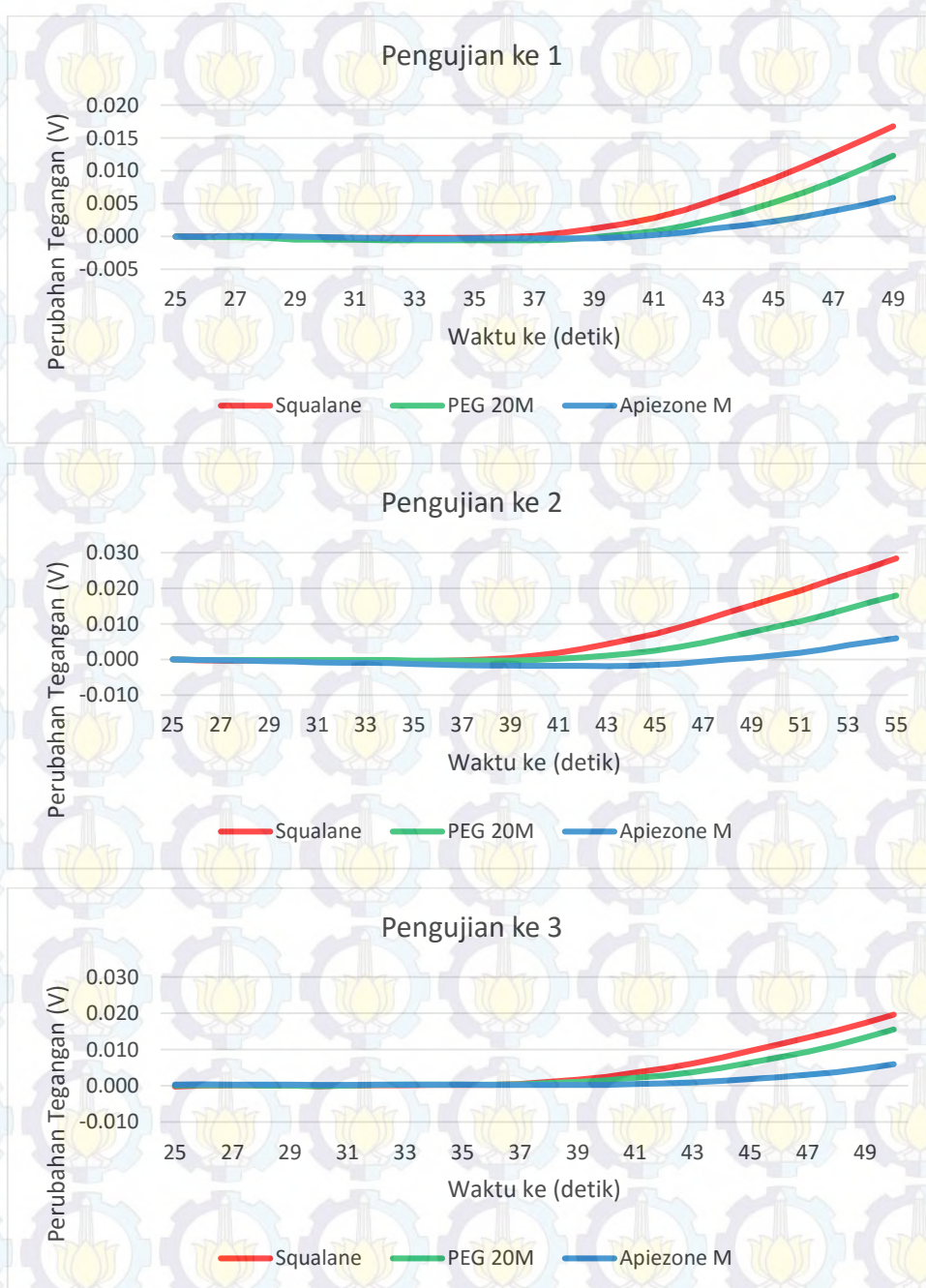
## 7.2 Pengujian Pada Suhu 30°C



|           |                 |
|-----------|-----------------|
| Pengujian | Lapisan (detik) |
|-----------|-----------------|

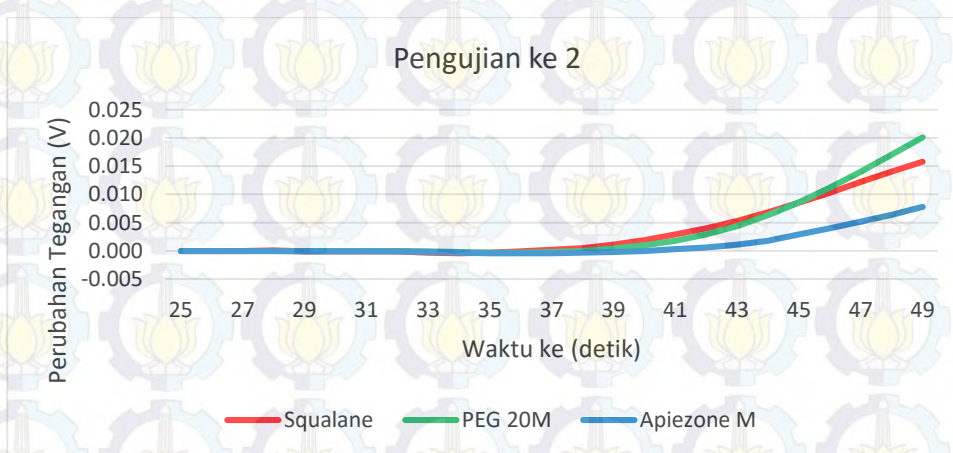
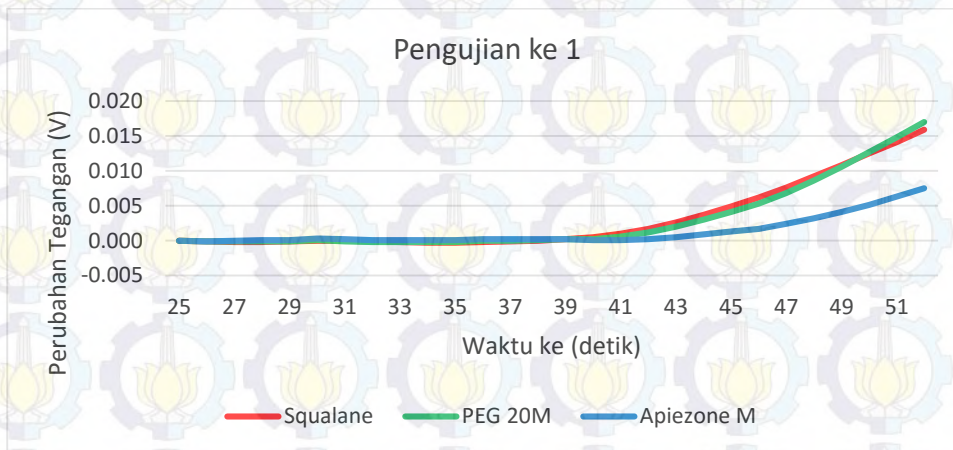
|           | Squalane | PEG 20M | Apiezone M |
|-----------|----------|---------|------------|
| 1         | 12       | 16      | 18         |
| 2         | 8        | 10      | 20         |
| 3         | 10       | 16      | 22         |
| Rata-rata | 10       | 14      | 20         |

### 7.3 Pengujian Pada Suhu 35°C



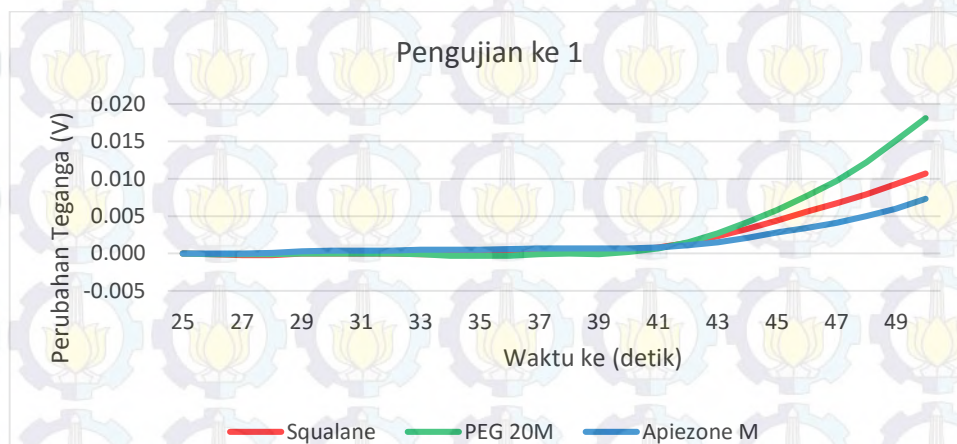
| Pengujian | Lapisan (detik) |           |            |
|-----------|-----------------|-----------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M   | Apiezone M |
| 1         | 12              | 15        | 19         |
| 2         | 12              | 18        | 24         |
| 3         | 13              | 15        | 20         |
| Rata-rata | <b>12.3</b>     | <b>16</b> | <b>21</b>  |

#### 7.4 Pengujian Pada Suhu 40°C



| Pengujian | Lapisan (detik) |             |            |
|-----------|-----------------|-------------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M |
| 1         | 14              | 14          | 20         |
| 2         | 12              | 13          | 16         |
| 3         | 13              | 14          | 21         |
| Rata-rata | <b>13</b>       | <b>13.7</b> | <b>19</b>  |

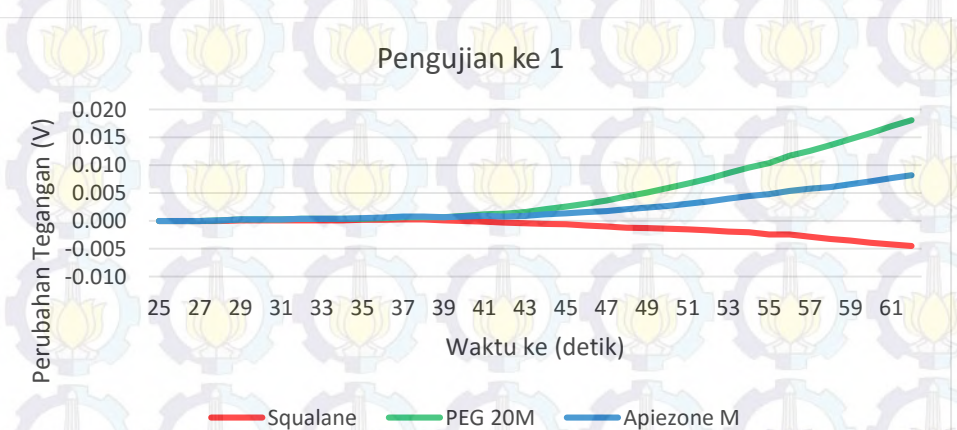
## 7.5 Pengujian Pada Suhu 45°C



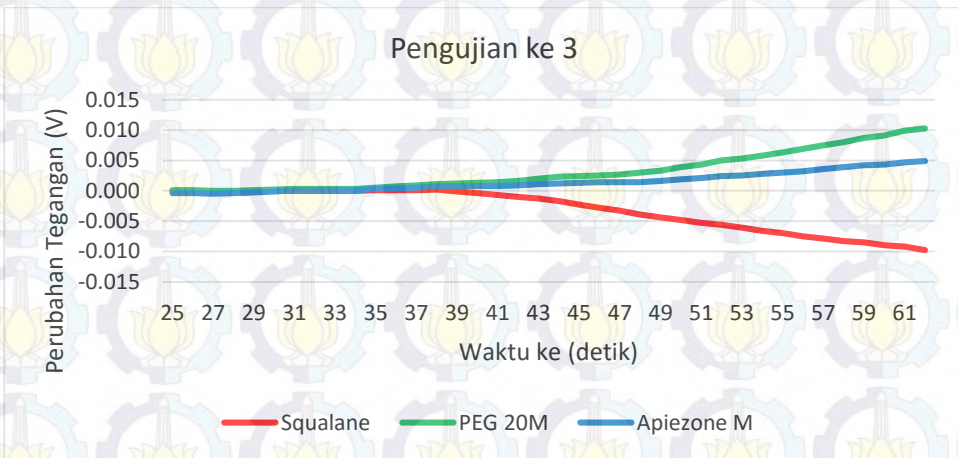
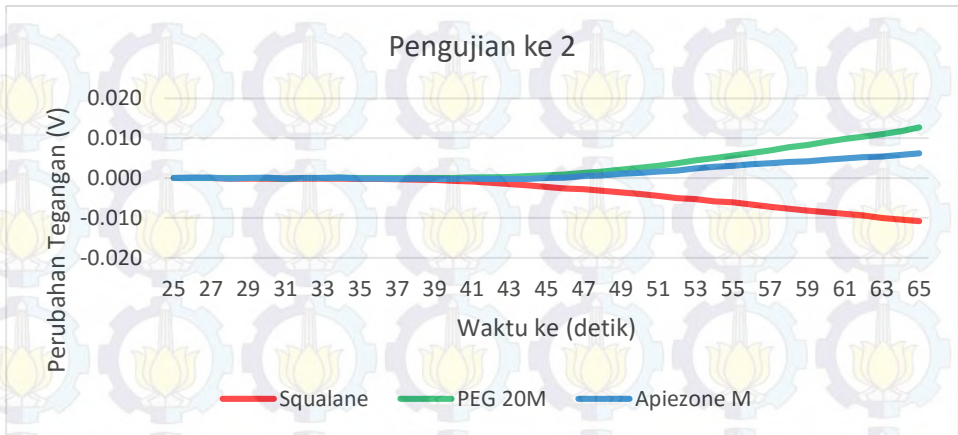
| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 15              | 14      | 17         |
| 2         | 16              | 14      | 18         |
| 3         | 15              | 16      | 18         |
| Rata-rata | 15.3            | 14.7    | 17.7       |

## 8. Pengujian Terhadap Gas Bensin

### 8.1 Pengujian Pada Suhu 27°C

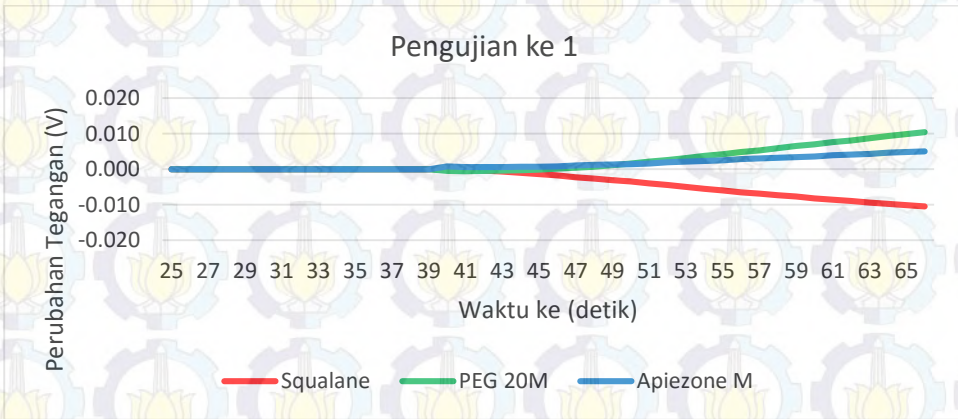


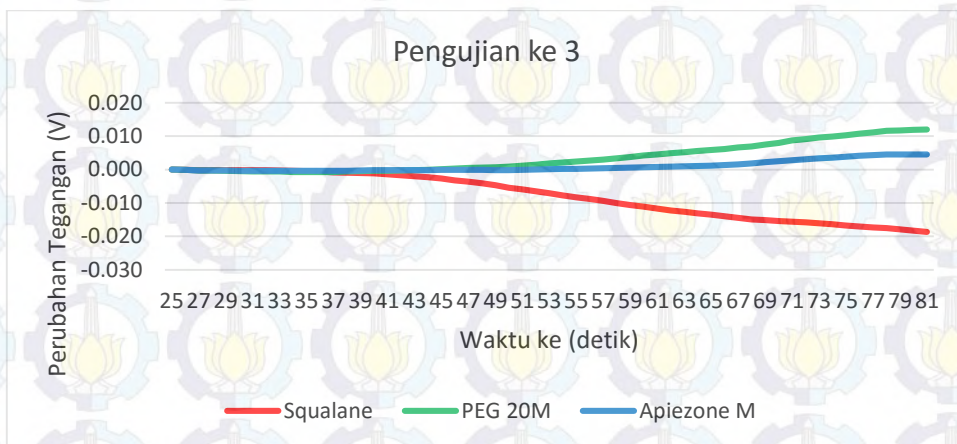
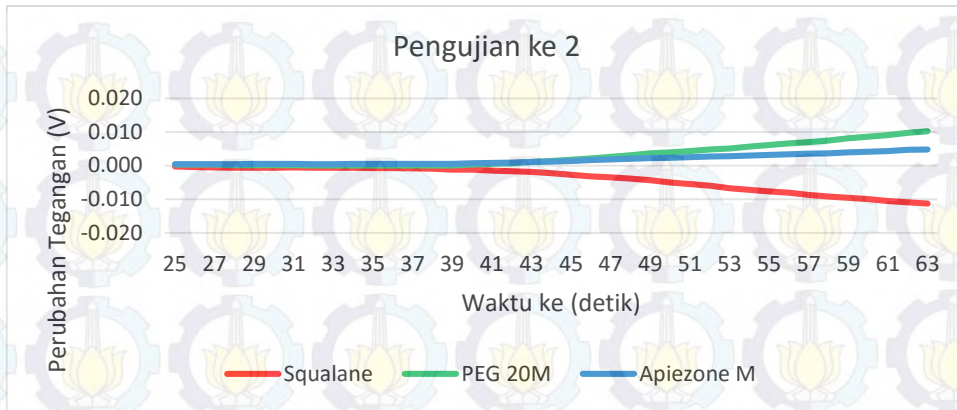




| Pengujian | Lapisan (detik) |             |            |
|-----------|-----------------|-------------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M |
| 1         | 30              | 18          | 24         |
| 2         | 20              | 30          | 40         |
| 3         | 18              | 23          | 29         |
| Rata-rata | <b>22.7</b>     | <b>23.7</b> | <b>31</b>  |

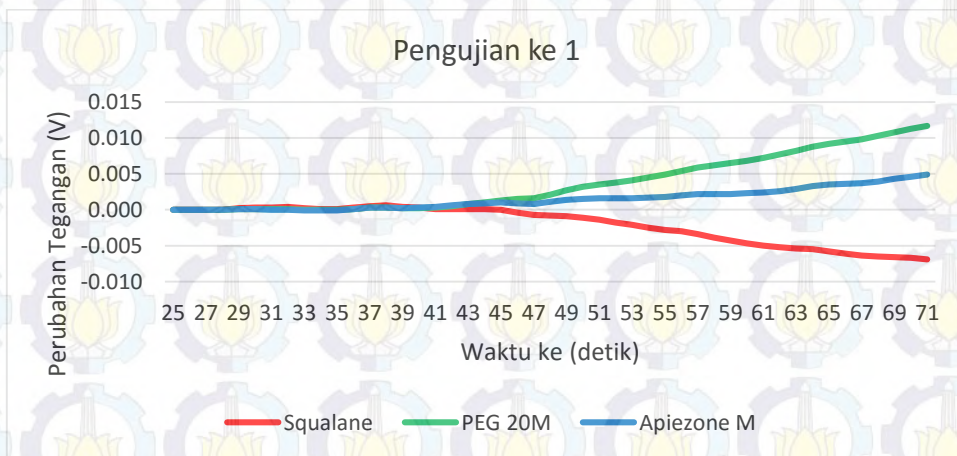
### 8.2 Pengujian Pada Suhu 30°C

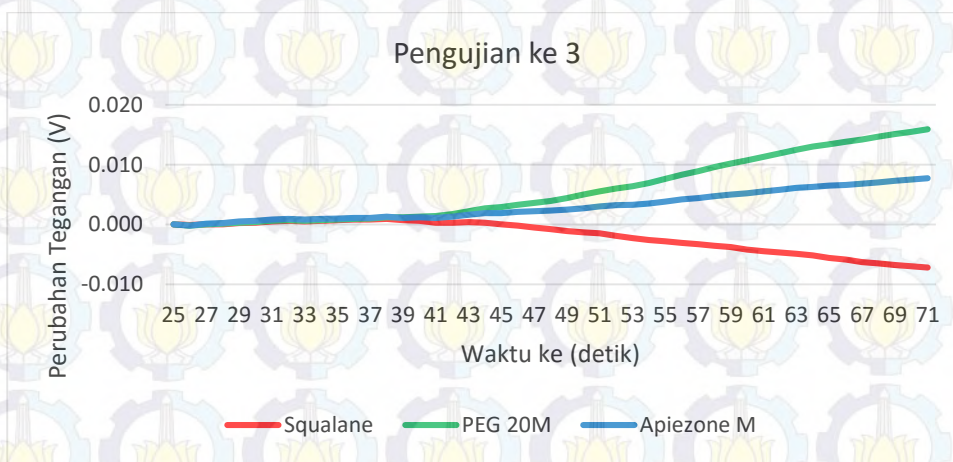
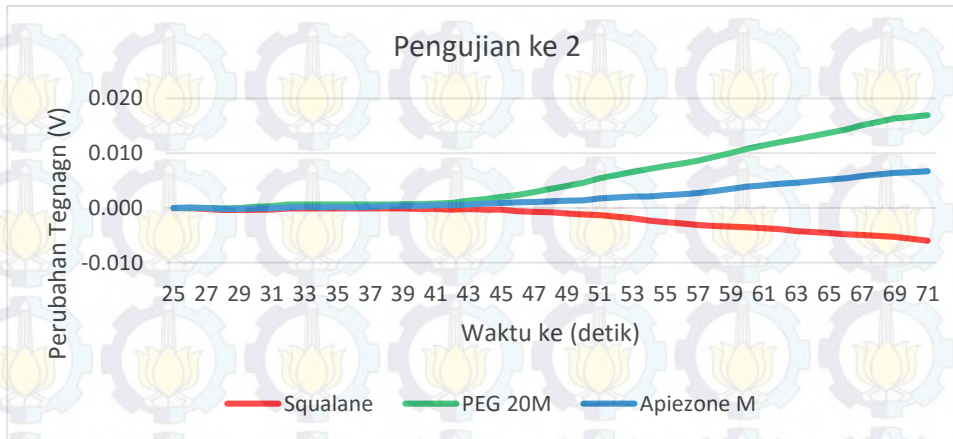




| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 20              | 25      | 30         |
| 2         | 19              | 25      | 32         |
| 3         | 17              | 27      | 43         |
| Rata-rata | 18.7            | 25.7    | 35         |

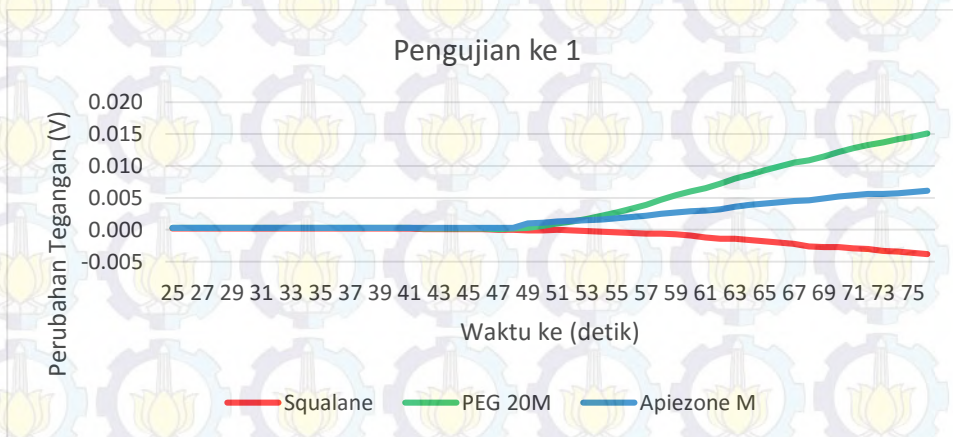
### 8.3 Pengujian Pada Suhu 35°C

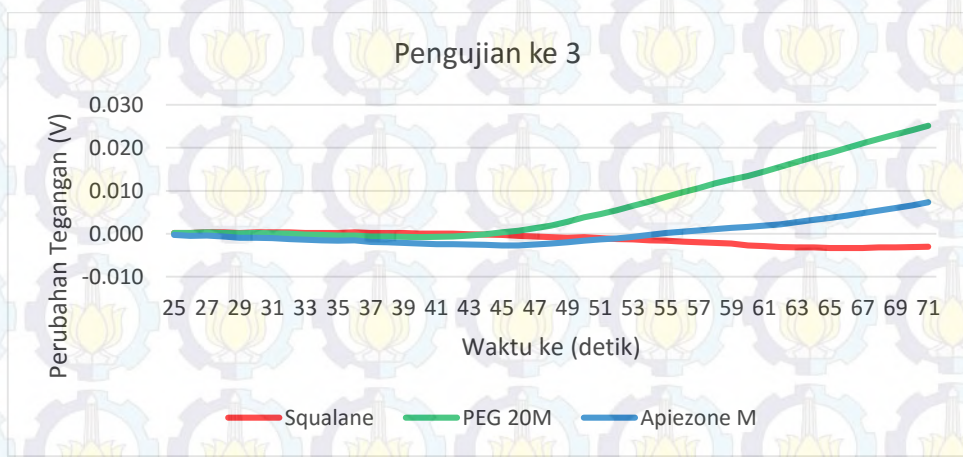
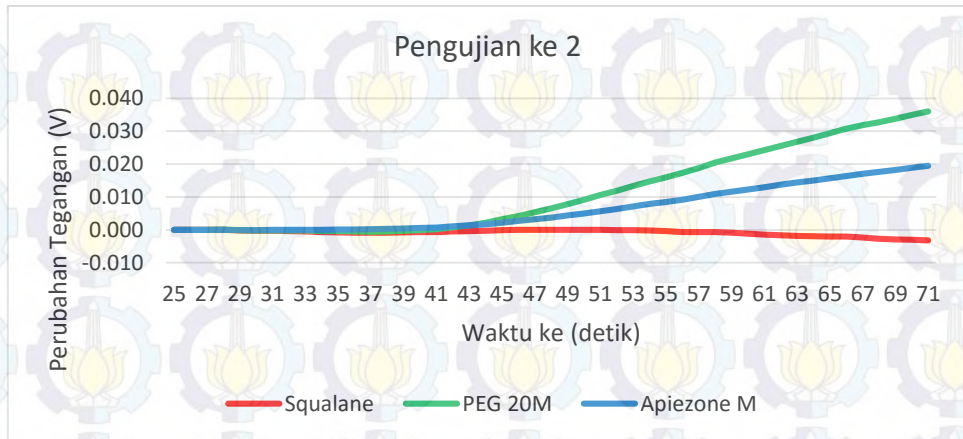




| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 30              | 22      | 40         |
| 2         | 35              | 22      | 43         |
| 3         | 33              | 21      | 43         |
| Rata-rata | 32.7            | 21.7    | 42         |

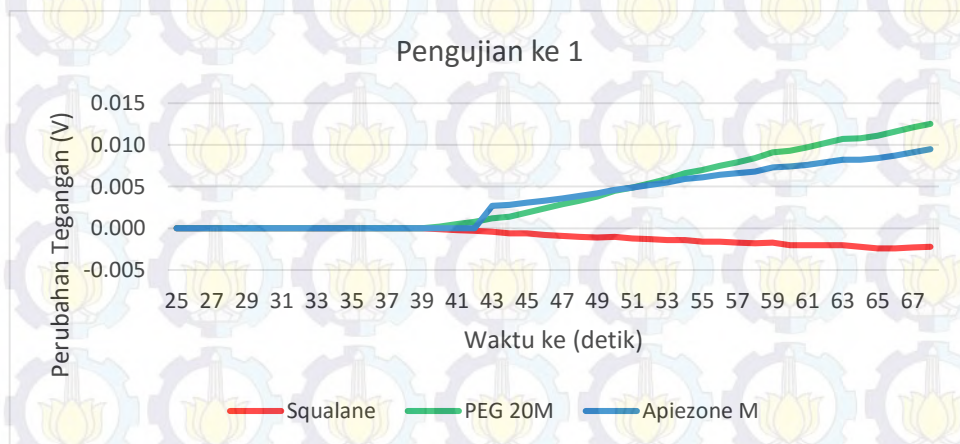
#### 8.4 Pengujian Pada Suhu 40°C

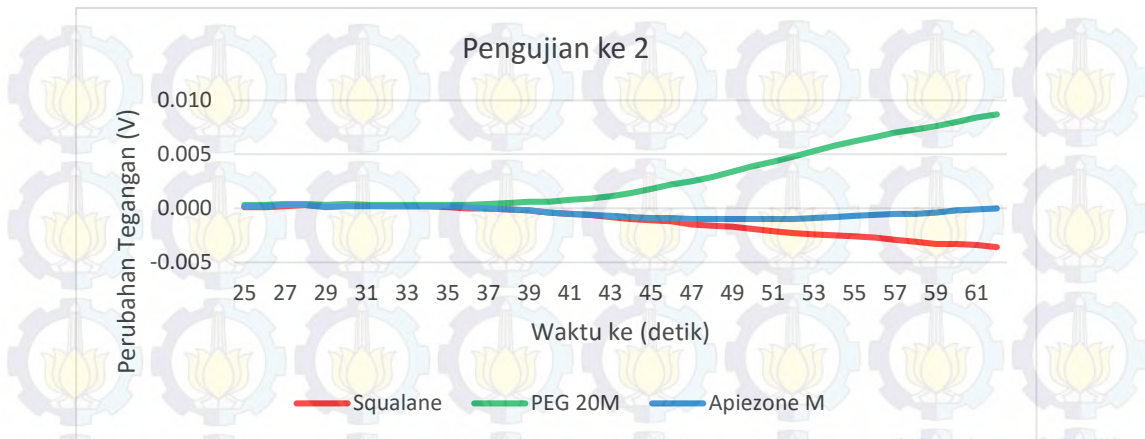




| Pengujian | Lapisan (detik) |           |            |
|-----------|-----------------|-----------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M   | Apiezone M |
| 1         | 50              | 28        | 45         |
| 2         | 50              | 27        | 29         |
| 3         | 50              | 20        | 40         |
| Rata-rata | <b>50</b>       | <b>25</b> | <b>38</b>  |

### 8.5 Pengujian Pada Suhu 45°C

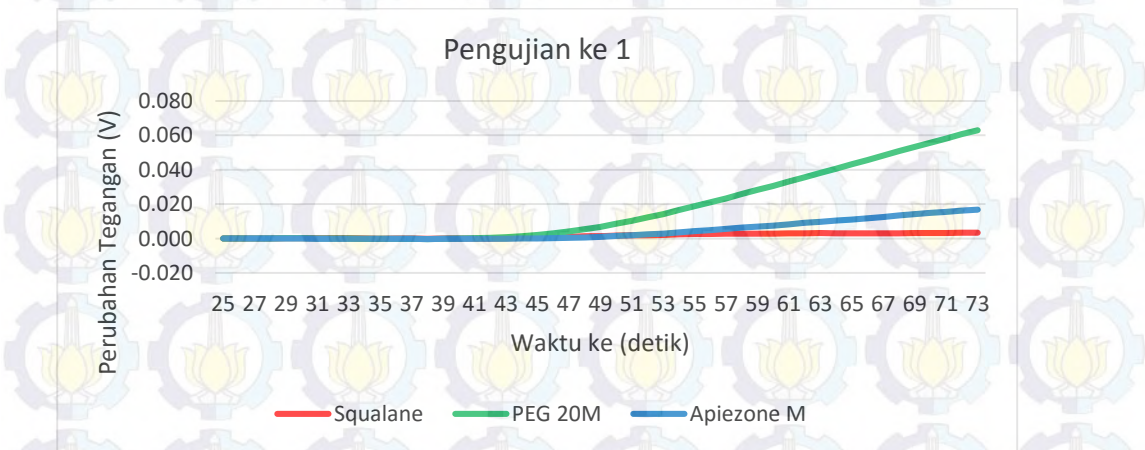


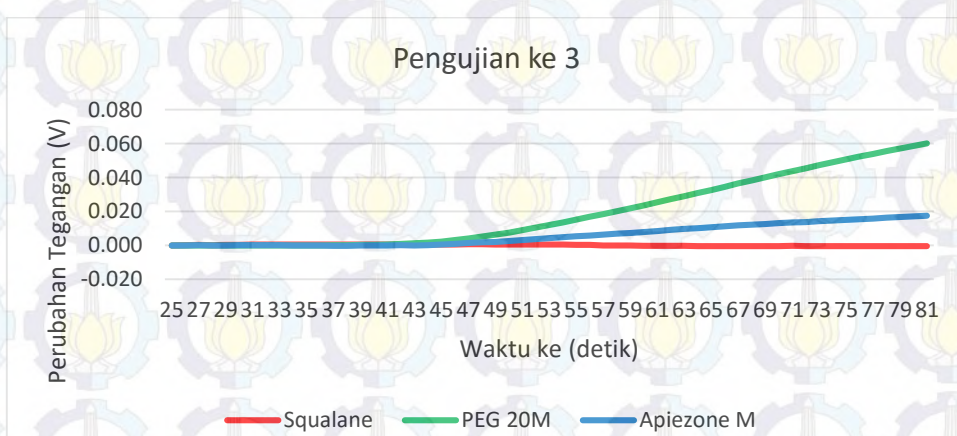
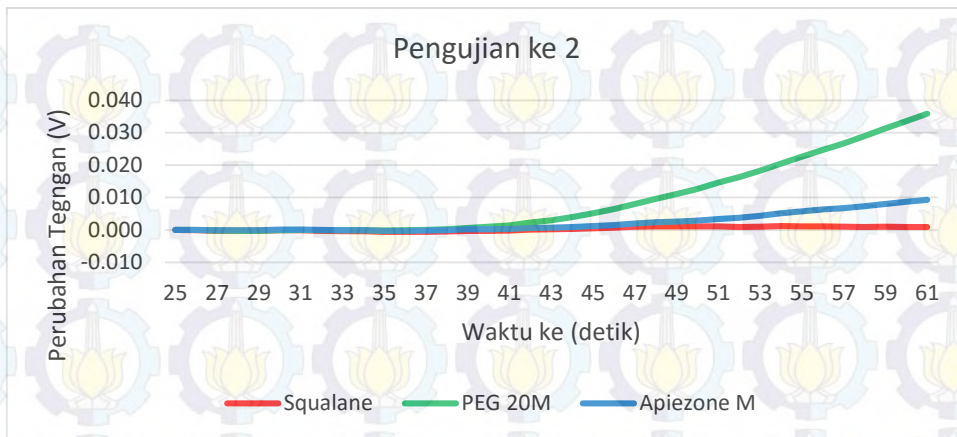


| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 45              | 20      | 20         |
| 2         | 45              | 22      | 45         |
| 3         | 45              | 20      | 35         |
| Rata-rata | 45              | 20.7    | 33.3       |

## 9. Pengujian Terhadap Gas Chloroform

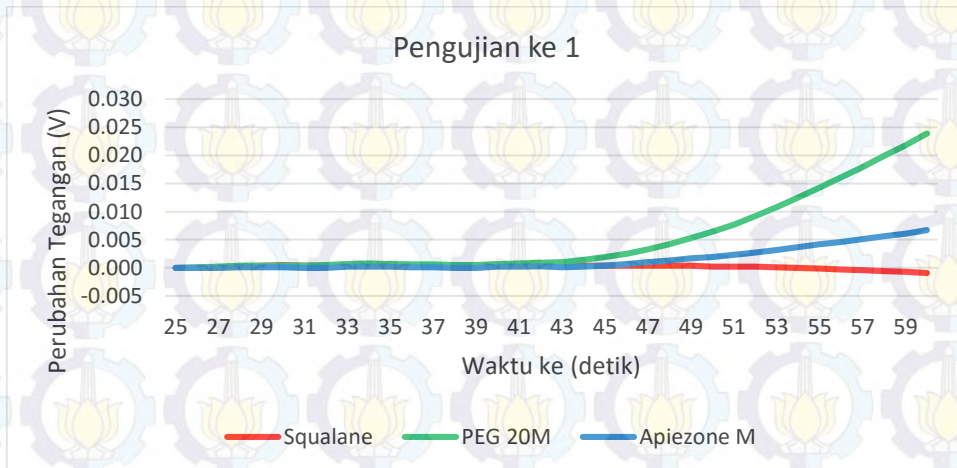
### 9.1 Pengujian Pada Suhu 27°C

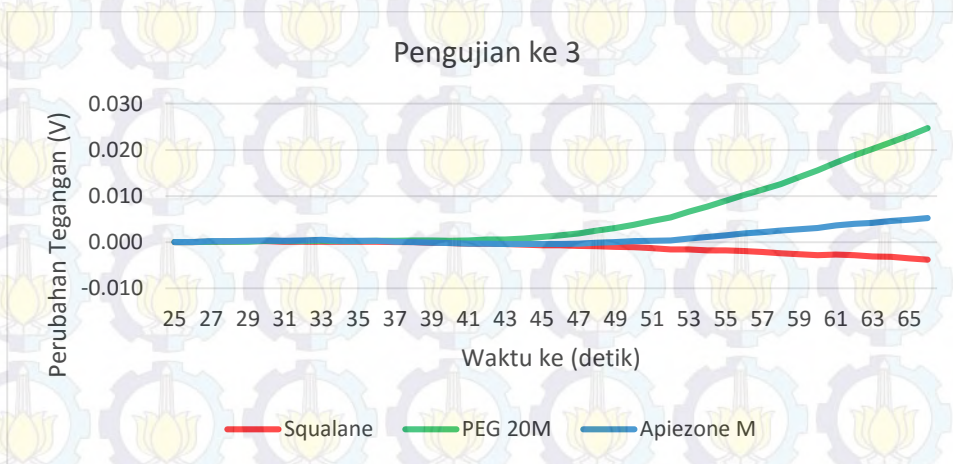
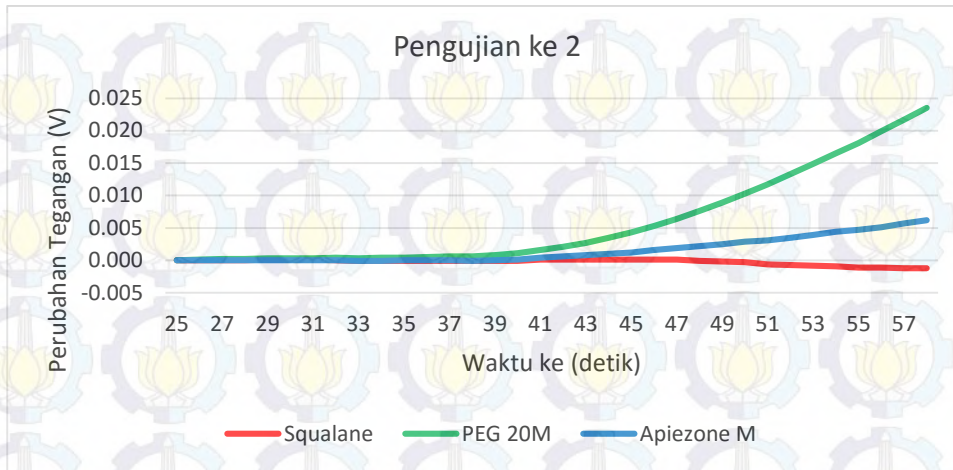




| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 43              | 15      | 30         |
| 2         | 45              | 14      | 23         |
| 3         | 45              | 17      | 27         |
| Rata-rata | 44.3            | 15.3    | 26.7       |

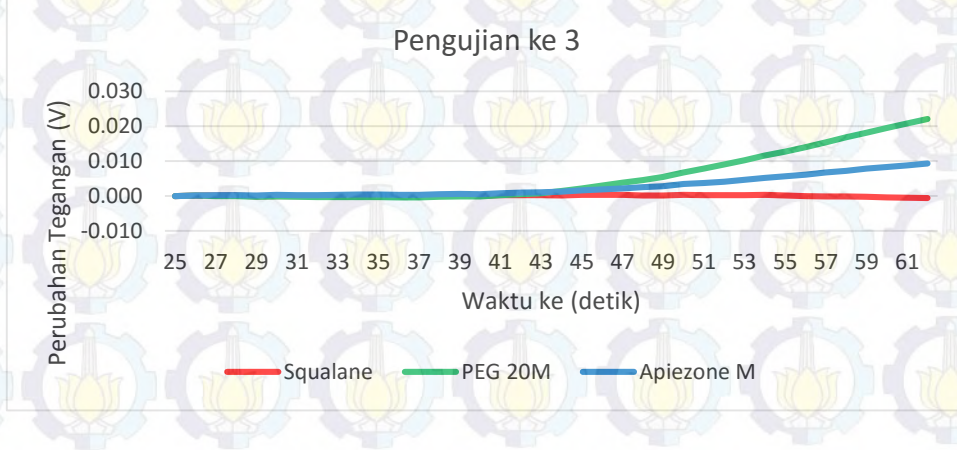
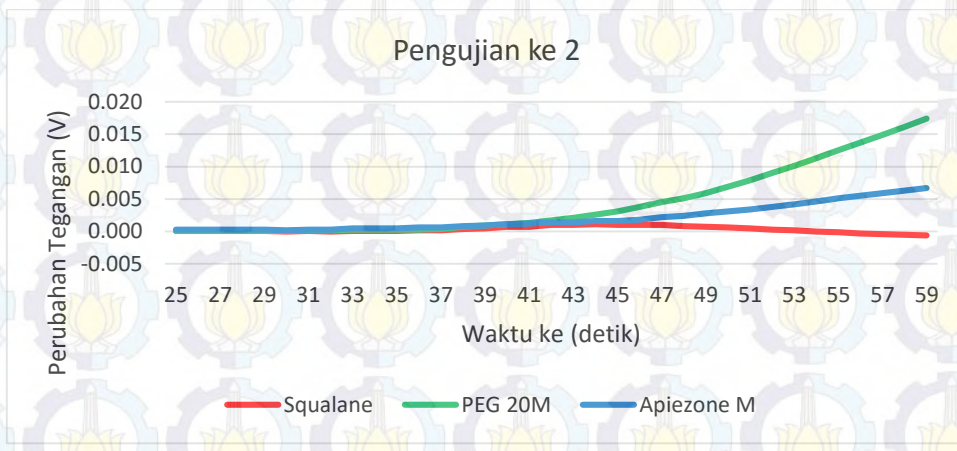
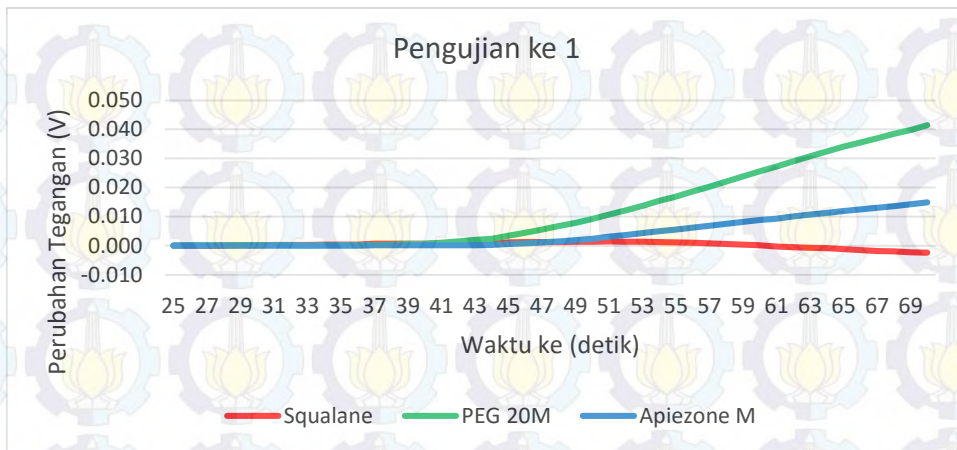
## 9.2 Pengujian Pada Suhu 30°C





| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 35              | 18          | 25          |
| 2         | 35              | 15          | 24          |
| 3         | 45              | 19          | 30          |
| Rata-rata | <b>38.3</b>     | <b>17.3</b> | <b>26.3</b> |

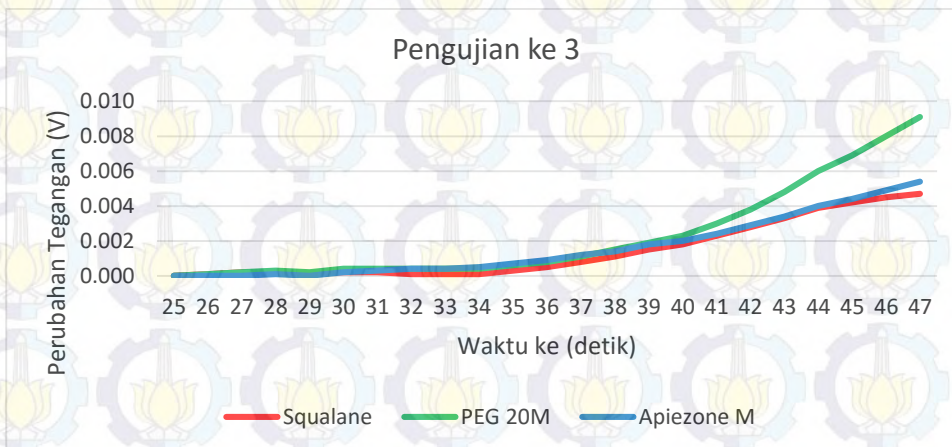
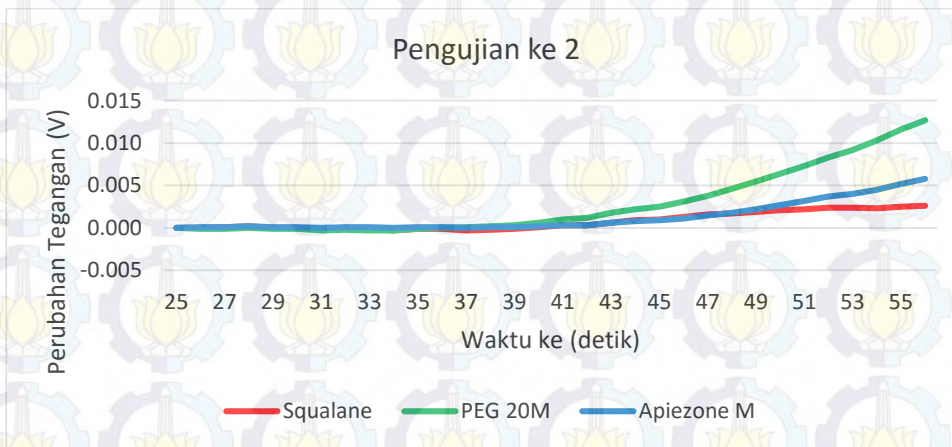
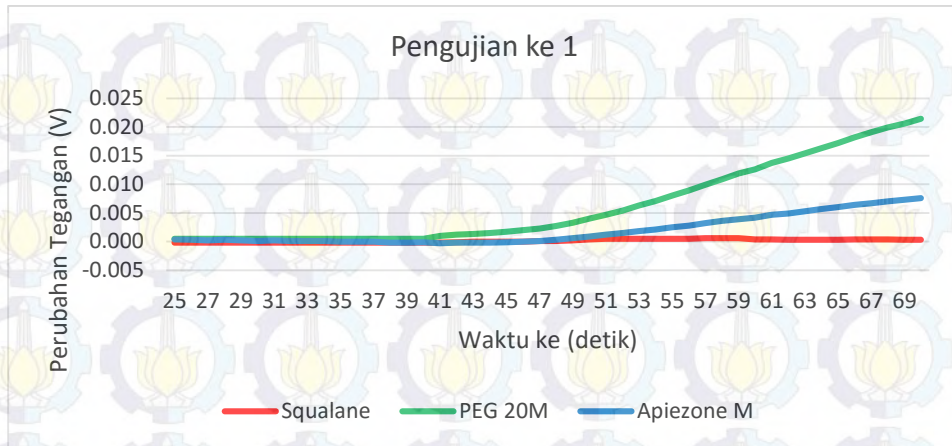
### 9.3 Pengujian Pada Suhu 35°C



| Pengujian | Lapisan (detik) |           |             |
|-----------|-----------------|-----------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M   | Apiezone M  |
| 1         | 40              | 16        | 23          |
| 2         | 40              | 17        | 23          |
| 3         | 40              | 18        | 25          |
| Rata-rata | <b>40</b>       | <b>17</b> | <b>23.7</b> |

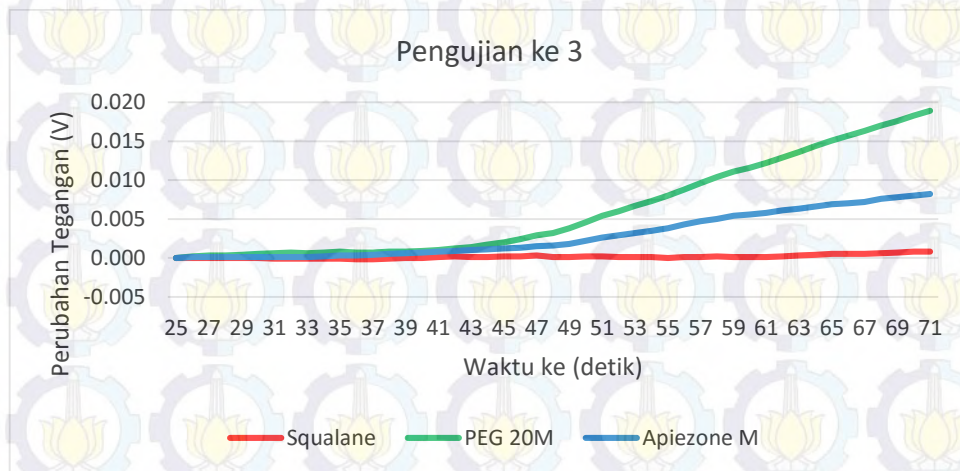
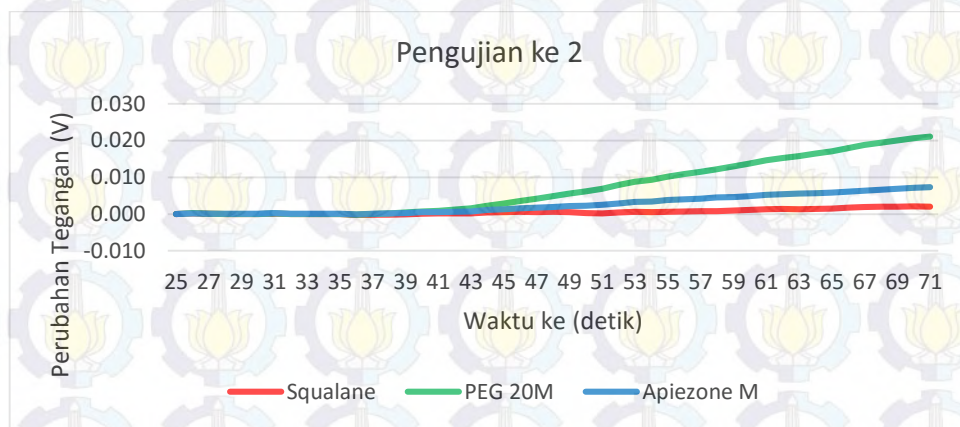
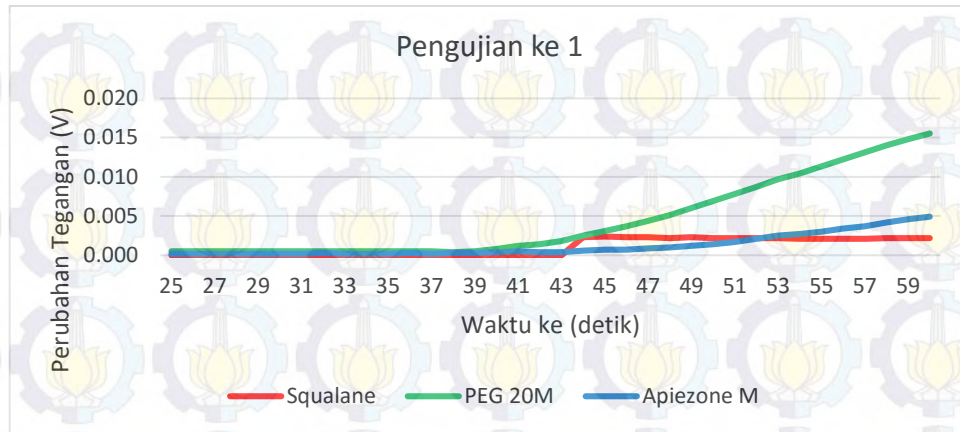
**9.4 Pengujian Pada Suhu 40°C**





| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 50              | 19          | 31          |
| 2         | 45              | 18          | 24          |
| 3         | 26              | 13          | 24          |
| Rata-rata | <b>40.3</b>     | <b>16.7</b> | <b>26.3</b> |

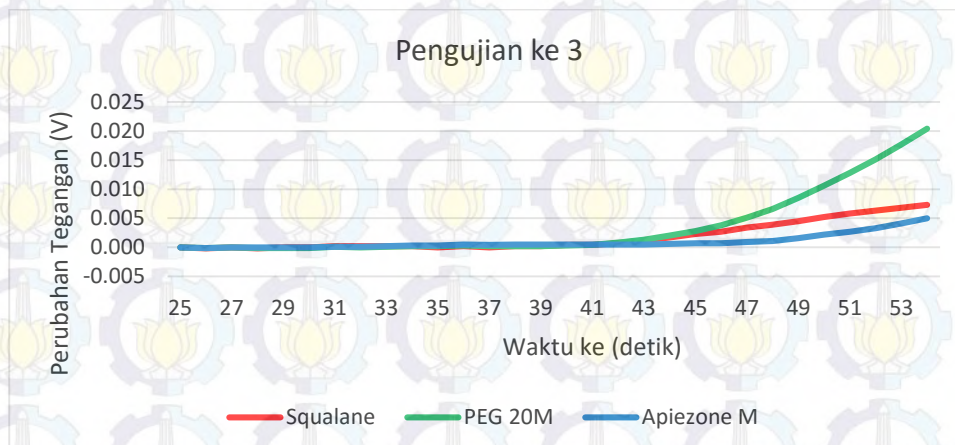
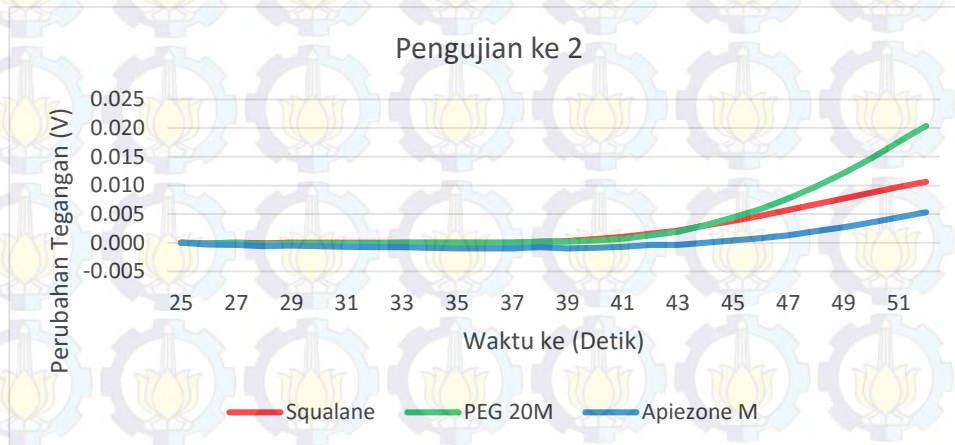
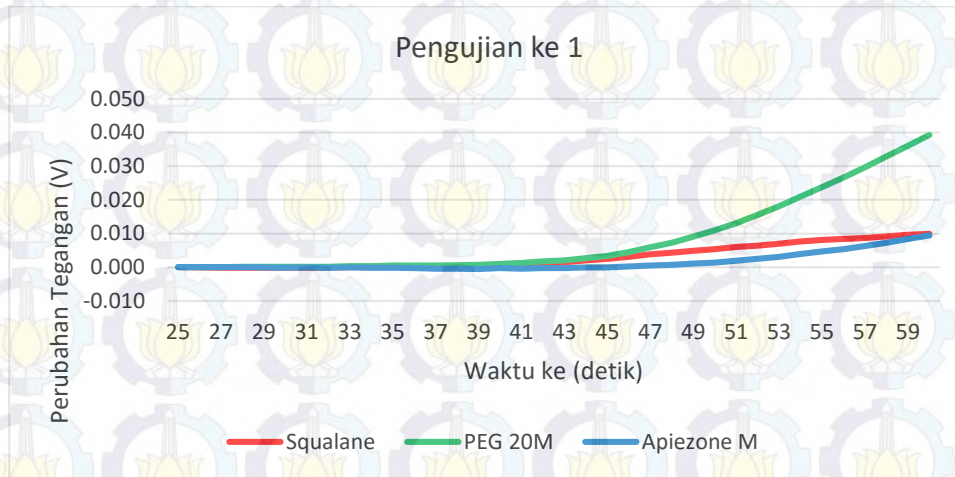
### 9.5 Pengujian Pada Suhu 45°C



| Pengujian | Lapisan (detik) |           |             |
|-----------|-----------------|-----------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M   | Apiezone M  |
| 1         | 45              | 18        | 28          |
| 2         | 43              | 17        | 30          |
| 3         | 45              | 19        | 25          |
| Rata-rata | <b>44.3</b>     | <b>18</b> | <b>27.7</b> |

## 10. Pengujian Terhadap Gas Minyak Kayu Putih

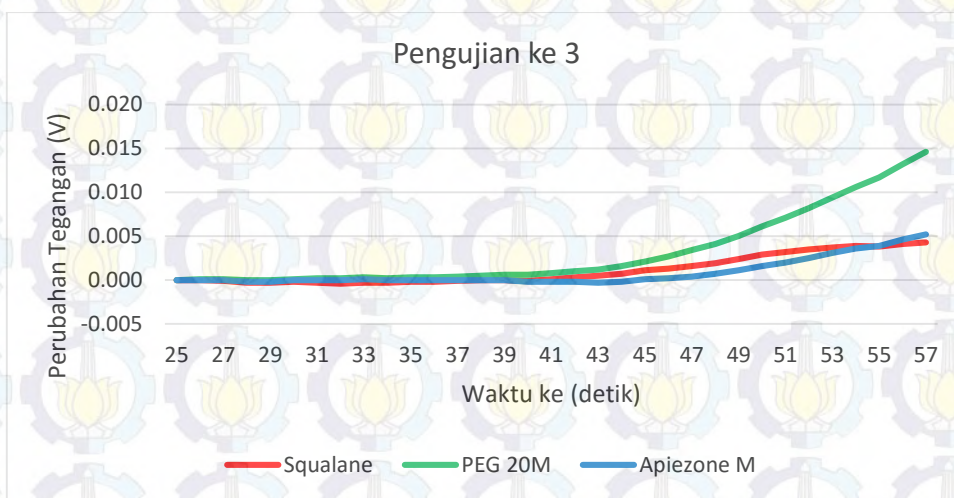
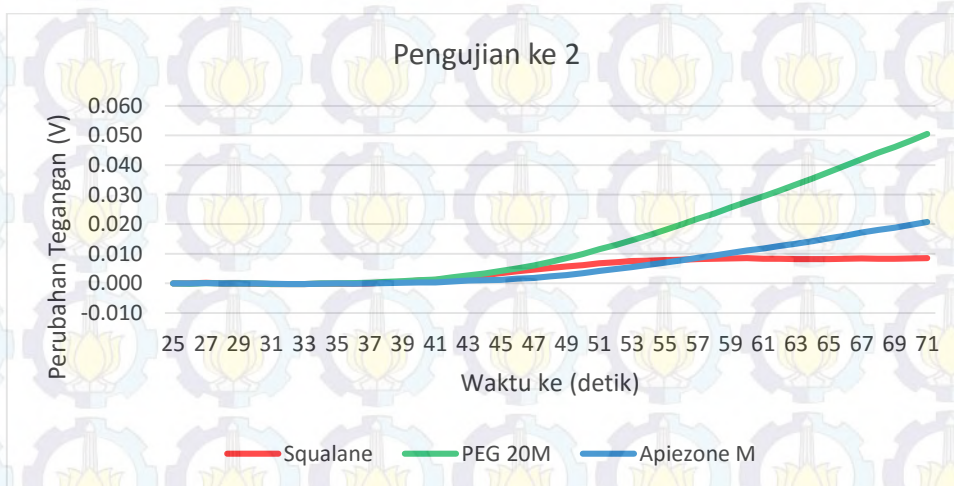
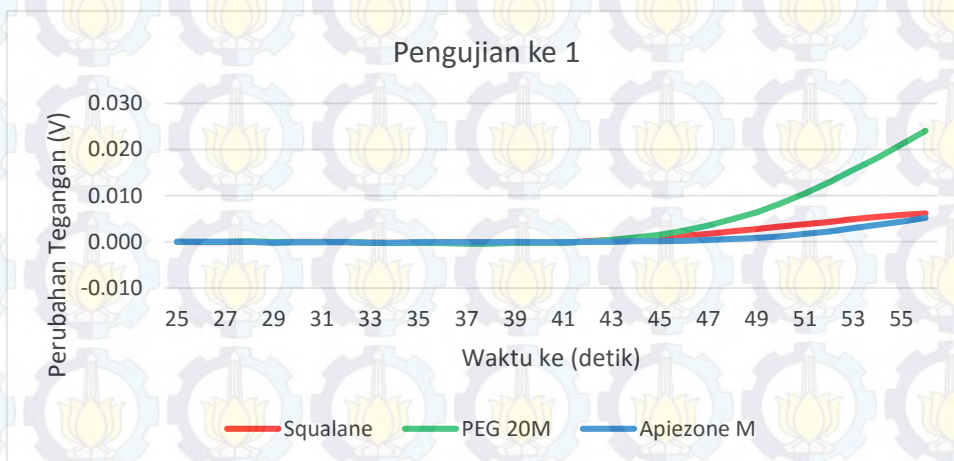
### 10.1 Pengujian Pada Suhu 27°C



| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 17              | 15      | 23         |

|           |             |             |             |
|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 2         | 16          | 15          | 21          |
| 3         | 19          | 17          | 23          |
| Rata-rata | <b>17.3</b> | <b>15.7</b> | <b>22.3</b> |

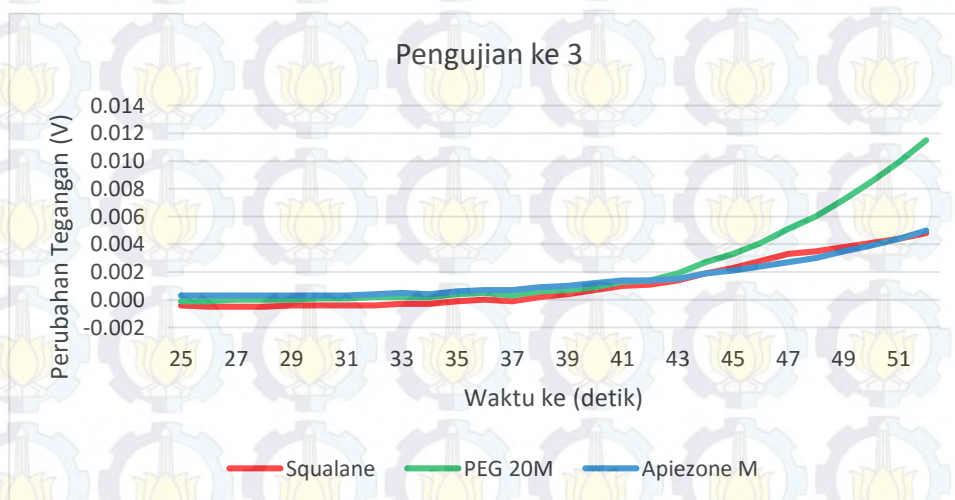
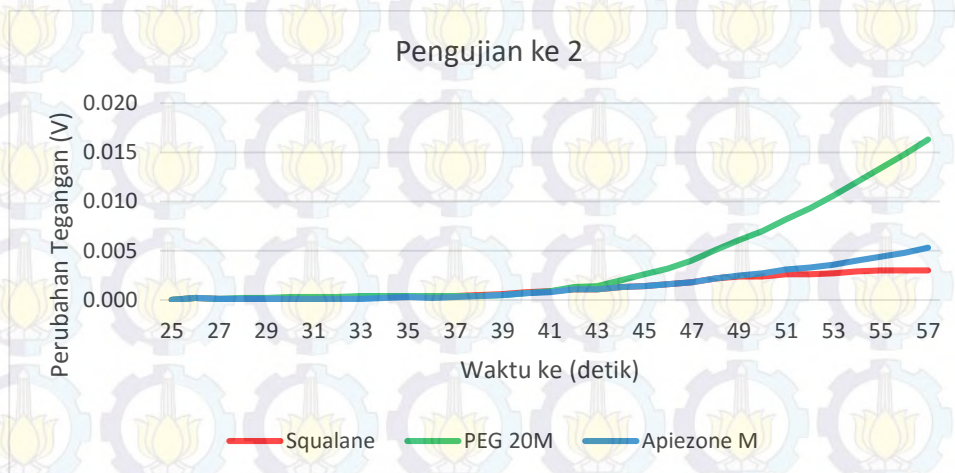
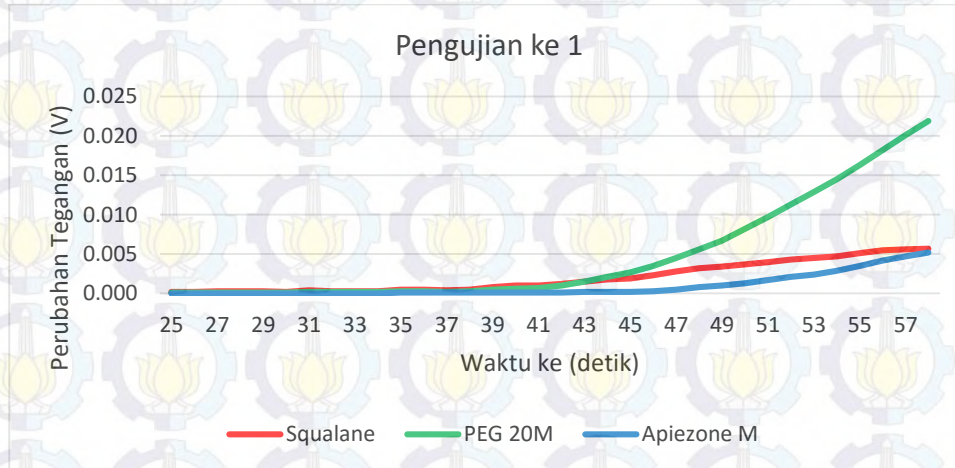
### 10.2 Pengujian Pada Suhu 30°C



| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |

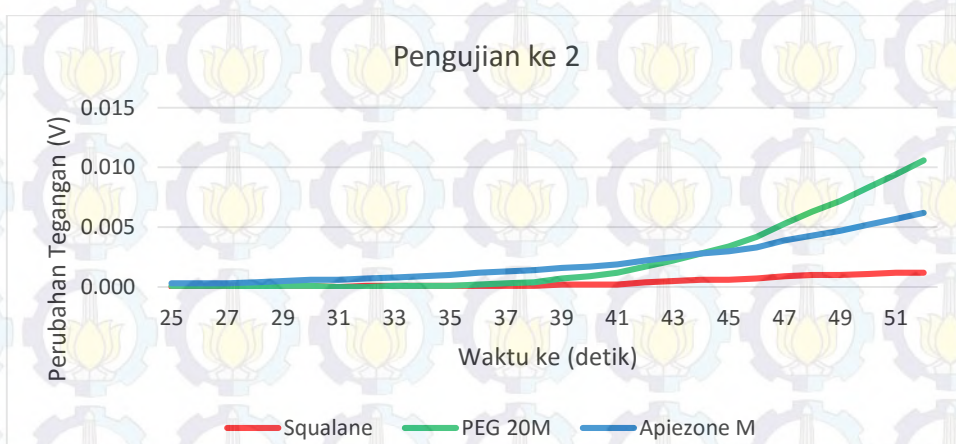
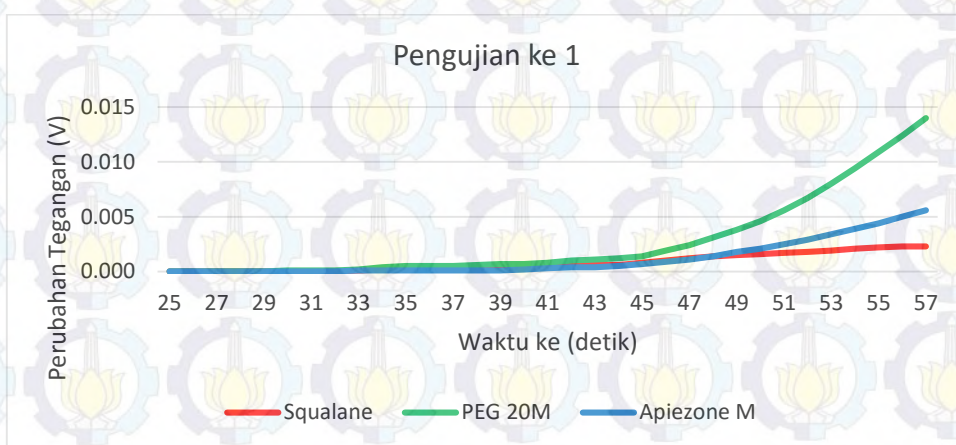
|           |      |    |      |
|-----------|------|----|------|
| 1         | 19   | 17 | 22   |
| 2         | 17   | 15 | 21   |
| 3         | 22   | 19 | 27   |
| Rata-rata | 19.3 | 17 | 23.3 |

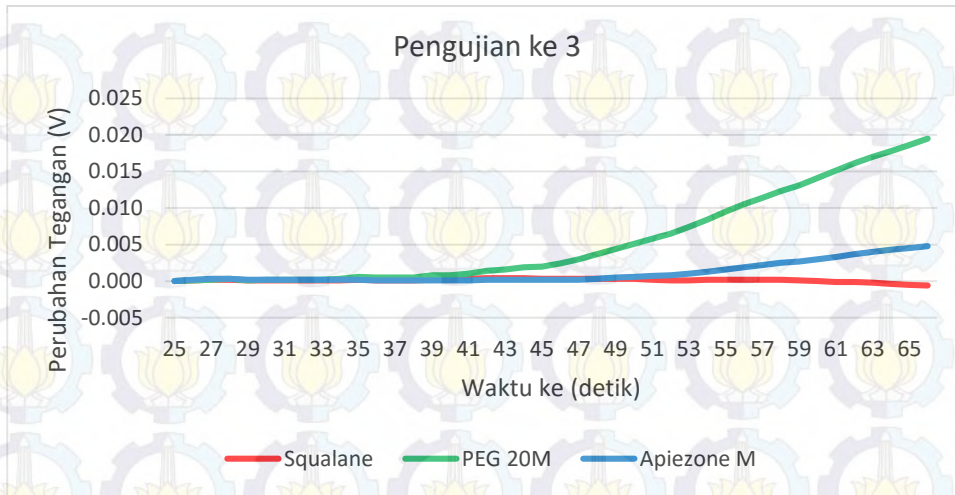
### 10.3 Pengujian Pada Suhu 35°C



| Pengujian | Lapisan (detik) |             |             |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|
|           | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M  |
| 1         | 22              | 17          | 27          |
| 2         | 19              | 17          | 27          |
| 3         | 19              | 16          | 20          |
| Rata-rata | <b>20</b>       | <b>16.7</b> | <b>24.7</b> |

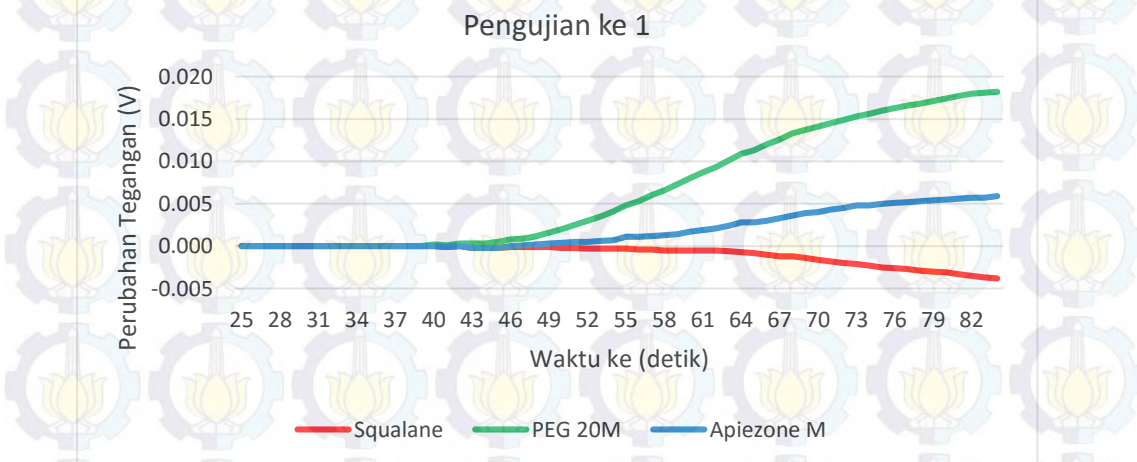
#### 10.4 Pengujian Pada Suhu 40°C

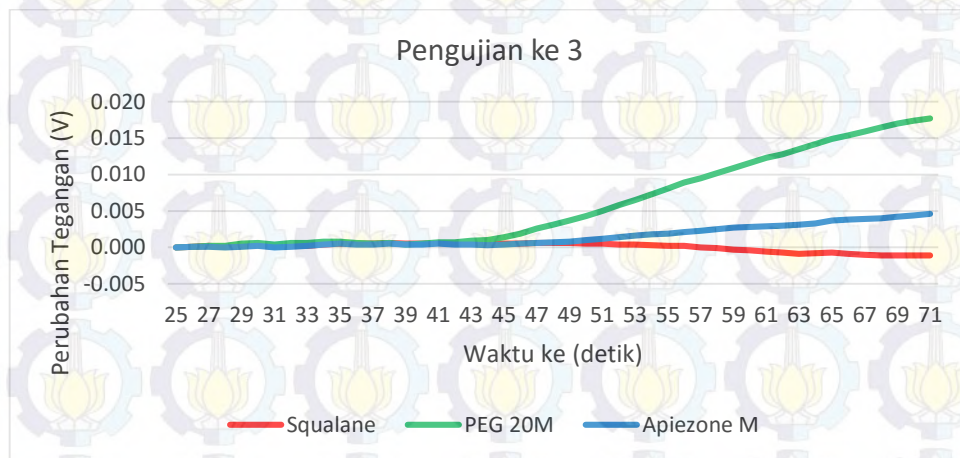
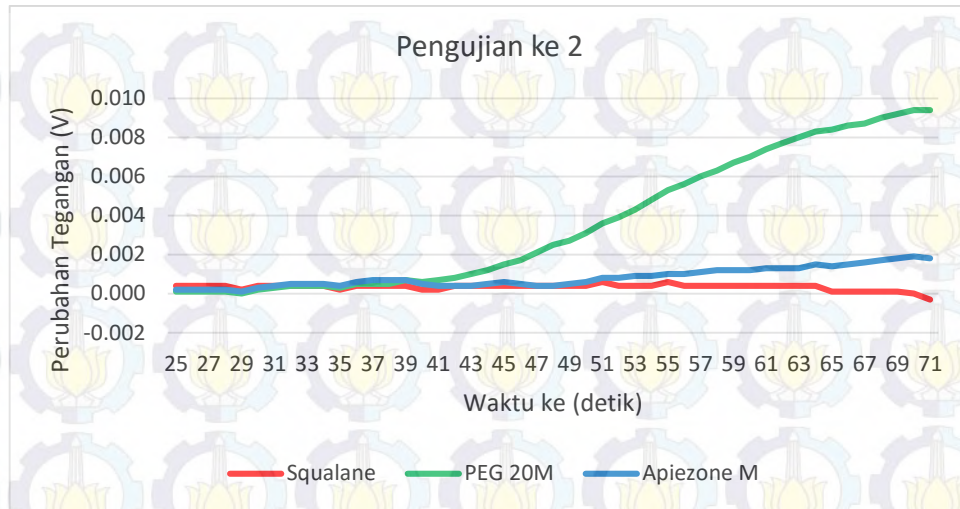




| Pengujian        | Lapisan (detik) |             |            |
|------------------|-----------------|-------------|------------|
|                  | Squalane        | PEG 20M     | Apiezone M |
| 1                | 45              | 20          | 25         |
| 2                | 45              | 17          | 28         |
| 3                | 45              | 19          | 34         |
| <b>Rata-rata</b> | <b>45</b>       | <b>18.7</b> | <b>29</b>  |

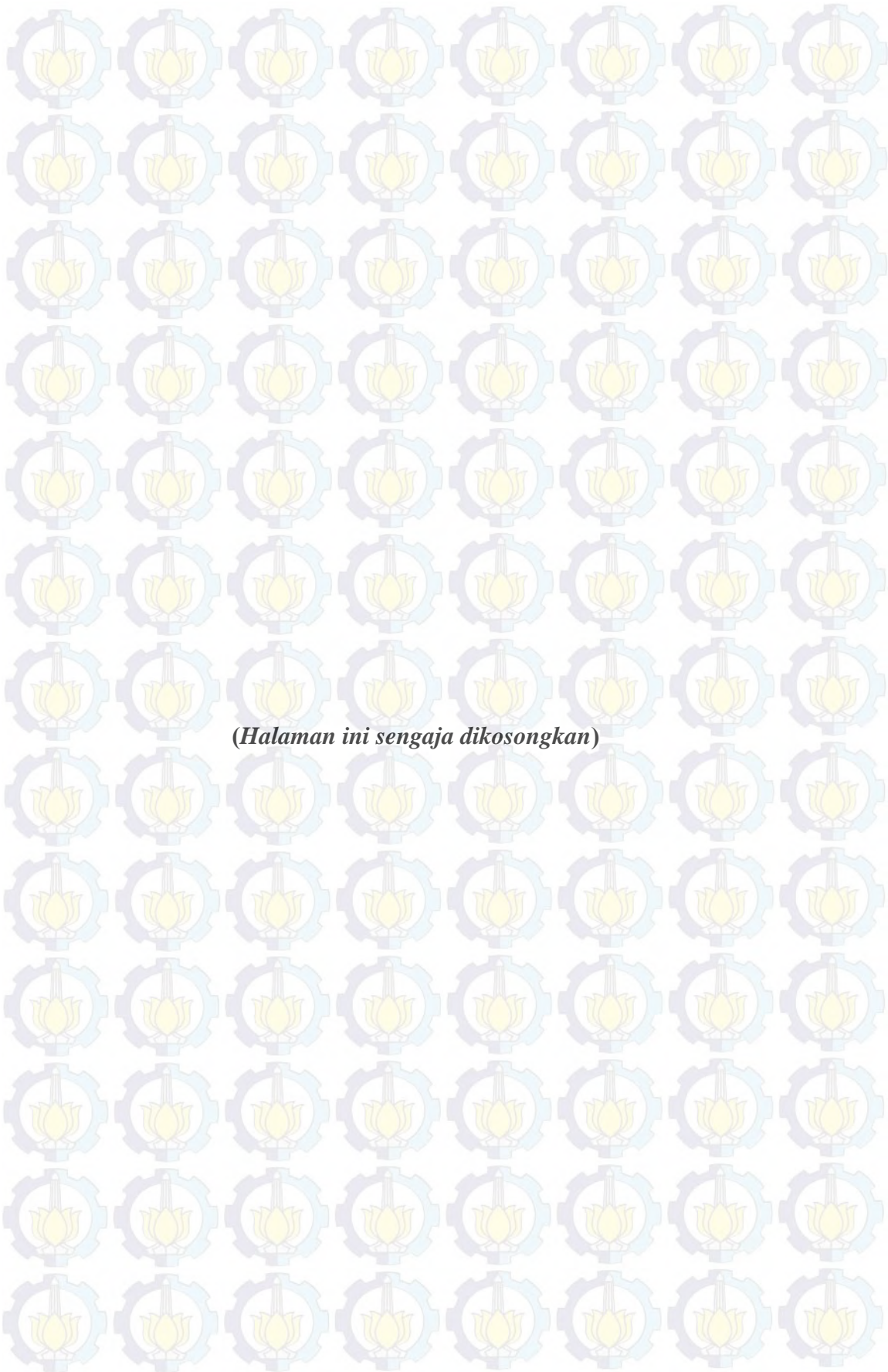
### 10.5 Pengujian Pada Suhu 45°C





| Pengujian | Lapisan (detik) |         |            |
|-----------|-----------------|---------|------------|
|           | Squalane        | PEG 20M | Apiezone M |
| 1         | 45              | 25      | 40         |
| 2         | 45              | 29      | 45         |
| 3         | 45              | 20      | 41         |
| Rata-rata | 45              | 24.7    | 42         |





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



**Bakti Dwi Waluyo** dilahirkan di Riau, 27 Maret 1990. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Sugiman dan Ibu Walyati. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 006 Kota Baru pada tahun 1996-2002, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Tapung Hilir pada tahun 2002-2005. Selanjutnya penulis melanjutkan di Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 3 Pariaman pada tahun 2005-2008. Setelah itu penulis menempuh pendidikan tinggi pada Program Sarjana di Universitas Negeri Padang dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2013. Setelah menyelesaikan pendidikan tahap sarjana, penulis mendapat beasiswa untuk menempuh pendidikan di Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang keahlian Teknik Elektronika pada tahun 2013.

e-mail : [bakti1990@gmail.com](mailto:bakti1990@gmail.com)