

**PENGARUH TEKANAN CHAMBER DAN LAJU ALIR GAS PADA
PROSES MODIFIKASI PERMUKAAN POLISTIREN MENGGUNAKAN
METODE PLASMA RF DENGAN DC BIAS**

TESIS

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister**



Oleh:

**ABU BAKAR
146090300011012**

**PROGRAM STUDI S2 FISIKA
BIDANG MINAT FISIKA MATERIAL**

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA ILMU PENGETAHUAN ALAM**

MALANG

2019

**PENGARUH TEKANAN CHAMBER DAN LAJU ALIR GAS PADA
PROSES MODIFIKASI PERMUKAAN POLISTIREN MENGGUNAKAN
METODE PLASMA RF DENGAN DC BIAS**

TESIS

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister**



Oleh:

**ABU BAKAR
146090300011012**

**PROGRAM STUDI S2 ILMU FISIKA
BIDANG MINAT FISIKA MATERIAL**

PROGRAM PASCASARJANA

**FAKULTAS MATEMATIKA ILMU PENGETAHUAN ALAM
MALANG**

2019



LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

**PENGARUH TEKANAN CHAMBER DAN LAJU ALIR GAS PADA
PROSES MODIFIKASI PERMUKAAN POLISTIREN MENGGUNAKAN
METODE PLASMA RF DENGAN DC BIAS**

Oleh:

**ABU BAKAR
146090300011012**

Telah dipertahankan di depan
penguji pada tanggal 21 Juni 2019
dan dinyatakan lulus

KOMISI PEMBIMBING

Ketua

Anggota

Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si.

Ir. D. J. Djoko H. Santjojo, M.Phil., Ph.D.

NIP. 19751231 200212 2 002

NIP. 196601311990021001

Mengetahui

Ketua Program Studi S2 Fisika

Mauludi A. Pamungkas, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP. 197304122000031013

TIM PENGUJI TESIS

JUDUL TESIS:

**PENGARUH TEKANAN CHAMBER DAN LAJU ALIR GAS PADA
PROSES MODIFIKASI PERMUKAAN POLISTIREN MENGGUNAKAN
METODE PLASMA RF DENGAN DC BIAS**

Nama Mahasiswa : Abu Bakar

NIM : 146090300011012

Prodi Jurusan : S2 Ilmu Fisika

Minat : Fisika Material

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si.

Anggota : Ir. D. J. Djoko H. Santjojo, M.Phil., Ph.D.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Istiroyah, S.Si., MT.

Dosen Penguji 2 : Mauludi A. Pamungkas, S.Si., M.Si., Ph.D

Tanggal Ujian : 21 Juni 2019

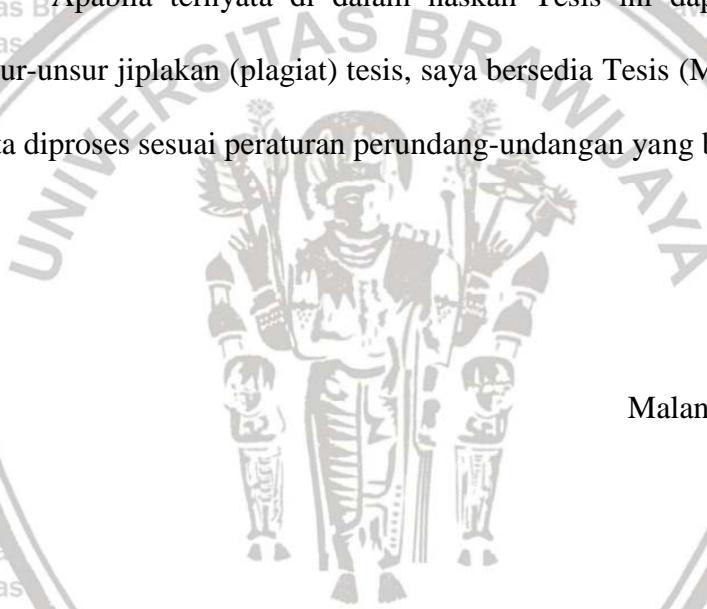
PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya, di dalam naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan (plagiat) tesis, saya bersedia Tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, Juni 2019

Abu Bakar
NIM. 146090300011012



HALAMAN PERUNTUKAN



“Tesis ini spesial saya *dedikasikan* untuk kedua orang tua saya”

RIWAYAT HIDUP

Abu bakar, lahir di Pasuruan Jawa Timur, tanggal 10 Oktober 1991. Putra kedua dari Bapak Mustahab dan Ibu Lami. Memulai pendidikan TK pada tahun 1997 di TK Dharma Wanita Beji. Menempuh jenjang pendidikan SD di SDN II Beji pada tahun 1998 dan lulus pada tahun 2004.

Jenjang SMP di MTs N Bangil Pasuruan tahun 2004-2007 dan jenjang SMA tahun 2007-2010 di MAN Bangil Pasuruan. Jenjang pendidikan S1 di Program Studi Fisika SAINTEK UIN MALIKI Malang, lulus tahun 2014. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Organisasi Masyarakat Islam, Pendidik di Yayasan Pendidikan Islam Ma'arif Sunan Gunung Jati dan Riyadlul Ulum Pasuruan, serta menjadi mentor fisika.

Malang, Juni 2019

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan Tesis ini khususnya kepada :

1. Kedua orang tua, kakak dan adik penulis selaku motivator terbesar penulis untuk semua bantuan dan dorongan semangatnya.
2. Ibu Dr. Eng. Masrurroh, M.Si. dan Bapak Ir. D. J. Djoko H. S, Ph.D. selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan tesis ini.
3. Ibu Dr. Istiroyah, S.Si., MT. dan Bapak Mauludi A. Pamungkas, M.Si., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan saran yang membangun dalam penyusunan tesis ini.
4. Bapak Mauludi A. Pamungkas, M.Si., Ph.D. selaku ketua program studi, Bapak dan Ibu dosen serta seluruh karyawan jurusan fisika yang telah memberikan ilmu dan bantuannya.
5. Saudara/i di Laboratorium Plasma Fisika UB, Mas Dika, Mbak Tyas, Mbak Arin, Mas Somad, Mbak Sukma untuk bantuan dan diskusi berharganya.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Malang, Juni 2019

Penulis

PENGARUH TEKANAN CHAMBER DAN LAJU ALIR GAS PADA PROSES MODIFIKASI PERMUKAAN POLISTIREN MENGGUNAKAN METODE PLASMA RF DENGAN DC BIAS

ABSTRAK

Telah dilakukan perlakuan plasma nitrogen menggunakan metode plasma RF dengan DC bias di atas permukaan polistiren dengan variasi tekanan chamber dan laju alir gas. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis pengaruh tekanan dan laju alir terhadap karakter plasma dan sifat hidrofobisitas permukaan polistiren di atas *quartz crystal microbalance* (QCM) sensor. Pelarut toluena digunakan untuk melarutkan polistiren dan larutan polistiren dideposisikan di atas permukaan QCM dengan teknik *spin coating*. Perlakuan plasma nitrogen dilakukan dengan variasi tekanan chamber 40, 50, 60, 70, dan 80 Pa dengan parameter konstan laju alir 60 ml/menit, tegangan RF 90 volt dan DC bias 400 volt. Sedangkan variasi laju alir 20, 30, 40, 50, 60, dan 70 ml/menit dengan parameter konstan laju alir 60 ml/menit, tegangan RF 90 volt dan DC bias 400 volt. Spesies plasma diukur dengan *optical emission spectroscopy* (OES) Aurora 400 berupa panjang gelombang dan intensitas. Sifat hidrofobisitas polistirena diukur dengan *contact angle measurement* dan gugus fungsi C≡N diobservasi dengan *Fourier transform infrared* (FTIR).

Spektrum plasma dari OES didapatkan beberapa spesies plasma dominan yang terdeteksi berupa spesies radikal atom N pada panjang gelombang 388 nm dan 424 nm, dan NIII (N^{2+}) pada panjang gelombang 334 nm dengan variasi tekanan ataupun laju alir. Spesies plasma diperoleh dengan melihat data panjang gelombang pada NIST *atomic database*. Pengukuran sudut kontak mengalami perubahan sudut kontak yang naik sampai tekanan 50 Pa dan turun sampai 80 Pa, sedangkan sudut kontak naik sampai laju alir 50 ml/menit dan turun sampai 70 ml/menit. Nilai perubahan sudut kontak untuk pengaruh tekanan dan laju alir menunjukkan nilai kurang dari 90°, sehingga permukaan bersifat hidrofilik. Hasil observasi dengan FTIR pada variasi tekanan ataupun laju alir ditemukan gugus fungsi C≡N pada permukaan polistirena setelah dilakukan perlakuan plasma. Pengaruh interaksi spesies plasma berupa radikal atom N dan ion N^{2+} yang menumbuk dengan permukaan polistiren, sehingga gugus fungsi C≡N terbentuk dan memberikan perubahan pada sifat hidrofobisitas permukaan polistirena karena gugus fungsi C≡N bersifat polar.

Kata kunci: Plasma RF-DC bias, tekanan, laju alir, radikal atom, ion N^{2+} , polistirena.

EFFECT OF PRESSURE CHAMBER AND GAS FLOW RATE ON POLYSTYRENE SURFACE MODIFICATION PROCESS USING RF PLASMA METHOD WITH DC BIAS

ABSTRACT

Nitrogen plasma treatment by means of RF method with DC plasma bias of a polystyrene surface with variation in flow rate has been carried out. The purpose of this analyze was to analyze the effect of the nitrogen pressure and flow rate during the treatment on the hydrophobicity properties of polystyrene surfaces on a quartz crystal microbalance (QCM) sensor. The toluene solvent used to dissolve polystyrene and then a solution polystyrene deposited on the surface of a QCM by a spin coating technique. The plasma treatment was carried out by varying the pressure chamber 40, 50, 60, 70, and 80 Pa with constant parameters the flow rate is 60 ml / minute, 90 volt RF voltage and 400 volt DC bias. While variations in flow rates 20, 30, 40, 50, 60, and 70 ml / minute with constant parameters flow rate of 60 ml / minute, 90 volt RF voltage and DC bias of 400 volts. Plasma species in the plasma were identified by means of an optical emission spectroscopy (OES). The hydrophobicity of the polystyrene was measured by a contact angle measurement and the functional group was observed with Fourier transform infrared (FTIR).

The plasma spectrum of OES obtained some dominant plasma species were N atom radical species detected at 388 nm and 424 nm, and NIII (N₂⁺) at a wavelength of 334 nm with variations in pressure or flow rate. Plasma species obtained by looking at the data wave length on atomic database NIST. The contact angle measurement results show a significant increase due to the pressure up to 50 Pa and down to 80 Pa. While the flowrate up to 50 ml / minute and down to 70 ml/minute. However, the value of the contact angle were less than 90°, so that the surface is considered hydrophilic. The C≡N function group on the variations pressure and flow rate detected with the FTIR is formed due to the interaction of plasma species in the form of N atomic radicals and N₂⁺ ions on the polystyrene surface and provide for changes on the nature of hydrophobicity the surface of polystyrene because the function group is polar.

Keywords: RF-DC biased plasma, pressure, flow rates, atomic radical, ion N₂⁺, and polystyrene.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyajikan laporan tugas akhir magister yang berjudul "**PENGARUH TEKANAN CHAMBER DAN LAJU ALIR GAS PADA PROSES MODIFIKASI PERMUKAAN POLISTIREN MENGGUNAKAN METODE PLASMA RF DENGAN DC BIAS.**"

Didalam tulisan ini, disajikan pokok-pokok bahasan yang meliputi pembuatan larutan polistiren, pelapisan QCM, perlakuan plasma nitrogen dengan variasi tekanan chamber dan laju alir gas, pengukuran intensitas plasma nitrogen menggunakan OES, pengukuran sudut kontak, dan pengukuran gugus fungsi C≡N menggunakan FTIR. Tesis ini terdiri dari 6 bab yaitu Bab I Pendahuluan, Bab II Kajian Pustaka, Bab III Kerangka Konsep Penelitian, dan Bab IV Metode Penelitian Bab V Hasil dan Pembahasan, dan Bab VI Kesimpulan dan Saran.

Sangat disadari bahwa terdapat kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah dikerahkan segala kemampuan untuk lebih teliti, tetapi masih dirasakan banyak kekurangan dalam penulisan tesis ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran yang membangun agar tulisan ini bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Malang, Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| TIM PENGUJI TESIS | iii |
| PERNYATAAN ORISINALITAS | iv |
| HALAMAN PERUNTUKAN | v |
| RIWAYAT HIDUP | vi |
| UCAPAN TERIMAKASIH | vii |
| ABSTRAK | viii |
| ABSTRACT | ix |
| KATA PENGANTAR | x |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Plasma | 5 |
| 2.2 Karakter Plasma dengan OES | 11 |
| 2.3 Plasma RF-DC | 13 |
| 2.4 Plasma Nitrogen | 14 |
| 2.5 Modifikasi Permukaan | 16 |
| 2.5.1 Polistiren | 17 |
| 2.5.2 <i>Quart Cristal Microbalance (QCM)</i> | 18 |
| BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN | 20 |
| BAB IV METODOLOGI PENELITIAN | 23 |
| 4.1 Waktu dan Tempat Penelitian | 23 |



| | |
|---|-----------|
| 4.2 Alat dan Bahan | 23 |
| 4.3 Metode Penelitian | 23 |
| 4.3.1 Pembuatan Larutan Polistiren | 25 |
| 4.3.2 Proses Deposisi Larutan Polistirena | 26 |
| 4.3.3 Pengukuran Sudut Kontak | 28 |
| 4.3.4 Perlakuan Plasma Nitrogen | 29 |
| 4.3.5 Pengukuran spektrum dengan OES (Optical Emission Spectroscopy) | 31 |
| 4.3.6 Pengujian Pembentukan Gugus Fungsi dengan FTIR | 33 |
| BAB V PEMBAHASAN | 35 |
| 5.1 Perubahan Karakter Plasma Nitrogen terhadap Variasi Tekanan Chamber dan Laju Alir Menggunakan Metode Plasma RF dengan DC Bias | 35 |
| 5.1.1 Pengaruh variasi tekanan chamber terhadap perubahan karakter plasma nitrogen | 36 |
| 5.1.2 Pengaruh variasi laju alir gas terhadap perubahan karakter plasma nitrogen | 43 |
| 5.2 Perlakuan Plasma Nitrogen terhadap Perubahan Sifat Hidrofobisitas Lapisan Polistiren di atas QCM | 51 |
| 5.2.1 Pengaruh variasi tekanan chamber plasma nitrogen terhadap perubahan sifat hidrofobisitas | 51 |
| 5.2.2 Pengaruh variasi laju alir gas plasma nitrogen terhadap perubahan sifat hidrofobisitas | 53 |
| 5.3 Pembentukan Gugus Fungsi dengan FTIR | 56 |
| BAB VI PENUTUP | 60 |
| 6.1 Kesimpulan | 60 |
| 6.2 Saran | 61 |
| DAFTAR PUSTAKA | 62 |
| LAMPIRAN | 65 |

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi fase materi ke empat setelah fase padat, cair dan fase gas...9

Gambar 2.2 Ilustrasi perbedaan materi antara fase gas dengan fase plasma untuk gas hidrogen..... 10

Gambar 2.3 Proses tumbukan dalam plasma 12

Gambar 2.4 Struktur polistiren 17

Gambar 3.1 Kerangka konsep penelitian 22

Gambar 4.1 Diagram alir penelitian 24

Gambar 4.2 Diagram alir pembuatan larutan polistiren 26

Gambar 4.3 Diagram alir proses deposisi larutan polistiren 28

Gambar 4.4 Skema pembangkit plasma nitrogen metode plasma RF dengan DC bias 30

Gambar 4.5 Diagram alir proses modifikasi dengan plasma nitrogen 31

Gambar 4.6 Ilustrasi pengujian spektrum dengan OES 32

Gambar 5.1 Perubahan intensitas plasma dengan pemberian sampel dan tanpa sampel pada pembangkit plasma RF DC bias 35

Gambar 5.2 Spektrum plasma nitrogen pada tekanan 50 Pa 37

Gambar 5.3 Intensitas plasma nitrogen tanpa pemberian sampel pada variasi tekanan chamber 38

Gambar 5.4 Intensitas plasma nitrogen dengan pemberian sampel pada variasi tekanan chamber 39

Gambar 5.5 Hubungan tekanan chamber dengan perubahan nilai intensitas plasma nitrogen..... 42

Gambar 5.6 Spektrum plasma nitrogen pada laju alir gas 50 ml/menit..... 44

Gambar 5.7 Intensitas plasma nitrogen tanpa pemberian sampel pada variasi laju alir gas 45

Gambar 5.8 Intensitas plasma nitrogen dengan pemberian sampel pada variasi laju alir gas..... 46

Gambar 5.9 Hubungan laju alir gas dengan perubahan nilai intensitas plasma nitrogen..... 49

Gambar 5.10 Pengaruh tekanan chamber terhadap nilai perubahan sudut kontak permukaan polistiren..... 51

Gambar 5.11 Pengaruh laju alir gas terhadap nilai perubahan sudut kontak permukaan polistiren..... 54

Gambar 5.12 Hasil spektrum FTIR perlakuan plasma nitrogen dengan tekanan chamber 40 Pa, 50 Pa, dan 80 Pa..... 56

Gambar 5.13 Hasil spektrum FTIR perlakuan plasma nitrogen dengan laju alir gas 20 ml/menit, 50 ml/menit, dan 70 ml/menit 57



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perubahan wujud zat 6

Tabel 2.2 Reaksi ionisasi dan rekombinasi 7

Tabel 4.1 Pembentukan gugus fungsi terhadap nilai gelombang atau daerah frekuensi 34

Tabel 5.1 Hubungan tekanan chamber dengan perubahan intensitas plasma nitrogen 41

Tabel 5.2 Hubungan laju alir gas dengan perubahan intensitas plasma nitrogen 48

Tabel 5.3 Pengaruh tekanan chamber terhadap nilai intensitas gugus fungsi $C\equiv N$ 58

Tabel 5.4 Pengaruh laju alir gas terhadap nilai intensitas gugus fungsi $C\equiv N$ 58



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel pengaruh tekanan chamber terhadap nilai selisih sudut kontak permukaan QCM/PS 65

Lampiran 2. Tabel pengaruh laju alir gas terhadap nilai selisih sudut kontak permukaan QCM/PS 66

Lampiran 3. Gambar sudut kontak QCM/PS sebelum diberikan perlakuan plasma RF DC 67

Lampiran 4. Gambar sudut kontak QCM/PS setelah diberikan perlakuan plasma RF DC 68

Lampiran 5. Grafik intensitas spektrum plasma nitrogen tanpa sampel pada tekanan chamber 50 Pa 69

Lampiran 6. Grafik intensitas spektrum plasma nitrogen setelah diberikan sampel pada tekanan chamber 50 Pa 69

Lampiran 7. Grafik intensitas spektrum plasma nitrogen tanpa sampel pada laju alir gas 50 ml/menit 70

Lampiran 8. Grafik intensitas spektrum plasma nitrogen setelah diberikan sampel pada laju alir gas 50 ml/menit 70

Lampiran 9. Bukti sertifikat bebas plagiasi karya tulis ilmiah (Tesis) 71

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perlakuan plasma terhadap permukaan polimer sudah banyak digunakan untuk memodifikasi fungsi dari permukaan tanpa merusak sifat dari polimer sendiri. Polistiren merupakan salah satu polimer yang tersusun atas banyak stirena. Sifat polistiren pada suhu ruangan bersifat termoplastik padat, sedangkan pada suhu yang lebih tinggi akan mencair. Sifat –sifat lainnya diantaranya ialah transparan, kaku, getas, dan memiliki kestabilan dimensional yang baik sehingga sulit mengalami perubahan bentuk. Di samping itu, polistiren memiliki tingkat penyerapan yang sangat rendah terhadap uap air, asam, basa, alkohol, dan detergen (Ruhendi dan Sucipto, 2013). Selain itu polistirena menurut Sakti (2016), menjadi salah satu material polimer yang sering dideposisikan di atas substrat QCM karena memiliki beberapa sifat yang cocok. Diantaranya yaitu resistivitas yang tinggi dan yang paling penting yaitu baik sebagai immobilisasi biomolekul. Perlakuan plasma terhadap permukaan polistirena diatas sustrat QCM dilakukan dengan tujuan untuk memodifikasi permukaan.

Plasma terdiri atas ion bermuatan positif, elektron yang bermuatan negatif, molekul/atom netral dan molekul/atom radikal. Plasma adalah gas terionisasi yang memiliki energi tinggi, gas yang terionisasi melalui sistem plasma dipaparkan terhadap permukaan polimer dan akibat adanya tumbukan atom gas yang terionisasi dengan permukaan polimer di dalam reaktor plasma mengakibatkan terjadi perubahan pada permukaan polimer dengan perlakuan plasma seperti ikatan silang (*crosslinking*), pengikisan (*etching*), deposisi lapisan dan

fungsionalisasi permukaan bahan (Selim et al., 2007). Gas – gas yang sering digunakan dalam plasma diantaranya adalah Ar, N₂, O₂, NH₃ dan CF yang mana setiap gas mempunyai karakteristik yang berbeda secara fisika ataupun kimia.

Sehingga mampu merubah morfologi permukaan polimer dan sifatnya.

Penggunaan gas nitrogen untuk perlakuan plasma terhadap polimer menunjukkan adanya penambahan atom N pada rangkaian hidrokarbon polimer (Foerch & Hunter, 1992).

Interaksi antara spesies dalam plasma berperan penting pada proses plasma.

Selama proses plasma ion bermuatan negatif berperan dalam proses *ion bombardment* dan atom/molekul netral/radikal berperan dalam reaksi kimia.

Sehingga, perlu dilakukan karakterisasi plasma agar dapat diketahui pengaruh dari karakter plasma terhadap modifikasi permukaan polistiren. Karakter plasma yang terbentuk dapat diukur menggunakan *optical emission spectroscopy* (OES). OES merupakan instrumen yang dapat menangkap spektrum plasma dan menampilkannya dalam bentuk fungsi intensitas terhadap panjang gelombang.

Telah dilakukan studi *optical emission spectroscopy* (OES) pada plasma nitrogen terhadap modifikasi permukaan polistiren, menunjukkan bahwa spektrum tersebut dapat diketahui jenis spesies plasma yang terbentuk (Masruroh et al, 2018).

Plasma dapat dibangkitkan dengan beberapa jenis generator, diantaranya generator *direct current* (DC), *radio frequency* (RF), *microwave*, dan RF-DC generator. Plasma berbasis gas nitrogen banyak digunakan untuk memberikan treatment pada metal, polimer dan membrane polimerik. Pemanfaatan tersebut berkaitan dengan kemampuan plasma nitrogen dalam membentuk amine, imine, amide, dan fungsionalisasi grup lainnya. Adanya gugus fungsi tersebut

menyebabkan permukaan polimer semakin hidrofilik dan menurunkan sudut kontak secara signifikan (Pal et al., 2015).

Pengaruh parameter pada pembangkit plasma merupakan hal yang paling utama untuk memperoleh modifikasi permukaan berupa morfologi dan sifat permukaan pada materi polimer. Telah dilakukan oleh Choirul 2016 perlakuan plasma nitrogen dengan tegangan RF dengan nilai daya 40 watt tanpa DC bias dan variasi pelarut, sedangkan oleh Masruroh, 2018 melakukan perlakuan plasma nitrogen dengan tegangan RF dengan nilai daya 40 watt tanpa DC bias dan variasi berat molekul. Keduanya menghasilkan penurunan nilai kekasaran pada lapisan polimer dan nilai tegangan RF 90 volt menunjukkan nilai hidrofilik optimum selama 2 menit dengan tekanan 40 Pa dan laju alir 60 ml/menit. Menurut Nike 2015 perlakuan plasma dengan DC bias 400 volt menunjukkan nilai hidrofilik yang optimum pada pelapisan polistiren di atas QCM dengan plasma oksigen. Pengembangan penelitian untuk modifikasi permukaan polistiren dengan menggunakan metode plasma RF dengan DC bias pada gas nitrogen perlu dilakukan untuk memberikan pengetahuan dalam hasil modifikasi suatu permukaan polimer berupa polistiren.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut, rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi tekanan chamber terhadap karakter plasma dan sifat hidrofobisitas permukaan polistiren pada DC bias?
2. Bagaimana pengaruh variasi laju alir gas terhadap karakter plasma dan sifat hidrofobisitas permukaan polistiren pada DC bias?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Lapisan polistiren 192.000 gr/mol dibuat menggunakan metode *spin coating* (kecepatan putar 3000 rpm selama 1 menit) dengan pelarut toluena.
2. Proses modifikasi permukaan polistiren dilakukan selama 2 menit dengan menggunakan daya 40 watt, tegangan RF 90 volt dan DC bias 400 volt.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisa hasil pengaruh variasi tekanan chamber terhadap karakter plasma dan sifat hidrofobisitas permukaan polistiren pada DC bias.
2. Menganalisa hasil pengaruh variasi laju alir gas terhadap karakter plasma dan sifat hidrofobisitas permukaan polistiren pada DC bias.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plasma

Plasma merupakan suatu fasa mirip gas yang terionisasi dan mempunyai energi yang tinggi, dimana gas yang akan terionisasi temperaturnya akan mendekati atau melebihi energi ionisasi atom. Sehingga proses ionisasi gas tersebut akan menghasilkan sifat atau wujud zat baru, yaitu plasma. Atom – atom tersebut kemudian terionisasi menjadi ion positif dan ion negatif. Partikel – partikel bermuatan tersebut tidak bisa dinyatakan bergerak bebas, karena terpengaruh oleh medan listrik sesamanya. Bellan, 2006 terdapat tiga parameter mendasar dari plasma, yaitu densitas partikel n (diukur dalam partikel setiap meter kubik), temperature T untuk masing – masing spesies (biasa diukur dalam eV, dimana $1 \text{ eV} = 11605 \text{ K}$), dan medan magnet *steady-state*. Plasma tidak hanya terdiri dari partikel bermuatan saja, ada juga partikel yang netral, dan jumlahnya juga mempengaruhi sistem tersebut.

Perkembangan teknologi plasma saat ini sudah memberikan pengaruh yang sangat besar, plasma merupakan substansi yang mirip dengan gas dengan bagian tertentu dari partikel terionisasi. Plasma menunjukkan perubahan gas yang terionisasi, sehingga ion dan elektron yang semula menjadi satu bagian menjadi terpisah. Plasma tidak memiliki bentuk atau volum yang tetap kecuali jika terdapat dalam wadah. Pembentukan plasma terjadi ketika gas diberikan suatu energi yang tinggi, maka gas tersebut akan mempunyai muatan akibat energi yang diberikan sehingga menjadi plasma melalui electron yang dimiliki oleh gas

tersebut. Menurut Ukhtary, plasma merupakan gas yang terionisasi sehingga elektron dapat terlepas dari atom-atom gas tersebut. Ketika gas-gas tersebut diberikan energi dalam bentuk panas maupun listrik atom gas akan mengalami tambahan energi yang jika sesuai dengan energi ionisasinya maka gas tersebut mengalami ionisasi dengan melepas elektron. Pada proses pembentukan plasma, terdapat dua plat elektroda sejajar di dalam *chamber* yang masing-masing terhubung pada tegangan sumber. Ketika kedua elektroda diberikan sumber tegangan masing-masing dengan beda tegangan yang tinggi, awan elektron yang terdapat pada logam elektroda akan mengalami loncatan dari katoda menuju anoda. Pada pergerakan elektron, elektron akan menumbuk molekul gas-gas yang terdapat diantara kedua elektroda, sehingga akan terbentuk reaksi atomik yang menghasilkan ion-ion spesies plasma.

Plasma merupakan bentuk zat yang paling umum dan dapat terjadi juga di lingkungan sekitar dengan syarat gas yang ada menerima energi yang cukup. Perubahan wujud zat secara umum dari wujud zat padat diberikan energi yang cukup, maka akan menjadi zat cair. Kemudian wujud zat cair diberikan energi yang cukup akan menjadi zat gas dan jika wujud zat gas diberikan energi yang cukup maka akan menjadi plasma.

Tabel 2.1 Perubahan wujud zat

| Dari | Ke | | | |
|--------|-------------|-----------|------------------------|----------|
| | Padat | Cair | Gas | Plasma |
| Padat | N/A | Mencair | Menyublim | - |
| Cair | Membeku | N/A | Menguap | - |
| Gas | Mengkristal | Mengembun | N/A | Ionisasi |
| Plasma | - | - | Rekombinasi/Deionisasi | N/A |

Plasma terbentuk dari ionisasi gas yang stabil dengan jumlah dari ion positif dan negatif yang sama. Ion – ion yang bebas tersebut memiliki muatan, namun dalam jarak pendek dan elektromagnetik tidak dapat mempengaruhi atau berinteraksi dengan ion tersebut, kecuali ion tersebut bertabrakan baik dengan ion ataupun dengan materi yang lain. Hal ini menjadi salah satu sifat elektrik dari plasma yang menunjukkan bahwa plasma sangat dipengaruhi oleh energi yang diterimanya untuk merubah gas menjadi plasma. Plasma yang terbentuk mempunyai atom – atom yang terionisasi mengakibatkan plasma bersifat konduktor dimana bereaksi kuat dengan suatu medan elektromagnetik. Plasma merupakan gas yang terionisasi, peristiwa ionisasi selalu ada pada proses terjadinya plasma.

Tabel 2.2 Reaksi ionisasi dan rekombinasi

| | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| $e + A \rightarrow A^+ + 2e$ | Ionisasi akibat tumbukan |
| $h\nu + A \rightarrow A^+ + e$ | Fotoionisasi |
| $A^+ + 2e \rightarrow A + e$ | Rekombinasi tiga-partikel |
| $A^+ + e \rightarrow A$ | Rekombinasi dua-partikel |

Pada plasma, terdapat tiga proses yang terjadi dalam reaktor. Proses tersebut adalah ionisasi, eksitasi, dan disosiasi:

1. Ionisasi

Proses ionisasi terjadi ketika elektron yang terikat dalam sebuah atom akan terlepas dari atom tersebut. Ionisasi dapat diartikan sebagai proses terlepasnya elektron dari suatu atom atau molekul dari ikatannya dengan pengaruh perubahan energi.

Pada proses tumbukan antara elektron dengan partikel-partikel gas tidak hanya terjadi proses ionisasi, melainkan akan menyebabkan peristiwa-peristiwa yang lainnya. Proses ionisasi terjadi dengan memperhatikan energi dari masing-masing elektron sebelum terjadi tumbukan, kebalikan dari proses ionisasi adalah proses rekombinasi. Rekombinasi terjadi dengan cara memberikan proses pengikatan elektron oleh ion dan pengikatan antar atom menjadi molekul, sehingga menjadikan elektron, ion, atom ataupun molekul menjadi spesies netral atau ion negatif yang disertai dengan pemancaran foton.

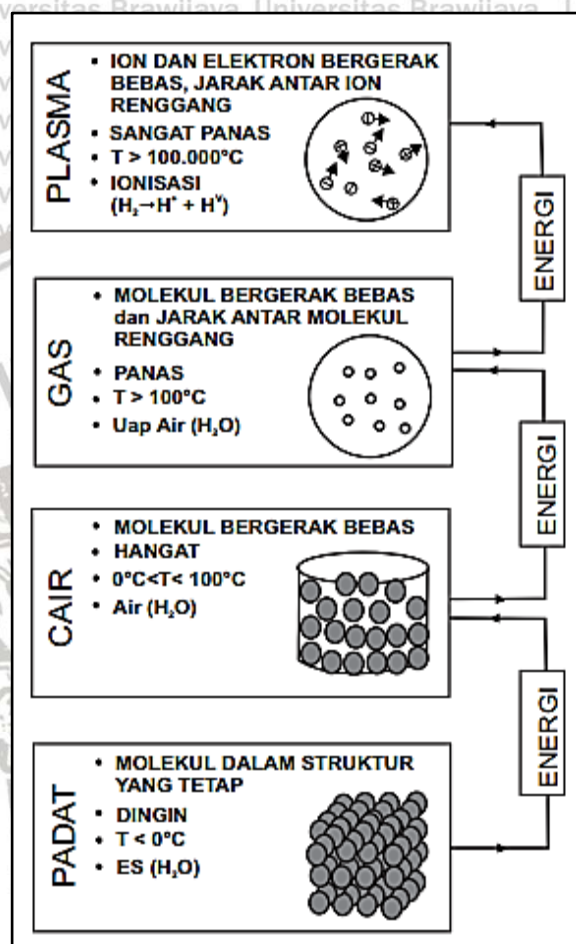
2. Eksitasi

Naiknya elektron pada suatu atom dari level energi yang rendah mengarah pada energi yang lebih tinggi. Eksitasi adalah proses berpindahnya elektron yang berada pada kulit atom, dalam prosesnya terjadi penyerapan energi tumbukannya dengan elektron. Peristiwa eksitasi tersebut berbeda dengan relaksasi atau deeksitasi, peristiwa deeksitasi ini disertai pemancaran foton dalam proses yang terjadi.

3. Dissosiasi

Proses lain yang dapat terjadi dalam pembangkitan plasma adalah dissosiasi molekul. Dissosiasi terjadi apabila suatu kondisi dimana elektron menabrak suatu molekul maka molekul tersebut akan terpisah menjadi atom – atom. Dissosiasi adalah peristiwa pemisahan molekul menjadi atom-atom penyusun awal dari

molekul tersebut (Nur, 2011). Perubahan ion-ion positif ataupun negatif merupakan indikasi bahwa gas yang telah mengalami disosiasi, maka tidak menutup kemungkinan untuk bisa mengalami kondisi gas menjadi terionisasi.

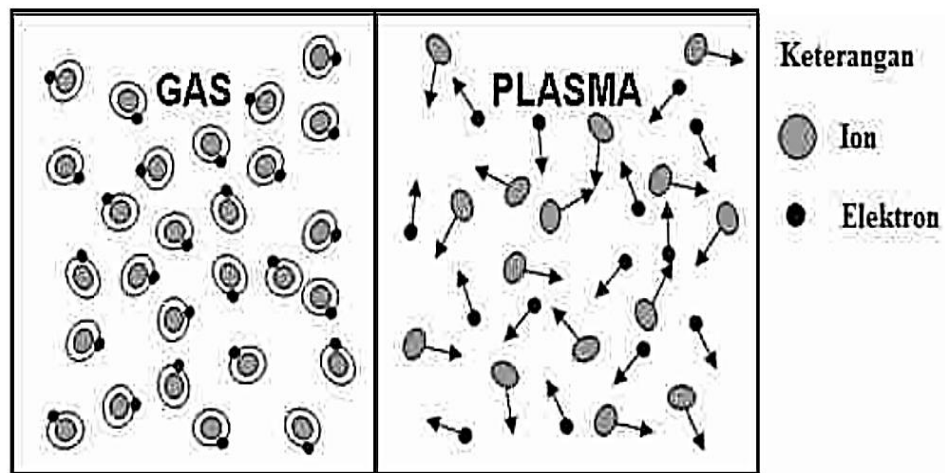


Gambar 2.1 Ilustrasi fase materi ke empat setelah fase padat, cair, dan fase gas

Ilustrasi pada gambar 2.1 menunjukkan terbentuknya plasma dari proses perubahan melalui urutan padat, cair, gas dan akhirnya plasma. Melalui logika urutan materi tersebut terdapat perubahan wujud zat dari gas bisa menjadi wujud zat baru berupa plasma. Gambar tersebut menunjukkan apabila es (merupakan materi padat) mendapatkan energi, maka ia akan mencair pada suhu di atas 0°C

menjadi air. Jika air diberikan energi dengan pemberian perlakuan energi setelah melewati suhu 100°C akan menjadi uap air dengan molekul H_2O . Pemberian energi secara terus-menerus pada uap air hingga menjadikan energi yang sangat besar, maka akan memecahkan molekul air menjadi H_2 dan O_2 dan akhirnya molekul-molekul gas ini akan terionisasi menjadi ion-ion positif dan elektron.

Pada keadaan peristiwa keseimbangan antara ion dan electron perubahan gas yang telah menerima energi yang besar disebut plasma.



Gambar 2.2 Ilustrasi perbedaan materi antara fase gas dengan fase plasma untuk gas hidrogen

Gambar 2.2 menunjukkan perbedaan antara gas dan plasma untuk atom hidrogen yang mempunyai atom berelektron satu (Nur, 2011), perubahan materi gas menjadi plasma dapat terlihat untuk gas antara ion dan elektron masih dalam satu ikatan,. Namun perubahan menjadi plasma menunjukkan antara ion dan elektron bergerak secara dinamis dan memungkinkan terjadinya tumbukan..

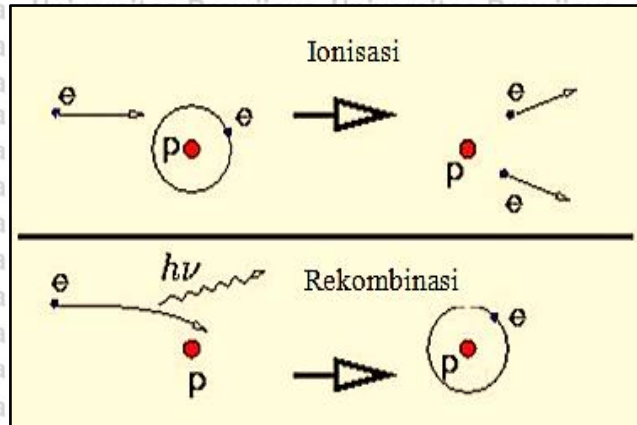
Pembentukan plasma dapat terjadi ketika temperatur atau energi suatu gas dinaikkan sehingga memungkinkan atom-atom gas terionisasi, sehingga saat gas tersebut akan melepaskan elektron-elektronnya yang pada keadaan normal

mengelilingi inti. Plasma yang pada dasarnya merupakan perubahan dari wujud zat gas, lebih singkat disebut gas terionisasi. Selain itu plasma yang terbentuk setelah adanya beda tegangan tertentu sehingga elektron-elektron bebas yang dihasilkan akan menumbuk gas dan mengakibatkan terjadinya proses ionisasi gas tersebut.

2.2 Karakter Plasma dengan OES

Plasma dapat disebut sebagai elemen fasa keempat di alam setelah fasa padatan, cairan dan fasa gas. Berbeda dengan fasa gas yang bersifat normal, plasma berisi gas yang mempunyai komponen nukleus atom (ion) dan elektron yang telah telah terpisah karena energi yang diterima dan memiliki sifat reaktif. Plasma dapat terbentuk secara alamiah seperti yang terjadi pada matahari atau pada elemen bintang-bintang di angkasa. Plasma juga dapat terbentuk dengan cara memberikan energi tinggi kedalam medium gas yang membuat gas tersebut mengalami proses disosiasi dan proses ionisasi. Tergantung dari jumlah energi yang ditransfer, kedua proses tersebut akan mengakibatkan transformasi gas netral menjadi partikel-partikel atau ion-ion yang bermuatan negatif dan positif yang sangat reaktif, baik secara sebagian ataupun bertransformasi secara menyeluruh.

Plasma adalah gas terionisasi yang memiliki energi tinggi. Plasma terdiri atas ion, elektron yang bermuatan negatif, molekul/atom netral dan molekul/atom radikal. Eksitasi, ionisasi, disosiasi dan penangkapan elektron dapat terjadi di dalam plasma akibat dari tumbukan yang terjadi diantara dua partikel plasma yaitu, elektron, ion atau netral (Roth, 1995).



Gambar 2.3 Proses tumbukan dalam plasma

Susunan pada plasma terdapat berbagai macam spesies akibat dari proses ionisasi, eksitasi, disosiasi, dan kombinasi dari ketiganya. Masing – masing spesies mengalami tabrakan atau tumbukan yang kompleks antara satu dengan lainnya. Ionisasi gas dipercaya sebagai langkah awal untuk membentuk plasma sehingga telah banyak hal yang telah dilakukan untuk membangkitkan plasma dengan memberikan energi kepada elektron bebas untuk menciptakan ionisasi melalui tumbukan. Pembangkitan plasma yang telah banyak dilakukan misalnya memberikan tegangan tinggi frekuensi radio (RF), frekuensi gelombang mikro dan tegangan tinggi DC. Elektron bebas di dalam ruang plasma meskipun dengan jumlah yang sangat sedikit akan menjadi awalan untuk menghasilkan plasma.

Ketika di dalam ruang tersebut terdapat medan listrik luar dengan cara memberikan beda potensial tinggi kepada elektroda maka elektron bebas mula-mula akan bergerak dipercepat menuju potensial tinggi yang lebih positif. Dalam perjalanannya elektron akan menumbuk gas yang diberikan/bersifat netral (Nur, 2011).

Karakter plasma yang dapat diidentifikasi berupa spesies, elektron dan ion, karakter plasma yang terbentuk dapat diukur menggunakan *optical emission spectroscopy* (OES), spektrum plasma yang dihasilkan dapat diketahui jenis spesies plasma yang terbentuk. OES merupakan instrumen yang dapat menangkap spektrum plasma dan menampilkannya dalam bentuk fungsi intensitas terhadap panjang gelombang (Masruroh et al., 2018).

2.3 Plasma RF-DC

Plasma dibangkitkan dengan cara memberikan energi pada suatu gas netral yang mengakibatkan gas menjadi bermuatan. Elektron dan ion terbentuk ketika elektron atau foton dengan energi yang cukup menabrak/bertabrakan dengan atom netral dan molekul pada gas tersebut. Salah satu cara sumber energi untuk membangkitkan plasma adalah energi termal, dimana reaksi kimia eksotermik pada molekul digunakan sebagai sumber energi utama. Kompresi gas secara adiabatik juga mampu memanaskan gas ke titik terbentuknya plasma (Conrads & Schmidt, 2000).

Pada RF-DC plasma sistem generator yang digunakan untuk membangkitkan plasma terdiri dari generator RF dan DC yang terletak secara horizontal di dalam *chamber*. Generator RF dan DC dikontrol secara terpisah sehingga *chamber* reactor netral secara elektrik. Penggunaan generator RF bertujuan untuk mempercepat proses ionisasi, sedangkan penggunaan generator DC dengan bias negatif bertujuan untuk mempercepat gerak ion untuk menumbuk material. Beberapa parameter yang sangat berpengaruh dalam pembangkitan plasma adalah tekanan, RF dan DC bias (Lynn, 2011). Adapun peran dan pengaruh parameter tersebut adalah sebagai berikut:

a) Tekanan

Tekanan yang dimaksud adalah tekanan gas yang dimasukkan dalam *chamber*. Tekanan yang diberikan mempengaruhi jumlah gas yang masuk ke dalam *chamber*. Sehingga mempengaruhi densitas ion yang terbentuk. Densitas ion akan mempengaruhi gerakan ion bombardmen.

b) Tegangan RF

Radio frekuensi berfungsi untuk membangkitkan plasma, dimana gas yang telah diberi tekanan dibangkitkan oleh RF sehingga gas terionisasi dan menjadi plasma. Semakin besar tegangan RF yang diberikan maka plasma yang terbentuk semakin cepat, demikian juga perubahan dari molekul ke atomik.

c) Bias DC

Bias DC diaplikasikan pada meja sampel di dalam *chamber* yang berfungsi mengontrol dan mempercepat pergerakan ion positif. Ion positif yang memiliki kecepatan tinggi menuju ke arah sampel mengakibatkan proses *ion bombardment* berjalan lebih cepat. Hal tersebut disebabkan oleh nilai DC bias negatif, sehingga ion positif akan mengarah menuju sampel sesuai letak generator DC tersebut. Selain itu DC bias juga memberikan energi pada ion yang akan bertumbukkan dalam sistem plasma.

2.4 Plasma Nitrogen

Nitrogen adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang N dan nomor atom 7, Atom nitrogen memiliki tujuh elektron. Atom

nitrogen mempunyai dua kulit atom yaitu K dan L, elektron valensinya yaitu 5 yang mana jika berikatan dengan atom nitrogen yang lain akan mengalami ikatan kovalen. Gas nitrogen dapat dijadikan sumber gas pada proses pembangkitan plasma sehingga terbentuklah plasma nitrogen. Plasma nitrogen sangat reaktif dapat dimanfaatkan untuk membombardir dan berikatan dengan permukaan material, dengan demikian dapat digunakan untuk memodifikasi suatu permukaan polimer (Foerch & Hunter, 1992).

Proses plasma nitrogen terjadi secara glow discharge, dimana hal tersebut terjadi pada saat atom-atom gas saling bertumbukan satu sama lain sehingga akan menimbulkan cahaya (*glow discharge*). Hal tersebut terjadi apabila tegangan yang diberikan cukup. Jika tegangan yang diberikan tidak sesuai maka tidak akan terjadi glow discharge dan tidak akan terbentuk plasma (Pye, 2003).

Beberapa jenis gas yang dapat digunakan sebagai plasma, yaitu :

a. Plasma gas inert

Helium, neon dan argon merupakan jenis gas inert yang banyak digunakan dalam plasma. Walaupun argon lebih umum digunakan karena harganya yang relative murah.

b. Plasma oksigen

Banyak dilakukan untuk modifikasi permukaan polimer.

c. Plasma nitrogen

Penggunaan plasma nitrogen digunakan untuk meningkatkan wettability, printability dan biokompatibilitas pada permukaan polimer.

d. Plasma flourin

Plasma yang mengandung gas flourid digunakan maka reaksi permukaan, etching dan plasma polimerisasi dapat terjadi secara serentak (Ebnesajjad, 2014).

Plasma berbasis gas nitrogen banyak digunakan untuk memberikan treatment pada metal. Polimer dan membrane polimerik. Pemanfaatan tersebut berkaitan dengan kemampuan plasma nitrogen dalam membentuk amine, imine, amide, dan fungsionalisasi grup lainnya. Adanya gugus fungsi tersebut menyebabkan permukaan polimer semakin hidrofilik dan menurunkan sudut kontak secara signifikan (Pal et al., 2015).

2.5 Modifikasi Permukaan

Modifikasi karakteristik permukaan material dengan teknik plasma meliputi adanya interaksi kuat antara reaktif spesies, elektron dan ion-ion yang terbentuk di dalam plasma dengan permukaan material tersebut. Ada dua hal atau proses yang akan terjadi karena adanya interaksi material dengan plasma, yaitu: proses aktivasi plasma, dimana biasanya plasma yang ditimbulkan tanpa melibatkan gas kerja yang dapat membentuk polimer seperti gas argon, oksigen, nitrogen dan lain-lain. Hasil dari polimerisasi plasma biasanya berupa terbentuknya lapisan film tipis (*thin solid film*) pada permukaan material. Kedua tipikal proses plasma yang disebut diatas adalah proses yang melibatkan plasma dengan tujuan tertentu untuk mengubah sifat permukaan material tanpa mengubah karakteristik *bulk* nya, termasuk sifat mekanik dari material tersebut.

Memodifikasi permukaan polistiren di atas QCM dengan menggunakan plasma nitrogen dilakukan untuk memberikan pengaruh perubahan terhadap

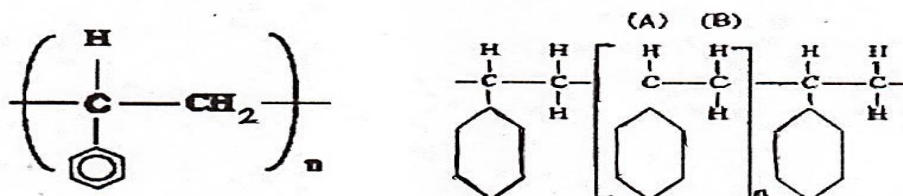
kinerja sistem QCM sebagai biosensor, yang dipengaruhi oleh perubahan morfologi dari lapisan polistiren tersebut.

2.5.1 Polistiren

Polistiren merupakan salah satu polimer yang tersusun atas banyak stirena.

Sifat polistiren pada suhu ruangan bersifat termoplastik padat dan mencair pada suhu yang cukup besar. Sifat-sifat lainnya diantaranya ialah transparan, kaku, getas, dan memiliki kestabilan dimensional yang baik sehingga sulit mengalami perubahan bentuk. Di samping itu, polistiren memiliki tingkat penyerapan yang sangat rendah terhadap uap air, asam, basa, alkohol, dan detergen (Ruhendi dan Sucipto, 2013). Selain itu polistirena menurut Sakti (2016), menjadi salah satu material polimer yang sering dideposisikan di atas substrat QCM karena memiliki beberapa sifat yang cocok. Diantaranya yaitu resistivitas yang tinggi dan yang paling penting yaitu baik sebagai immobilisasi biomolekul. Perlakuan plasma terhadap permukaan polistirena diatas sustrat QCM dilakukan dengan tujuan untuk memodifikasi permukaan.

Komponen dari struktur polistiren terbagi ke dalam tiga bagian: (1) Cincin benzena, (2) Atom karbon tersier dengan atom hidrogen tunggal dan disisipkan pada cincin benzena, (3) Metilena yang terhubung dengan atom karbon sekunder (Achhammer et al., 1951):



Gambar 2.4 Struktur Polistiren (Achhammer et al., 1951)

Polistirena memiliki sifat rigid sehingga dengan properti yang dimilikinya membuat polistirena memiliki keunggulan jika diaplikasikan sebagai lapisan material lain. Polistirena biasanya di lapiskan pada biosensor QCM karena memiliki resistivitas listrik yang tinggi ($>10^{17} \Omega\text{-cm}$) sehingga dapat digunakan sebagai lapisan insulator untuk melindungi kontak listrik antara elektroda sensor dengan cairan. Selain itu, polistiren juga memiliki keunggulan dalam immobilisasi biomolekul, yaitu dengan memodifikasi permukaannya agar memiliki kekasaran yang sesuai (Sakti et al., 2016).

2.5.2 Quartz Crystal Microbalance (QCM)

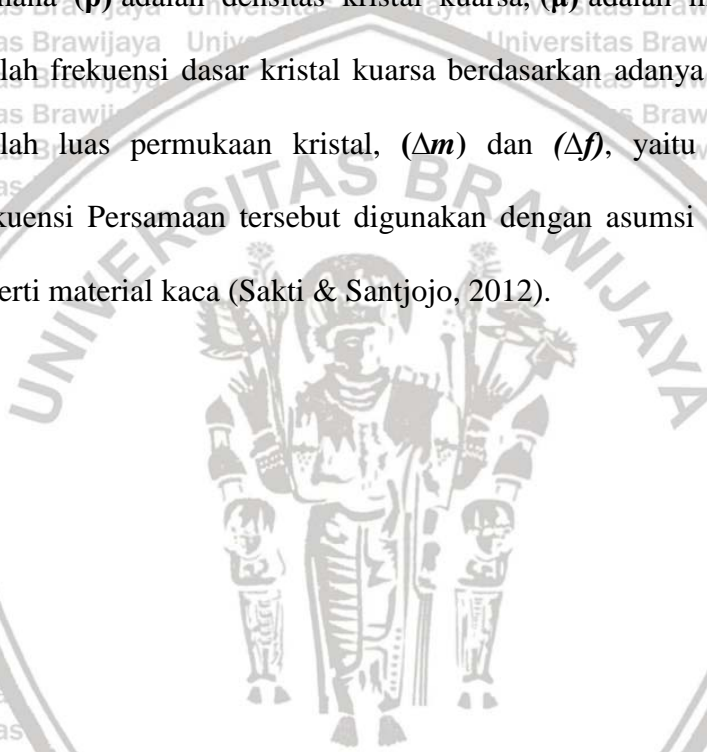
QCM merupakan salah satu jenis transduser yang digunakan untuk aplikasi biosensor. Elemen biologi yang dapat dideteksi oleh QCM, antara lain ion, gas, obat, substrat, enzim, mikrobiologi, protein, hormon, tumor, dan lain-lain. Sebuah biosensor QCM terdiri dari kristal kuarsa yang diapit di antara dua buah elektroda logam. Sensor QCM telah banyak diaplikasikan diberbagai bidang teknologi dan ilmu pengetahuan seperti detektor massa (dalam bentuk uap maupun larutan), biosensor, dan *electrochemical microbalance* (Jauch, 2007). Sensor *Quartz Crystal Microbalance (QCM)* merupakan sebuah resonator kristal kuarsa yang perubahan frekuensi resonansinya dipengaruhi oleh absorpsi materi pada permukaan elektrodanya. Sensitivitas dan spesifisitas QCM sangat dipengaruhi oleh immobilisasi lapisan yang dideposisikan pada membran resonator (Hewlett, 1997).

QCM digunakan sebagai biosensor maka akan terjadi pembebanan pada permukaan QCM. Akibatnya terjadi perubahan frekuensi resonansi QCM.

Hubungan antara perubahan frekuensi dan massa beban ditunjukkan oleh persamaan Sauerbrey berikut ini:

$$\Delta f = - \frac{2\Delta m f_0^2}{A\sqrt{\mu_q \rho_q}} \quad 2.1$$

Dimana (ρ) adalah densitas kristal kuarsa, (μ) adalah modul geser kristal, (f_0^2) adalah frekuensi dasar kristal kuarsa berdasarkan adanya efek piezoelektrik, (A) adalah luas permukaan kristal, (Δm) dan (Δf), yaitu perubahan massa dan frekuensi Persamaan tersebut digunakan dengan asumsi bahwa massa dianggap seperti material kaca (Sakti & Santjojo, 2012).





BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

Modifikasi permukaan polimer berupa polistiren pada QCM sudah banyak dilakukan penelitian, salah satu metode modifikasi permukaan pada polimer dengan menggunakan plasma. Proses pembangkitan plasma pada reaktor plasma dipengaruhi oleh beberapa komponen berupa tegangan RF, tekanan, laju alir dan DC bias. Penelitian ini dilakukan perlakuan plasma nitrogen menggunakan metode plasma RF dengan DC bias untuk mengetahui hasil modifikasi permukaan polistiren di atas QCM dengan melihat perubahan sifat hidrofobisitas menjadi hidrofilik atau semaki hidrofobisitas.

Gambar 3.1 merupakan suatu kerangka konsep penelitian untuk mengetahui hasil modifikasi lapisan polistiren di atas QCM. Plasma nitrogen dibangkitkan dengan tegangan RF dengan DC bias terdapat beberapa parameter pada pembangkit plasma berupa tegangan RF, tekanan pada *chamber* dan tegangan DC bias serta laju alir gas. Parameter tersebut akan mempengaruhi karakter plasma yang terbentuk berupa jenis spesies, densitas electron, temperatur elektron dan densitas ion.

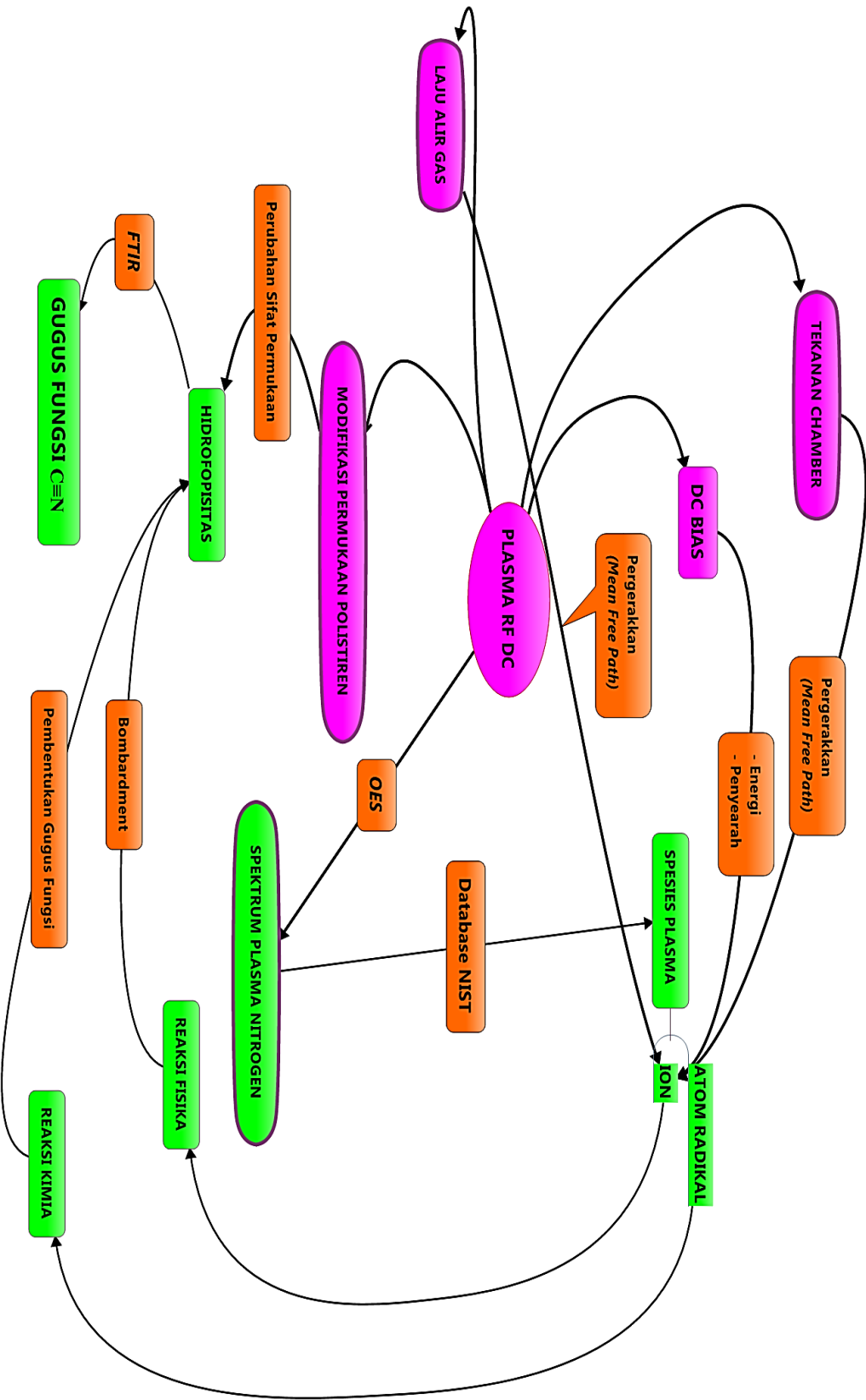
Pembentukan plasma pada metode plasma RF dengan DC bias untuk modifikasi permukaan terdapat dua reaksi yang terjadi, yaitu reaksi fisika dan reaksi kimia antara plasma dan substrat. Kedua reaksi tersebut dipengaruhi oleh karakter plasma yang terbentuk. Spesies netral dan radikal pada plasma dapat mempengaruhi reaksi kimia pada proses plasma terhadap modifikasi permukaan.

Sedangkan jenis ion dapat mempengaruhi reaksi fisika pada proses plasma terhadap modifikasi permukaan. Selain itu parameter DC bias akan

memberikan pengaruh terhadap pergerakan ion untuk dapat dikontrol arah pergerakan ion tersebut dan memberikan energi pada ion untuk melakukan tumbukan, sehingga nantinya dapat memberikan pengaruh terhadap tumbukan ion dengan substrat. Pembentukan plasma nitrogen dalam pembangkit atau reaktor plasma dilakukan analisis spesies plasma yang terbentuk dengan menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*). Perlakuan plasma nitrogen yang dilakukan dengan variasi tekanan dan laju alir akan memberikan hasil analisa terhadap modifikasi permukaan polistiren dengan pengaruh penambahan parameter RF dan DC bias.

Reaksi yang terjadi dalam reaktor plasma yaitu reaksi fisika dan reaksi kimia. Reaksi fisika akan memberikan pengaruh terhadap sifat hidrofobisitas permukaan polimer di atas QCM berupa bombardmen, sedangkan reaksi kimia akan memberikan pengaruh pembentukan gugus fungsi baru yang berikatan dengan permukaan polistiren. Pengaruh tekanan chamber saling berhubungan dengan laju alir gas pada proses pembentukan plasma, yaitu semakin besar laju alir yang diberikan akan memberikan tekanan yang besar.

Pengaruh tersebut akan mengakibatkan jarak bebas rata-rata partikel (*mean free path*) dalam chamber akan semakin kecil, sehingga partikel-partikel yang bertumbukan untuk membentuk plasma sulit terjadi karena energi yang akan digunakan tidak cukup. Elektron-elektron bergerak secara cepat ke seluruh arah, sehingga yang menimbulkan panas yang timbul dengan adanya gerakan masing-masing elektron disebabkan karena tumbukan dengan kisi-kisi atom, atom-atom pengotor dan beberapa pusat hamburan. Jarak rata-rata antara dua elektron-elektron yang bertumbukan disebut jarak bebas rata-rata (*mean free path*).



Gambar 3.1 Kerangka konsep penelitian

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Mei 2018 sampai dengan bulan April 2019 di Laboratorium Material, Laboratorium Plasma dan Material Maju, Laboratorium FTIR Kimia dan Laboratorium Sensor Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.

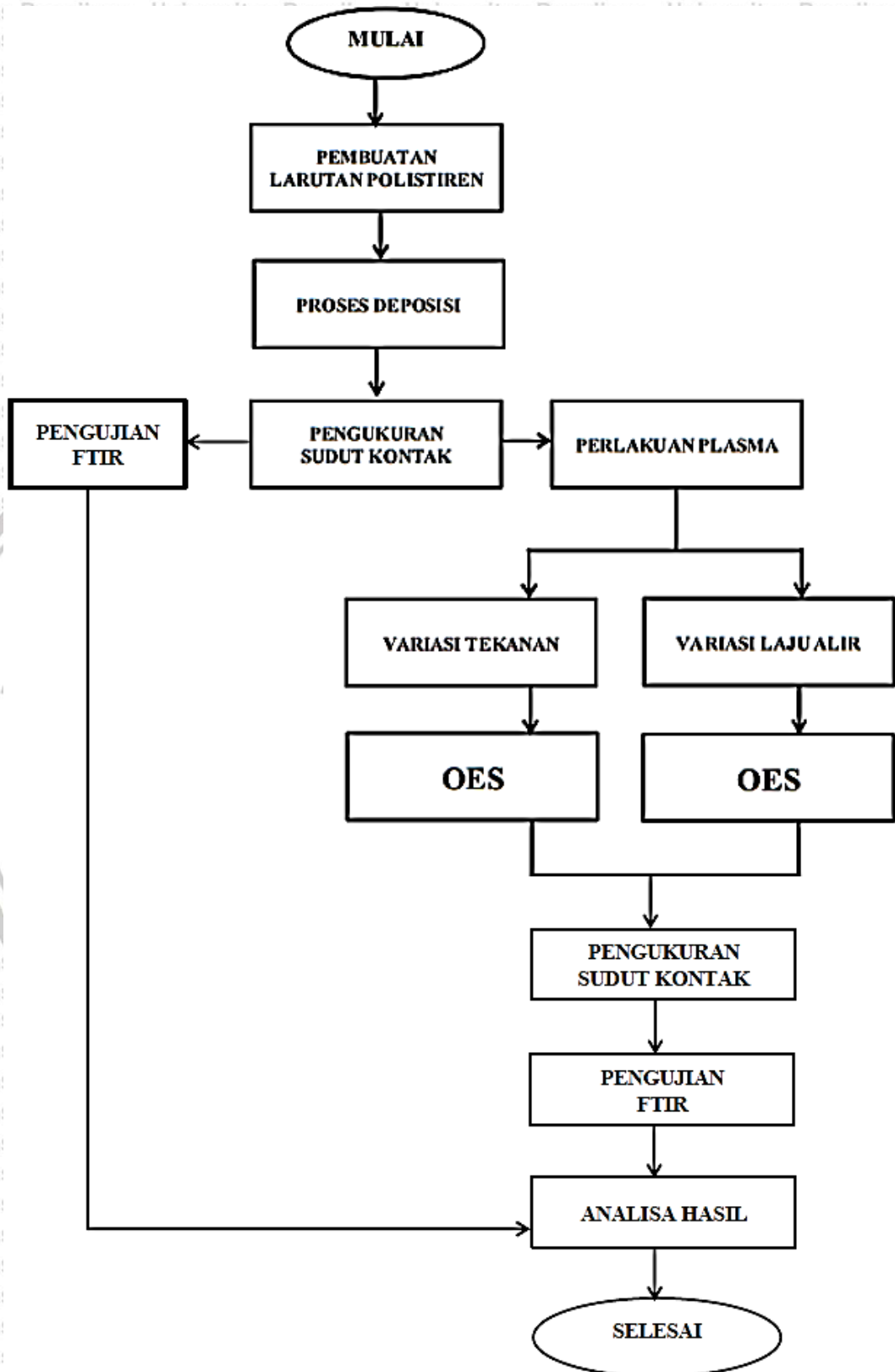
4.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

- Alat yang digunakan yaitu neraca, cawan petri, gelas kimia, pinset, *micropipet*, gelas vial, *ultrasound cleaner*, *spin coater*, oven, perangkat plasma RF-DC, *contact angle measurement*, *optical emission spectroscopy*, *spectral analysis*, dan *origin* serta FTIR.
- Bahan yang digunakan yaitu polistirena dengan berat molekul 192.000 gr/mol, pelarut *toluena*, aquades, dan alkohol teknis.

4.3 Metode Penelitian

Metode penelitian untuk pengaruh tekanan dan laju alir gas pada proses modifikasi permukaan polistiren menggunakan metode RF dengan DC bias, dilakukan dengan tahapan penelitian secara keseluruhan dapat dilihat dalam diagram alir penelitian berikut:



Gambar 4.1 Diagram alir penelitian

4.3.1 Pembuatan Larutan Polistiren

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu substrat dan target (yang dideposisikan). Bahan target yang digunakan adalah larutan polistirena, yaitu polistirena (biji plastik) yang dilarutkan dengan pelarut toluena.

Proses pembuatannya yaitu diawali dengan menimbang polistirena yang dibutuhkan untuk membuat larutan polistirena. Untuk membuat larutan polistirena 1 ml dibutuhkan polistirena sebesar 0,06 gram dan pelarut toluena 1 ml. Dengan massa jenis polistirena sebesar $1,04 \text{ gr/cm}^3$ atau $1,04 \text{ gr/ml}$, maka akan didapatkan konsentrasi sebesar $5,77\% \approx 6\%$ sesuai perhitungan berikut:

$$\text{Konsentrasi (\%)} = \frac{\text{zat terlarut (gr)}}{\text{pelarut (ml)} \times \rho_{\text{terlarut}} \left(\frac{\text{gram}}{\text{ml}} \right)} \times 100\%$$

(4.1)

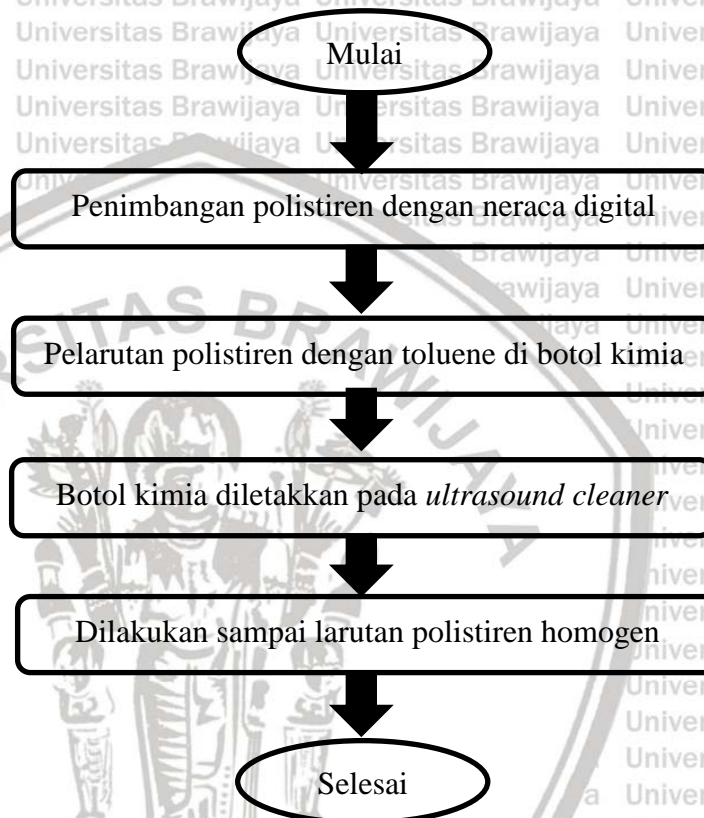
$$\text{Konsentrasi (\%)} = \frac{0,06 \text{ gram}}{1 \text{ ml} \times 1,04 \frac{\text{gram}}{\text{ml}}} \times 100\%$$

$$= 5,77\% \approx 6\%$$

(4.2)

Pelarutan polistirena dengan toluena pada gelas vial dilakukan selama waktu tertentu hingga polistirena terlarutkan semuanya. Pelarutan dilakukan di dalam lemari asam agar larutan tidak banyak yang menguap. Selain itu, pelarutan dilakukan dengan media *ultrasound cleaner* agar didapatkan larutan polistirena yang homogen. Pembuatan larutan juga harus

memperhatikan jumlah yang akan dideposisikan pada substrat, pada penelitian digunakan 30 substrat QCM yang tiap deposisi membutuhkan 50 μ l larutan polistirena. Sehingga dengan pembuatan larutan sebanyak 2 ml dapat digunakan deposisi hingga 40 substrat QCM.



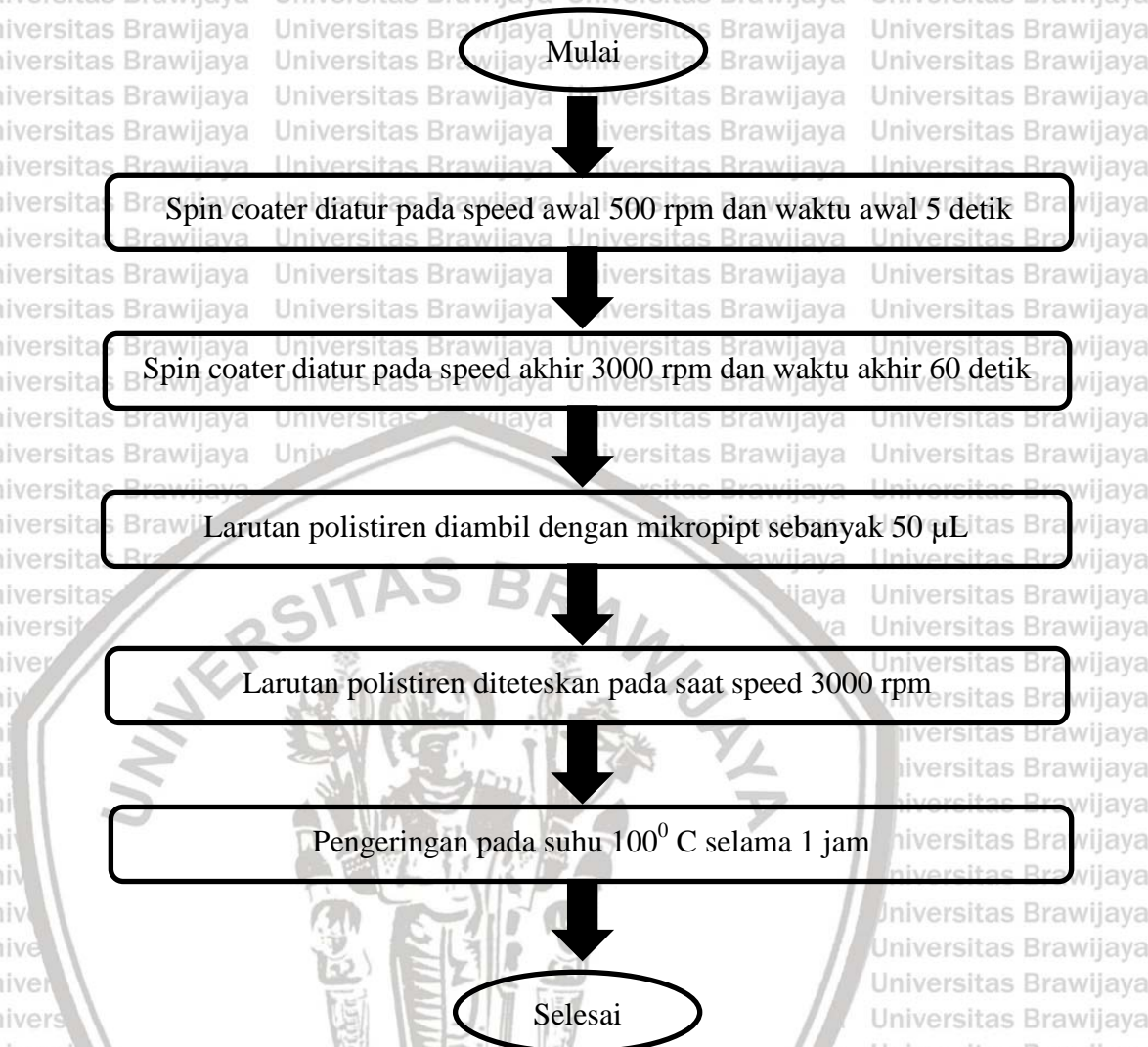
Gambar 4.2 Diagram alir pembuatan larutan polistiren

4.3.2 Proses Deposisi Larutan Polistirena

Deposisi lapisan polistirena di atas permukaan QCM menggunakan metode *Spin Coating*. *Spin coating* adalah salah satu metode deposisi lapisan tipis di atas substrat agar didapatkan lapisan yang seragam. Prosesnya yaitu dengan meneteskan larutan deposisi (polistirena) di atas substrat kemudian substrat diputar dengan kecepatan tertentu sesuai parameter dan larutan akan tersebar ke segala arah di atas substrat dengan adanya gaya sentrifugal.

Pada penelitian digunakan parameter kecepatan putar 3000 rpm (*rotation per minute*) selama 1 menit, dan diawali dengan kecepatan awal 500 rpm selama 5 detik sebagai tahap persiapan. Jumlah larutan polistirena yang dideposisikan sebanyak 50 μ l. Pemasangan substrat QCM pada *spin coater* menggunakan *holder* khusus preparat QCM. Penetesan larutan deposisi menggunakan *micropipet* yang diatur 50 μ l. Langkah-langkahnya yaitu:

1. QCM dipasang pada *holder* khusus dan *holder* dipasang pada bagian tengah *spin coater*.
2. *Spin coater* ditutup dan tekan tombol start, dan *spin coater* akan berputar dengan kecepatan awal 500 rpm (tahap persiapan).
3. Setelah 5 detik, akan menyala lampu tanda kecepatan kedua (*processing*) dengan kecepatan 3000 rpm, pada saat kecepatan inilah larutan deposisi ditetaskan dan ditunggu 1 menit.
4. Permukaan QCM yang dideposisi larutan polistirena akan cenderung berwarna kuning (putih tulang).
5. Setelah selesai QCM dipasang pada *seal* dengan kondisi sedikit terbuka agar lapisan deposisi kering dengan temperatur ruang.
6. Proses pengeringan dapat dilakukan dengan oven, pada penelitian digunakan parameter waktu selama 1-jam dengan temperatur 100° C.



Gambar 4.3 Diagram alir proses deposisi larutan polistiren

4.3.3 Pengukuran Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak (*contact angle*) ini bertujuan untuk menentukan tingkat kebasahan dari suatu permukaan ketika dibasahi oleh aquades. Pengukuran dilakukan menggunakan alat pengukur sudut contact dan divisualisasikan pada komputer (PC). Substrat QCM yang telah dideposisikan polistirena dipasang pada holder khusus QCM dan dipasang di depan kamera, posisi permukaan yang tertampilkan pada layar komputer

disesuaikan kedatarannya secara horizontal dengan mengontrol motor (kanan dan kiri) pada alat pengukur sudut kontak.

Setelah posisi permukaan preparat datar (sesuai garis horizontal pada software) aquades ditetaskan pada tengah elektroda QCM atau pada bagian yang terdeposisi larutan polistirena. Banyak aquades yang dideposisikan sebanyak 5 μl atau disesuaikan dengan luasan elektroda. Hasil gambar berupa cembungan tetesan aquades di atas lapisan polistirena, diambil dengan kamera pada software. Hasil gambar kemudian diolah menggunakan aplikasi *contact angle measurement.exe* dan didapatkan besar sudut kontak kanan dan kiri.

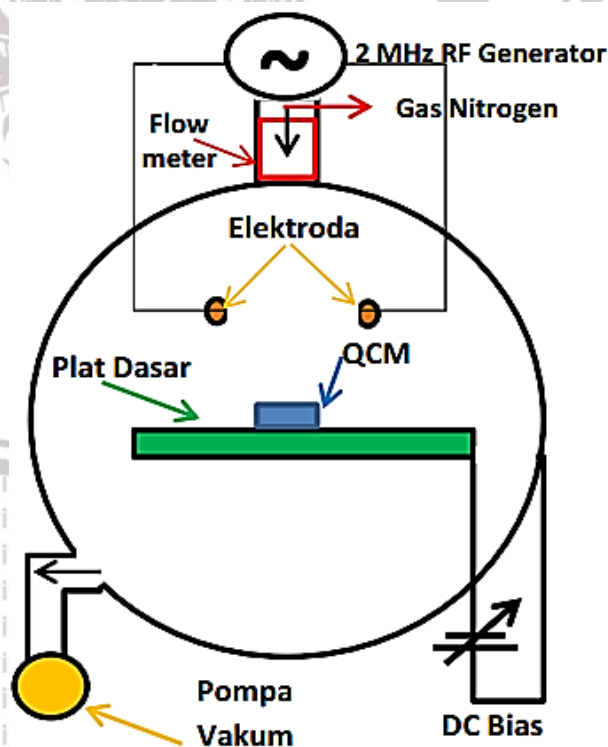
4.3.4 Perlakuan Plasma Nitrogen

Perlakuan plasma nitrogen pada substrat QCM yang telah dideposisikan lapisan polistirena menggunakan perangkat generator plasma RF-DC. Variasi yang diberikan yaitu tekanan (40, 50, 60, 70 dan 80 Pa) dan laju alir (20, 30, 40, 50, 60, dan 70 ml/menit) yang akan digunakan, sedangkan parameter lainnya yang tetap yaitu Tegangan RF 90 volt, Tegangan DC 400 volt, waktu *treatment* 2 menit, dan daya 40 watt. Variasi tekanan (menggunakan laju alir 60 ml/menit, RF 90 volt, DC 400 volt, daya 40 watt dan waktu 2 menit), sedangkan untuk variasi laju alir (menggunakan tekanan 40 Pa, RF 90 volt, DC 400 volt, daya 40 watt dan waktu 2 menit).

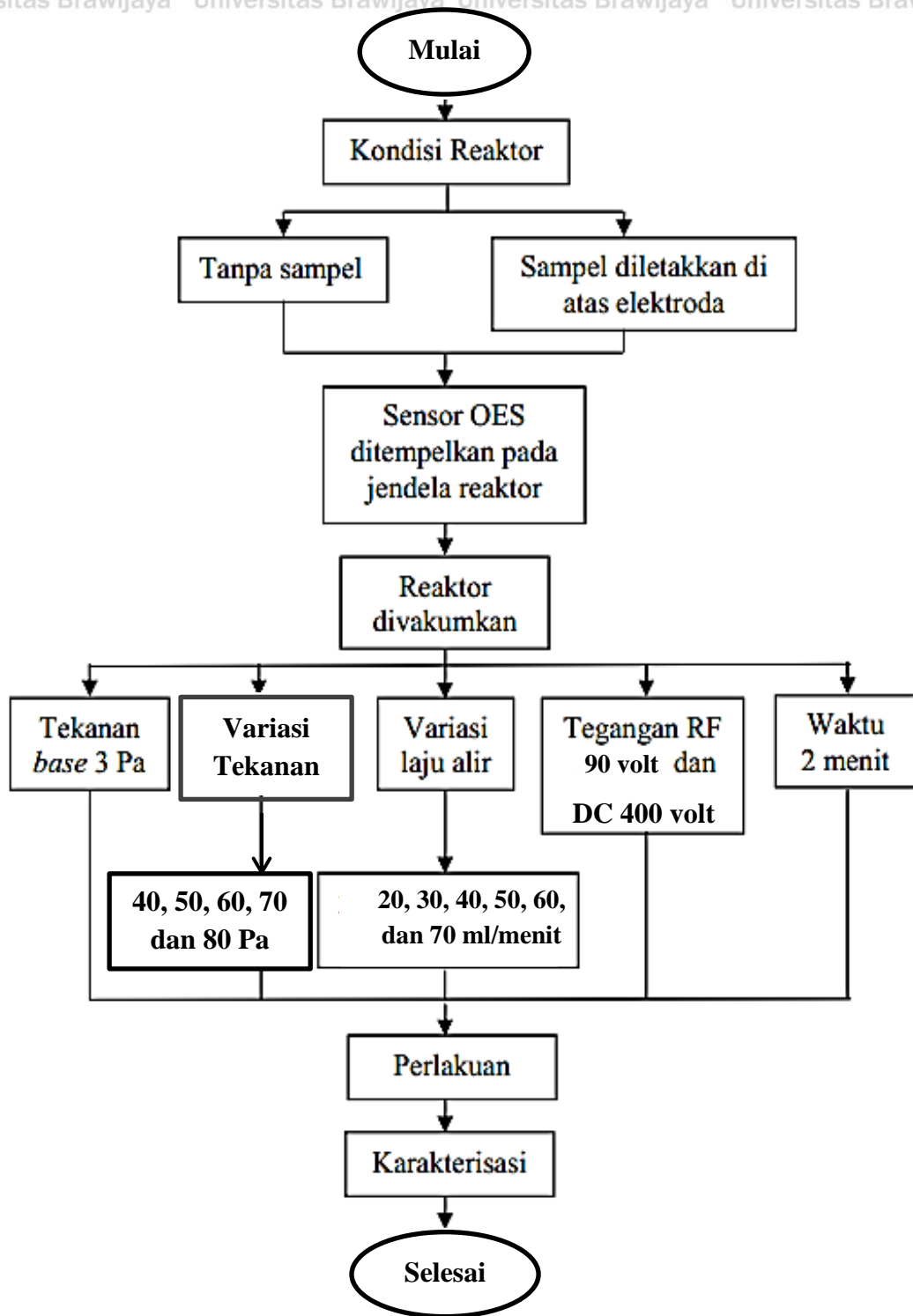
Perlakuan diawali dengan membersihkan ruang vakum (*chamber*) dan mengecek kelistrikan perangkat. Sampel dimasukkan dalam *chamber* dengan holder khusus QCM dan diatur posisinya. *Chamber* ditutup dengan pengunci dan lubang vent dipastikan tertutup. Setelah *chamber* tertutup, pompa

dinyalakan agar tekanan udara/gas dalam *chamber* menurun karena perlakuan plasma nitrogen membutuhkan kondisi yang homogen (hanya gas nitrogen yang dialirkan).

Nilai tekanan dalam *chamber* dapat dibaca melalui *vacum gauge* control hingga 3 Pa (seminimal mungkin). Setelah tekanan 3 Pa dicapai, gas nitrogen dialirkan sesuai parameter laju alir (20, 30, 40, 50, 60, dan 70 ml/menit) hingga tekanan yang diinginkan (40, 50, 60, 70 dan 80 Pa), sehingga di dalam *chamber* diasumsikan hanya terdapat gas nitrogen dan tegangan RF dan DC bias diatur sesuai parameter perlakuan plasma yang ditentukan. Selama proses perlakuan plasma, spektrum plasma diukur dengan *Optical Emission Spectroscopy* (AURORA 4000).



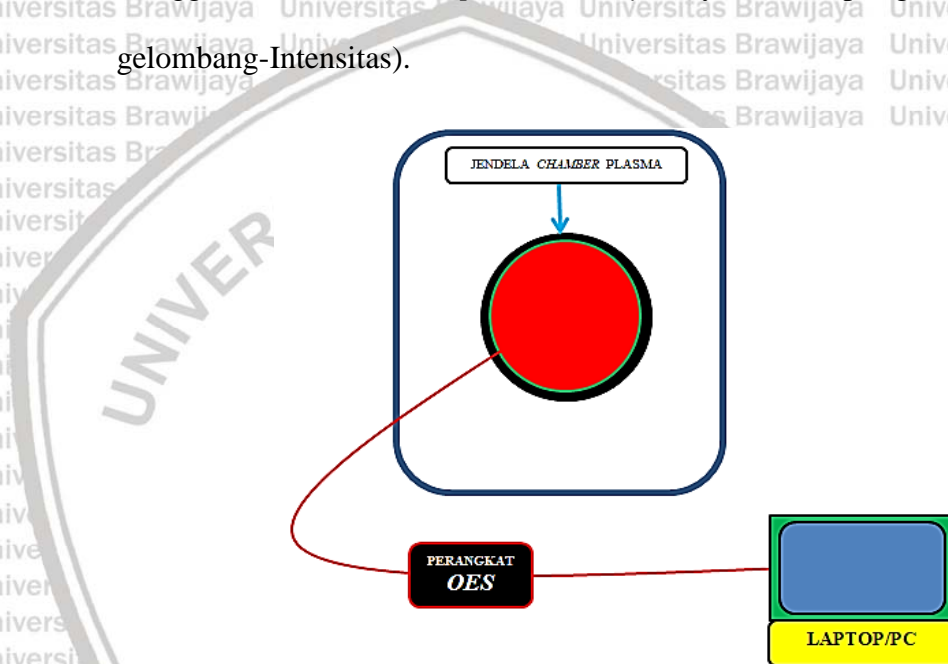
Gambar 4.4 Skema pembangkit plasma nitrogen metode plasma RF dengan DC bias



Gambar 4.5 Diagram alir proses modifikasi dengan plasma nitrogen

4.3.5 Pengukuran spektrum dengan OES (Optical Emission Spectroscopy)

Spektrum plasma diukur dengan *Optical Emission Spectroscopy* (AURORA 4000), pengukuran spektrum dengan cara menempelkan sensor dari spektrometer pada jendela *chamber* dan diusahakan sensor hanya mendeteksi warna spektrum dari dalam *chamber* dan tidak terpengaruh sinar dari luar. Hasil visualisasi spektrometer ditampilkan pada laptop/PC menggunakan software *spectral analysis* yaitu berupa grafik (Panjang gelombang-Intensitas).



Gambar 4.6 Ilustrasi pengujian spectrum dengan OES

Grafik hasil visualisasi software *Spectral Analysis* diolah untuk dianalisis bentuk peak grafik yang muncul menggunakan software origin.

Bentuk peak pada grafik akan muncul informasi nilai panjang gelombang dan intensitas pada puncak-puncak yang muncul. Hasil informasi inilah spesies plasma dapat ditentukan. Nilai-nilai panjang gelombang dan intensitas yang muncul dapat dicocokkan pada *Atomic Database NIST* yang dapat diakses di halaman NIST.

Panjang gelombang pada grafik yang akan dicocokkan dengan database tidak selalu sama persis, tetapi cukup mendekati dengan database. Untuk mencari spektrum spesies diharuskan mengisi masukan yaitu, spektrum transisi yang ingin ditampilkan dan rentang (*Range*) panjang gelombang atau batas bawah dan batas atas panjang gelombang yang ingin ditampilkan.

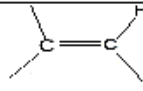
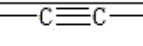
4.3.6 Pengujian Pembentukan Gugus Fungsi dengan FTIR

Pada dasarnya Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) adalah sama dengan Spektrofotometer IR dispersi. Menurut Yang, 2011 bahwa yang membedakannya adalah pengembangan pada sistim optiknya sebelum berkas sinar inframerah melewati sampel. Hasil dari FTIR dapat dilihat dengan frekuensi yang dinyatakan dalam bilangan gelombang. Lebih jelasnya untuk spektrum inframerah yang dihasilkan oleh FTIR disajikan dalam plot antara frekuensi transmisi atau absorpsi yang dinyatakan dalam bilangan gelombang (cm^{-1}) pada sumbu y.

Prinsip kerja dari dalam sistem FTIR adalah interaksi antara materi berupa molekul senyawa kompleks dengan energi berupa sinar inframerah. Kemudian energi tersebut akan mengakibatkan molekul-molekul bergetar atau bervibrasi, dimana besarnya energi vibrasi pada setiap komponen molekul berbeda-beda bergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya sehingga memberikan hasil frekuensi yang berbeda. Melalui indikator perbedaan tingkat energi vibrasi komponen molekul tersebut, maka analisis spektroskopi inframerah dapat memberikan hasil identifikasi keberadaan komponen atau gugus fungsi dalam suatu molekul.

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan plasma terhadap QCM secara kimiawi, dengan tujuan untuk memperoleh perbandingan gugus fungsi antara QCM perlakuan plasma dengan QCM tanpa perlakuan plasma. Selain itu untuk mengetahui terbentuknya gugus fungsi baru akibat adanya perlakuan plasma nitrogen. Menurut Masrurroh, 2018 bahwa nilai bilangan gelombang 2300-2400 cm^{-1} merupakan gugus fungsi dari ikatan $\text{C}\equiv\text{N}$ yang bersifat polar. Selain itu di dalam keterangan *Principle Of Instrumental Analysis*, Skoog, Holler, Nieman, 1998 juga terdapat nilai bilangan gelombang untuk gugus fungsi $\text{C}\equiv\text{N}$ sebagai berikut:

Tabel 4.1 Pembentukan ikatan gugus fungsi terhadap nilai gelombang (daerah frekuensi)

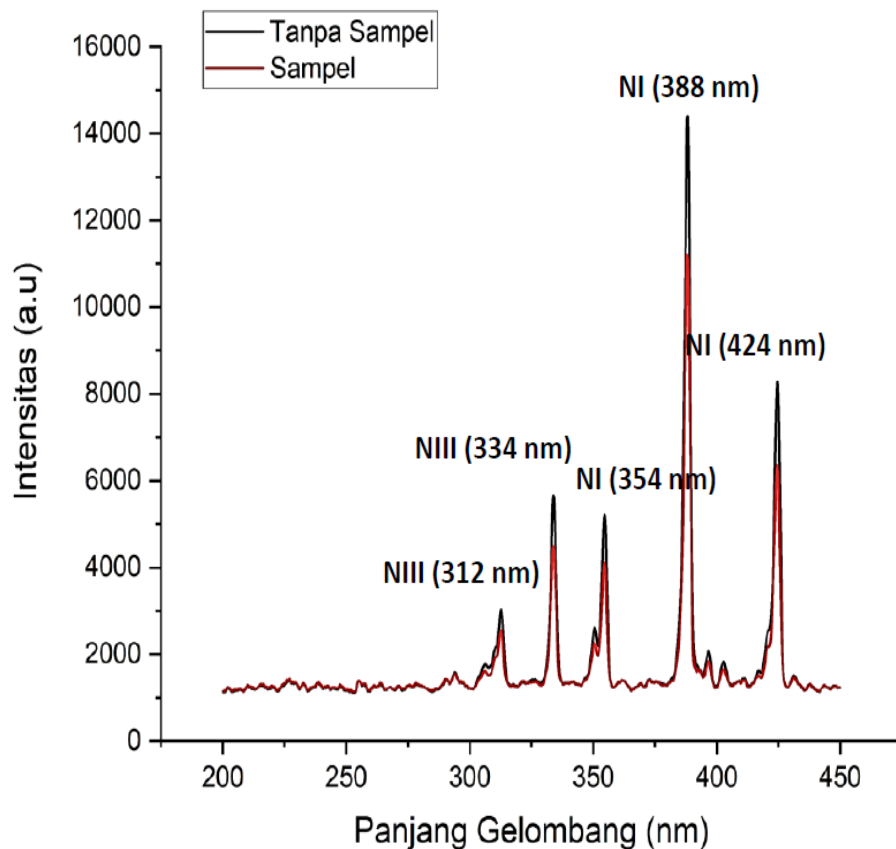
| Ikatan | Tipe Senyawa | Daerah frekuensi (cm^{-1}) | Intensitas |
|--------------------------|--|---------------------------------------|---|
| C - H | Alkana | 2850 – 2970 1340 - 1470 | Kuat Kuat |
| C - H | Alkena  | 3010 – 3095 675 - 995 | Sedang Kuat |
| C - H | Alkuna  | 3300 | Kuat |
| C - H | Cincin Aromatik | 3010 – 3100 690 – 900 | Sedang Kuat |
| O - H | Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol | 3590 – 3650 3200 – 3600 | Berubah-ubah Berubah-ubah, terkadang melebar |
| | monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat | 3500 – 3650 2500 - 2700 | Sedang Melebar |
| N - H | Amina, Amida | 3300 – 3500 | Sedang |
| $\text{C}=\text{C}$ | Alkena | 1610 – 1680 | Berubah-ubah |
| $\text{C}=\text{C}$ | Cincin Aromatik | 1500 – 1600 | Berubah-ubah |
| $\text{C}\equiv\text{C}$ | Alkuna | 2100 – 2260 | Berubah-ubah |
| C - N | Amina, Amida | 1180 – 1360 | Kuat |
| $\text{C}\equiv\text{N}$ | Nitril | 2210 – 2280 | Kuat |
| C - O | Alkohol, Eter, Asam Karborsilat, Ester | 1050 – 1300 | Kuat |
| $\text{C}=\text{O}$ | Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester | 1690 – 1760 | Kuat |
| NO_2 | Senyawa Nitro | 1500 – 1570 1300 - 1370 | Kuat Kuat |

Sumber: *Principle Of Instrumental Analysis*, Skoog, Holler, Nieman, 1998.

BAB V
PEMBAHASAN

5.1 Perubahan Karakter Plasma Nitrogen terhadap Variasi Tekanan Chamber dan Laju Alir Menggunakan Metode Plasma RF dengan DC Bias

Plasma nitrogen menggunakan metode RF DC bias digunakan untuk memodifikasi permukaan polistiren di atas QCM. Plasma merupakan gas yang mengalami ionisasi atau terionisasi dan termasuk wujud zat keempat. Plasma mempunyai beberapa spesies diantaranya yaitu molekul gas, atom gas, ion, elektron dan atom radikal.

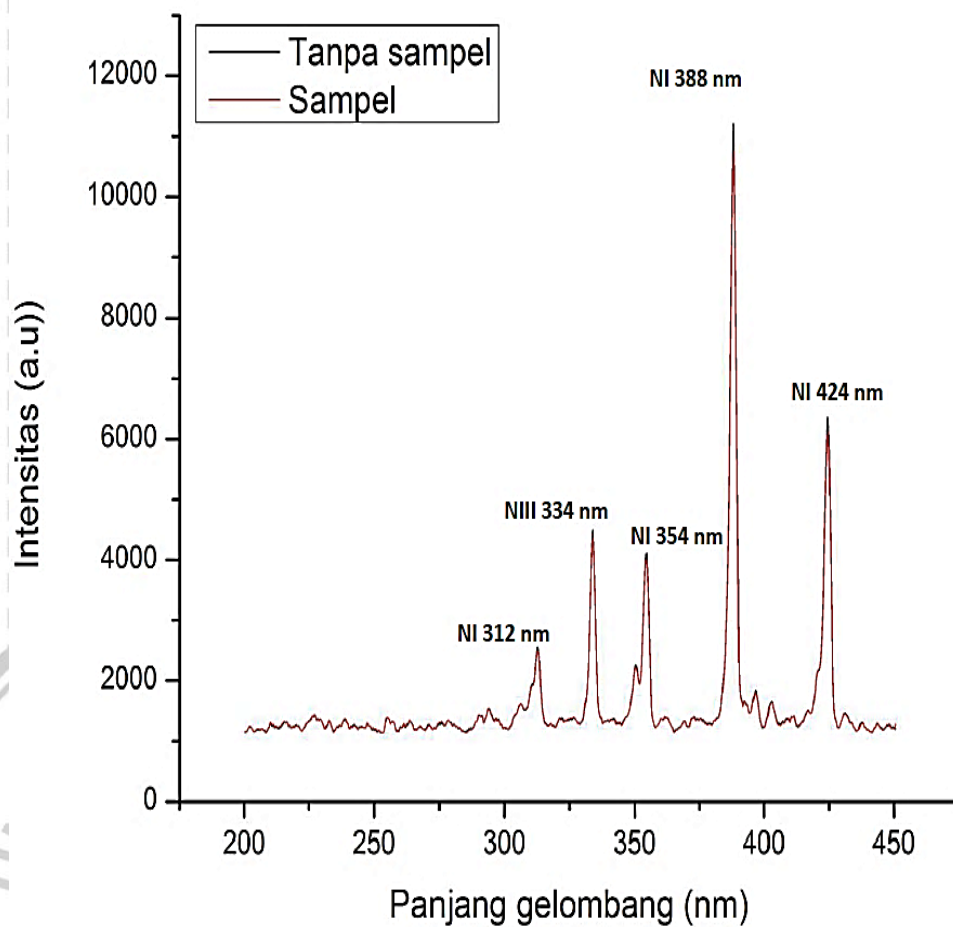


Gambar 5.1 Perubahan intensitas plasma dengan pemberian sampel dan tanpa sampel pada pembangkit plasma RF dengan DC bias

Gambar 5.1 merupakan perubahan hasil pembentukan plasma sebelum diberikan sampel dengan setelah diberikan sampel pada perlakuan plasma nitrogen menggunakan metode RF dengan DC bias. Secara garis besar perubahan intensitas plasma pada setiap panjang gelombang setelah diberikan sampel mengalami penurunan intensitas plasma. Panjang gelombang menunjukkan spesies plasma yang terbentuk, spesies yang terbentuk dapat ditentukan melalui database NIST. Teridentifikasi NI dan NIII dengan nilai panjang gelombang sebagai acuan pada database NIST, informasi pada database NIST untuk hasil yang didapatkan yaitu NI sebagai atom N yang radikal atom N (NI merupakan N radikal yang reaktif) dan NIII merupakan ion N^{2+} .

5.1.1 Pengaruh variasi tekanan chamber terhadap perubahan karakter plasma nitrogen

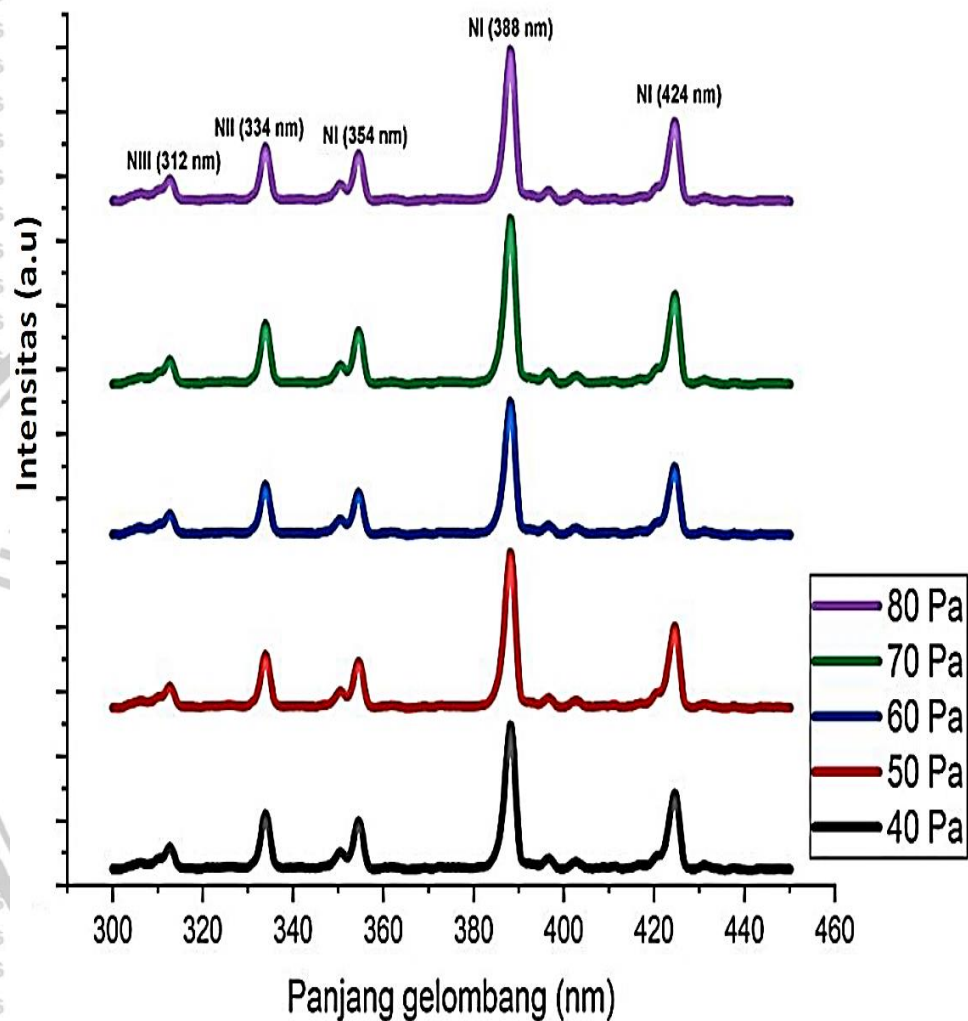
Proses gas nitrogen murni yang diberikan energi besarnya sama atau lebih dari energi ionisasi gas tersebut, maka akan menghasilkan ion-ion positif dari medium gas ataupun elektron gas nitrogen. Hal demikian dikarenakan ion akan terlepas dari atomnya ketika mendapatkan energi yang lebih dari energi ikatnya. Tekanan pada chamber memberikan pengaruh terhadap pergerakan ion plasma yang terbentuk, sehingga tumbukan ion terhadap permukaan polistiren akan bisa memberikan perubahan karakter permukaan polistiren di atas QCM.



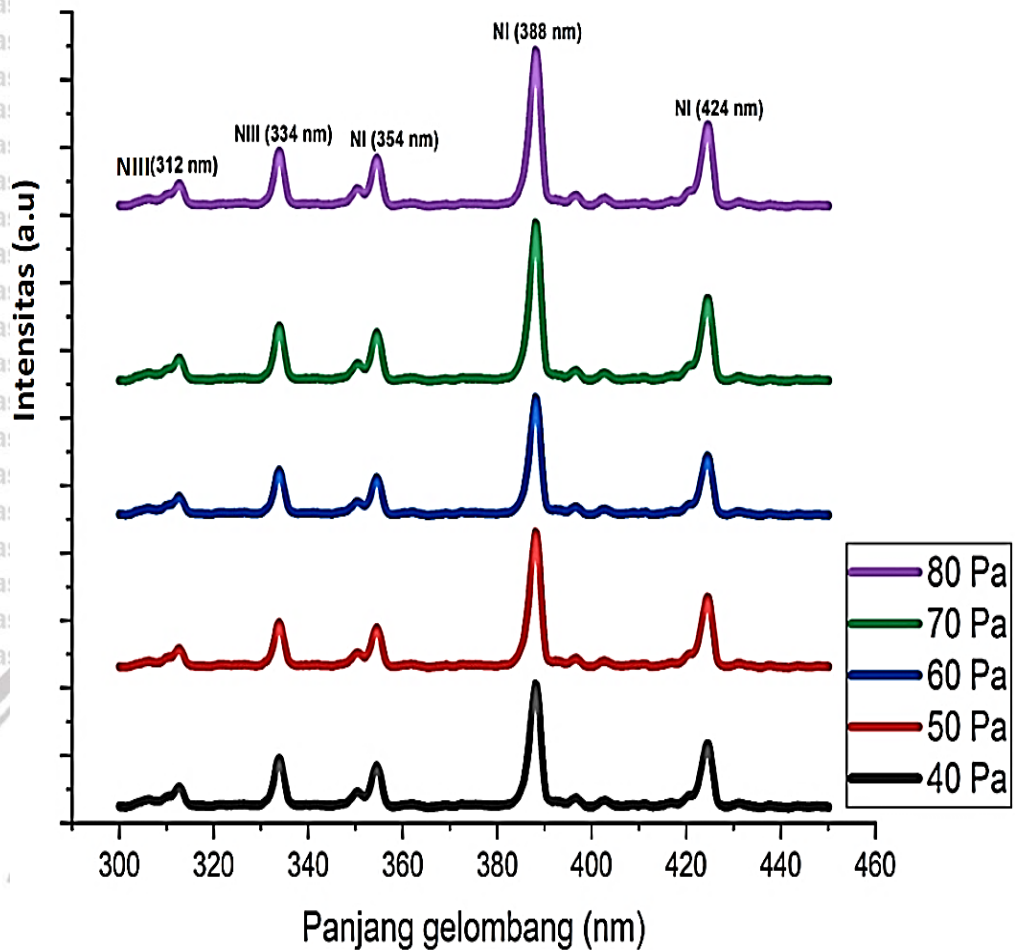
Gambar 5.2 Spektrum plasma nitrogen pada tekanan 50 Pa

Gambar 5.2 menunjukkan hasil spektrum plasma nitrogen pada tekanan 50 Pa, teridentifikasi NI dan NIII dengan nilai panjang gelombang sebagai acuan yang terdapat pada database NIST. Spesies plasma nitrogen yang dominan terdeteksi merupakan spesies radikal atom N (NI) pada panjang gelombang 388 nm dan 424 nm, dan NIII (N^{2+}) pada 334 nm. Selain itu gambar 5.2 juga menunjukkan perubahan intensitas sebelum dan setelah diberikan sampel pada perlakuan plasma. Intensitas spektrum plasma mengalami perubahan pada setiap panjang gelombang dengan semakin besar tekanan maka semakin besar perubahan intensitas pada spektrum plasma yang dihasilkan. Sedangkan untuk nilai intensitas plasma pada variasi tekanan

chamber (40, 50, 60, 70, dan 80 Pa) dapat dilihat secara jelas pada gambar 5.3 dan gambar 5.4, yang menunjukkan intensitas plasma sebelum dan setelah perlakuan plasma diberikan sampel berupa QCM yang dilapisi polistiren.



Gambar 5.3 Intensitas plasma nitrogen tanpa pemberian sampel pada variasi tekanan chamber



Gambar 5.4 Intensitas plasma nitrogen dengan pemberian sampel pada variasi tekanan chamber

Penurunan intensitas seperti gambar 5.2 terjadi pada semua treatment plasma yang dilakukan. Salah satu contoh data penurunan intensitas ketika proses plasma bisa dilihat pada tabel 5.1. Pada tabel tersebut terlihat bahwa spesies NI ketika terdapat sampel menurun dengan jumlah yang bervariasi. Intensitas spektrum plasma mengalami perubahan pada setiap panjang gelombang dengan semakin besar tekanan maka semakin besar perubahan intensitas pada spektrum plasma yang dihasilkan. Tekanan yang semakin besar akan meningkatkan pergerakan ion untuk melakukan tumbukan,

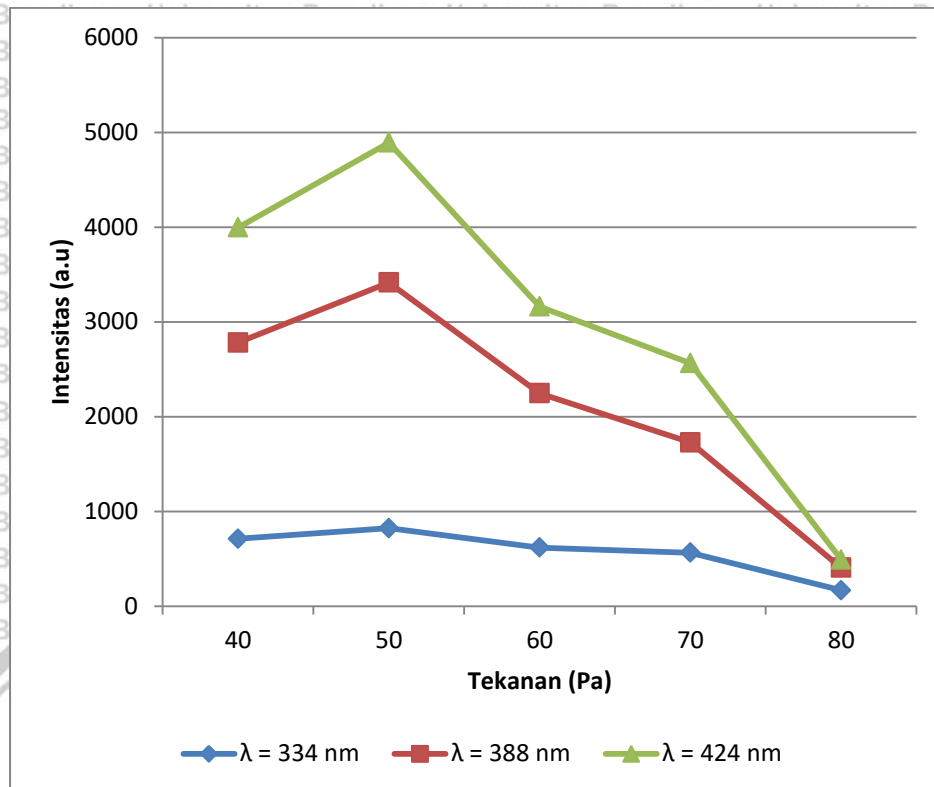
sehingga meningkatkan efektifitas dari mekanisme ion bombardment dari plasma dengan adanya pengaruh DC bias yang telah diberikan. Ion bombardment akan memutus rantai polistiren, namun karena dalam plasma terdapat intensitas NI yang cukup tinggi (NI merupakan N radikal yang reaktif), maka spesies NI inilah yang akan bereaksi dengan lapisan polistiren.

Maka dari itu, semakin besar tekanan semakin efektif mekanisme ion bombardment yang terjadi, dan semakin besar pula penurunan intensitas NI pada plasma.



Tabel 5.1 Hubungan tekanan chamber dengan perubahan nilai intensitas plasma nitrogen

| No | Tekanan (Pa) | Intensitas (a.u) | | | | | | | | |
|----|--------------|----------------------------|----------|---------|----------------------------|-----------|---------|----------------------------|---------|---------|
| | | $\lambda = 334 \text{ nm}$ | | | $\lambda = 388 \text{ nm}$ | | | $\lambda = 424 \text{ nm}$ | | |
| | | Sebelum | Setelah | Selisih | Sebelum | Setelah | Selisih | Sebelum | Setelah | Selisih |
| 1 | 40 | 5519 | 4808 | 711 | 12390.857 | 10319.143 | 2071.71 | 7090.86 | 5877.86 | 1213 |
| 2 | 50 | 5317.14 | 4495 | 822.143 | 13803.857 | 11211 | 2592.86 | 7842.57 | 6365.43 | 1477.1 |
| 3 | 60 | 5896.43 | 5277.571 | 618.858 | 11549.857 | 9921.714 | 1628.14 | 6508.86 | 5593.14 | 915.71 |
| 4 | 70 | 5087.71 | 4523.429 | 564.285 | 14060.143 | 12896.571 | 1163.57 | 8132.71 | 7296.29 | 836.43 |
| 5 | 80 | 5444.29 | 5277.571 | 166.715 | 12974 | 12735.43 | 238.57 | 7383.43 | 7296.29 | 87.143 |



Gambar 5.5 Hubungan tekanan chamber dengan perubahan nilai intensitas plasma nitrogen

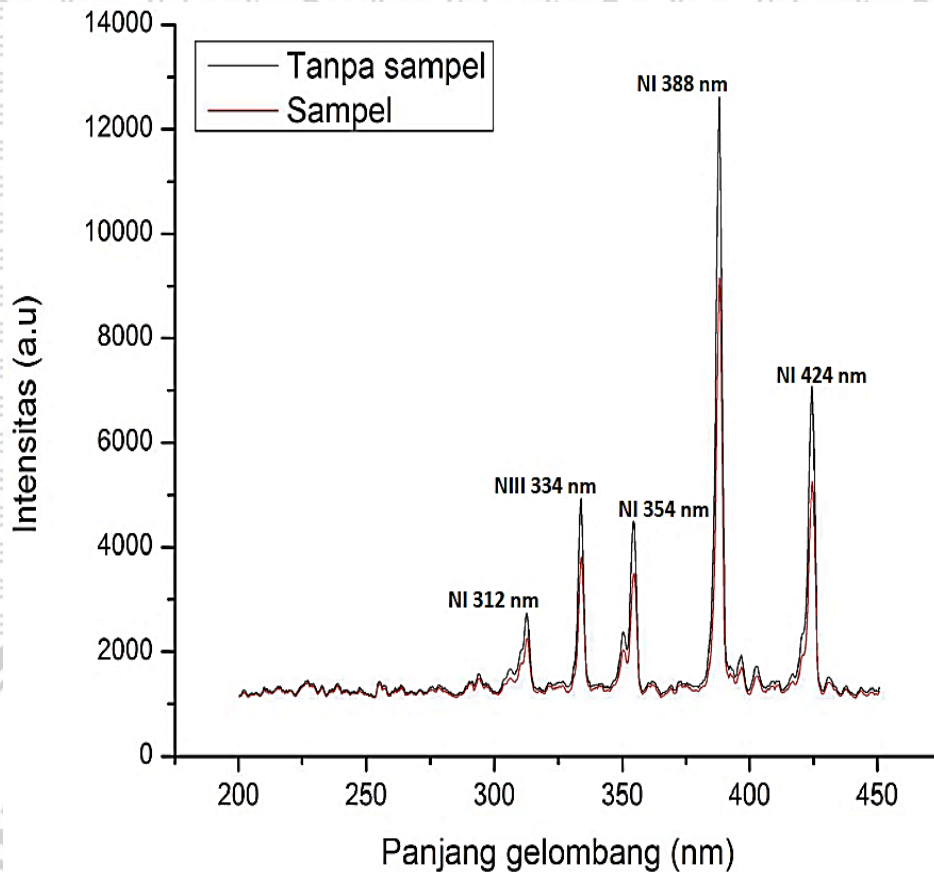
Gambar 5.5 menunjukkan pengaruh tekanan chamber terhadap intensitas plasma nitrogen yaitu hasil selisih sebelum dan setelah reaktor plasma diberikan sampel pada tiga panjang gelombang yang mempunyai intensitas dominan berupa 334 nm (NIII), 388 nm (NI) dan 424 nm (NI). Semakin besar tekanan yang diberikan, maka semakin besar perubahan intensitas plasma pada setiap panjang gelombang. Perubahan intensitas plasma yang paling optimal terjadi pada perlakuan plasma dengan tekanan 50 Pa, sedangkan tekanan 60 Pa mengalami penurunan. Hal demikian disebabkan oleh reaksi ionisasi dan rekombinasi, elektron yang menumbuk molekul tidak memiliki kesempatan untuk mempercepat diri. Akibatnya, kecepatan elektron cenderung rendah dan ketika menumbuk partikel netral

besar kemungkinan elektron akan terpantulkan kembali dan tidak terjadi ionisasi. Reaksi ionisasi yang tidak terpenuhi inilah yang menjadikan intensitas plasma menjadi menurun akibat populasi partikel yang terlalu tinggi. Namun penyebab lain bisa terjadi jika elektron masih mampu mengionisasi gas nitrogen, maka penurunan perubahan intensitas juga dipengaruhi adanya reaksi rekombinasi yang akan memberikan penghalang pada elektron untuk melakukan ionisasi ataupun rekombinasi kembali.

Penghalang tersebut bisa berupa molekul atau atom nitrogen yang berasal dari reaksi rekombinasi. Ionisasi melepaskan elektron sedangkan rekombinasi menangkap elektron disertai dengan melepaskan energi foton. Hubungan ini terjadi secara bergantian dalam proses plasma, sehingga mempengaruhi proses pembentukan plasma.

5.1.2 Pengaruh variasi laju alir gas terhadap perubahan karakter plasma nitrogen

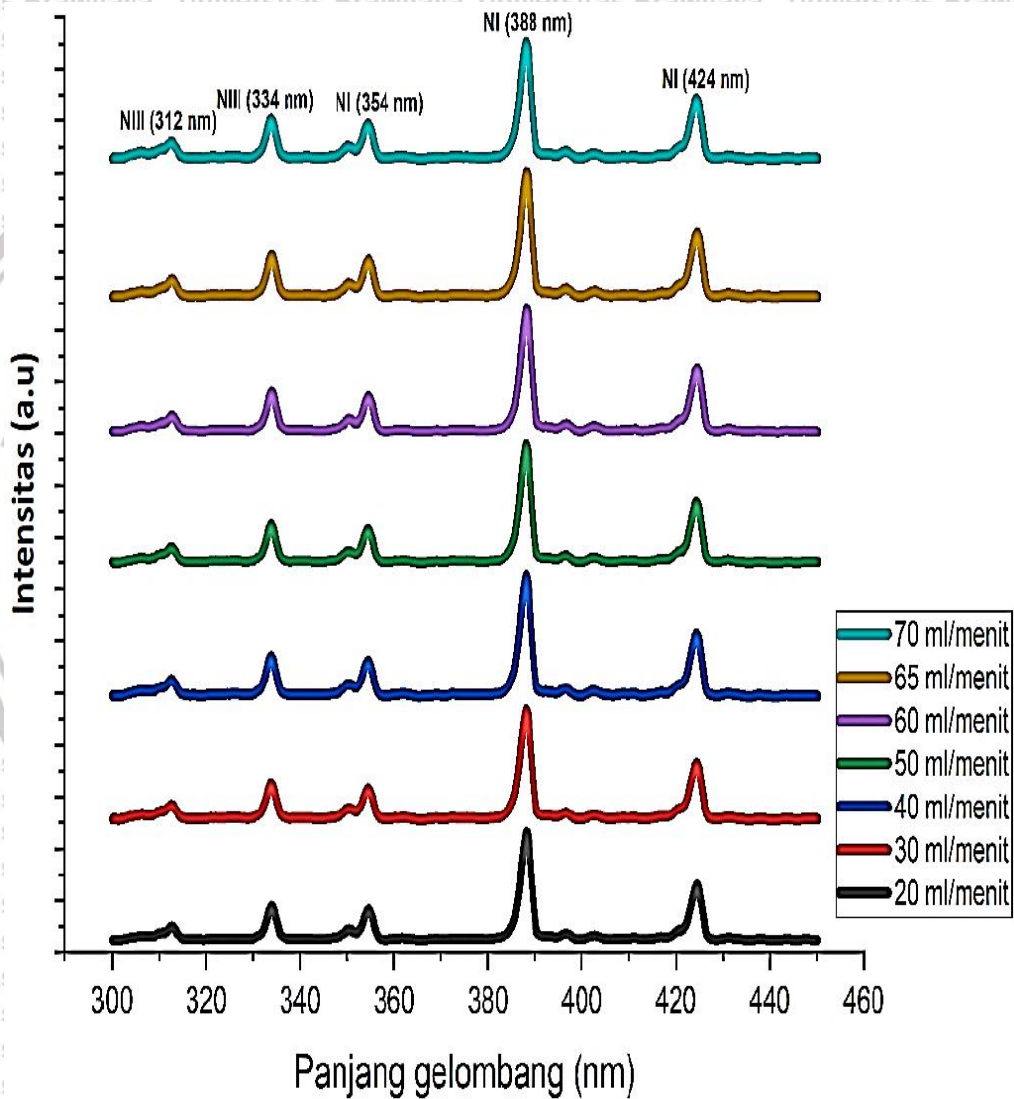
Suatu proses dimana gas yang diberikan energi besarnya sama atau lebih dari energi ionisasi dari gas tersebut, maka akan menghasilkan ion-ion positif dari medium gas ataupun elektron. Hal demikian dikarenakan ion akan terlepas dari atomnya ketika mendapatkan energi yang lebih dari energi ikatnya. Laju alir gas yang diberikan dalam proses perlakuan plasma akan mempengaruhi pembentukan karakter plasma yang dihasilkan, hal demikian dipengaruhi adanya pemberian jumlah gas yang berbeda pada setiap perlakuan. Jumlah gas yang diberikan akan menentukan perubahan energi yang diberikan dalam proses pembentukan plasma dan proses tumbukan ion.



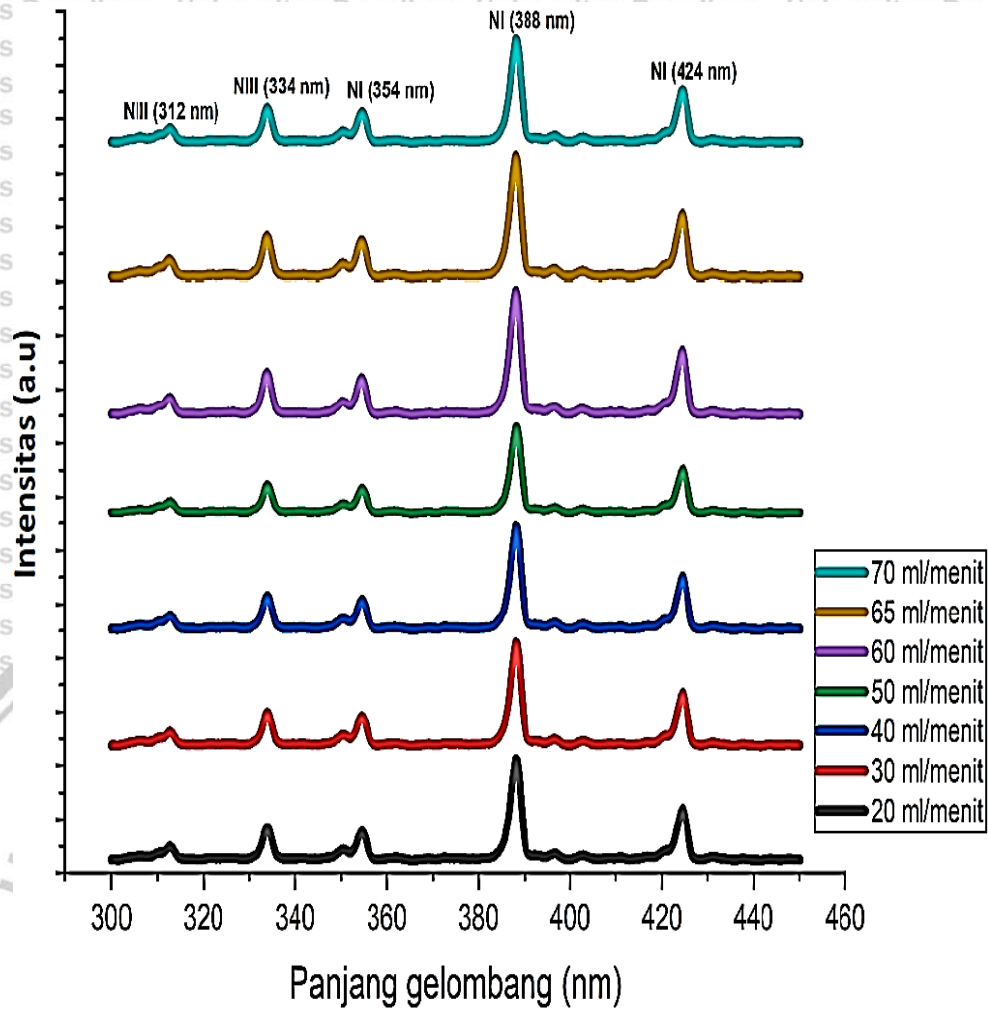
Gambar 5.6 Spektrum plasma nitrogen pada laju alir gas 50 ml/menit

Gambar 5.6 menunjukkan hasil spektrum plasma nitrogen pada laju alir 50 ml/menit, teridentifikasi NI dan NIII dengan nilai panjang gelombang sebagai acuan yang terdapat pada database NIST. Spesies plasma nitrogen yang dominan terdeteksi merupakan spesies radikal atom N pada panjang gelombang 388 nm dan 424 nm, dan NIII (N^{2+}) pada 334 nm. Selain itu gambar 5.6 juga menunjukkan perubahan intensitas sebelum dan setelah diberikan sampel pada perlakuan plasma. Intensitas spektrum plasma mengalami perubahan pada setiap panjang gelombang dengan semakin besar laju alir maka semakin besar perubahan intensitas pada spektrum plasma yang dihasilkan, disamping DC bias memberikan pengaruh terhadap pergerakan ion sebagai penyearah ion untuk menumbuk permukaan polistiren karena

adanya tambahan energi dengan adanya DC bias. Sedangkan untuk nilai intensitas plasma pada variasi laju alir gas (20, 30, 40, 50, 60, dan 70 ml/menit) dapat dilihat secara jelas pada gambar 5.3 dan gambar 5.4, yang menunjukkan intensitas plasma sebelum dan setelah perlakuan plasma diberikan sampel berupa QCM yang dilapisi polistiren.



Gambar 5.7 Intensitas plasma nitrogen tanpa pemberian sampel pada variasi laju alir gas



Gambar 5.8 Intensitas plasma nitrogen dengan pemberian sampel pada variasi laju alir gas

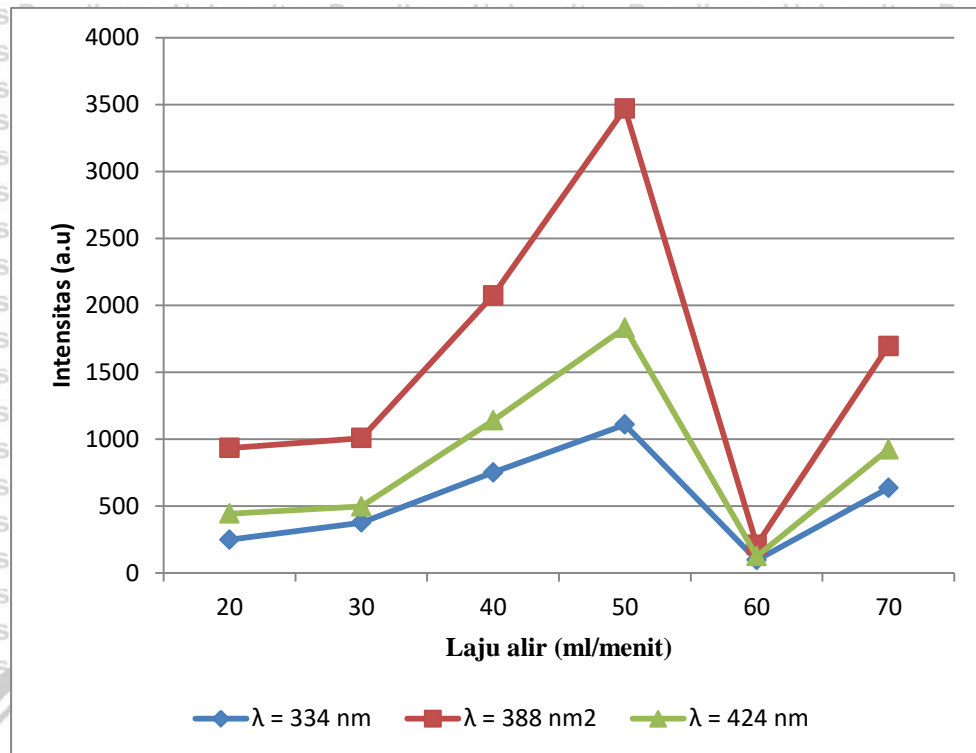
Penurunan intensitas seperti gambar 5.6 terjadi pada semua treatment plasma yang dilakukan. Salah satu contoh data penurunan intensitas NI ketika proses plasma bisa dilihat pada tabel 5.2. Pada tabel tersebut terlihat bahwa spesies NI ketika terdapat sampel menurun dengan jumlah yang bervariasi. Intensitas spektrum plasma mengalami perubahan pada setiap panjang gelombang dengan semakin besar laju alir gas maka semakin besar perubahan intensitas pada spektrum plasma yang dihasilkan. Hal ini disebabkan energi yang dibutuhkan untuk mengionisasi gas nitrogen

mencukupi, sehingga populasi ion semakin banyak yang dapat bertumbukan dengan permukaan polistiren. Maka dari itu, semakin besar laju alir gas semakin efektif mekanisme ion bombardment yang terjadi, dan semakin besar pula penurunan intensitas NI pada plasma.



Tabel 5.2 Hubungan laju alir gas dengan perubahan nilai intensitas plasma nitrogen

| No | Laju alir (ml/menit) | Intensitas (a.u) | | | | | | | | |
|----|-------------------------|----------------------------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|
| | | $\lambda = 334 \text{ nm}$ | | | $\lambda = 388 \text{ nm}$ | | | $\lambda = 424 \text{ nm}$ | | |
| | | Sebelum | Setelah | Selisih | Sebelum | Setelah | Selisih | Sebelum | Setelah | Selisih |
| 1 | 20 | 4478.86 | 4230.57 | 248.286 | 11540.6 | 10607.6 | 933 | 6439.86 | 5996.14 | 443.714 |
| 2 | 30 | 4685.86 | 4309.57 | 376.286 | 11828.9 | 10821.6 | 1007.29 | 6625.14 | 6128.43 | 496.714 |
| 3 | 40 | 5089.86 | 4339.14 | 750.714 | 12851.9 | 10779 | 2072.86 | 7245.86 | 6106.71 | 1139.14 |
| 4 | 50 | 4933.57 | 3825 | 1108.57 | 12620.1 | 9150.14 | 3470 | 7082.86 | 5251.14 | 1831.71 |
| 5 | 60 | 5131.14 | 5034.57 | 96.572 | 12985.7 | 12775.7 | 210 | 7326.14 | 7201.43 | 124.714 |
| 6 | 70 | 5009.43 | 4374.86 | 634.572 | 12506.3 | 10811.3 | 1695 | 7035.57 | 6112.57 | 923 |



Gambar 5.9 Hubungan laju alir gas dengan perubahan nilai intensitas plasma nitrogen

Gambar 5.9 menunjukkan pengaruh laju alir gas terhadap intensitas plasma nitrogen yaitu hasil selisih sebelum dan setelah reaktor plasma diberikan sampel pada tiga panjang gelombang yang mempunyai intensitas dominan berupa 334 nm (NIII), 388 nm (NI) dan 424 nm (NI). Semakin besar laju alir gas yang diberikan, maka semakin besar perubahan intensitas plasma pada setiap panjang gelombang. Semakin besar laju alir gas yang diberikan, maka semakin besar perubahan intensitas plasma pada setiap panjang gelombang. Perubahan intensitas plasma yang paling optimal terjadi pada perlakuan plasma dengan laju alir gas 50 ml/menit, sedangkan laju alir gas 60 ml/menit mengalami penurunan. Penurunan nilai intensitas terjadi karena energi yang dibutuhkan untuk merubah gas menjadi plasma tidak terpenuhi secara maksimal ketika jumlah gas diberikan terlalu besar. Selain itu

penyebab tersebut memberikan peningkatan populasi gas yang akan menciptakan keadaan jarak bebas rata-rata partikel (*mean free path*) semakin kecil, ketika jarak antar partikel terlalu dekat maka elektron yang akan menumbuk molekul tidak memiliki kesempatan untuk mempercepat diri.

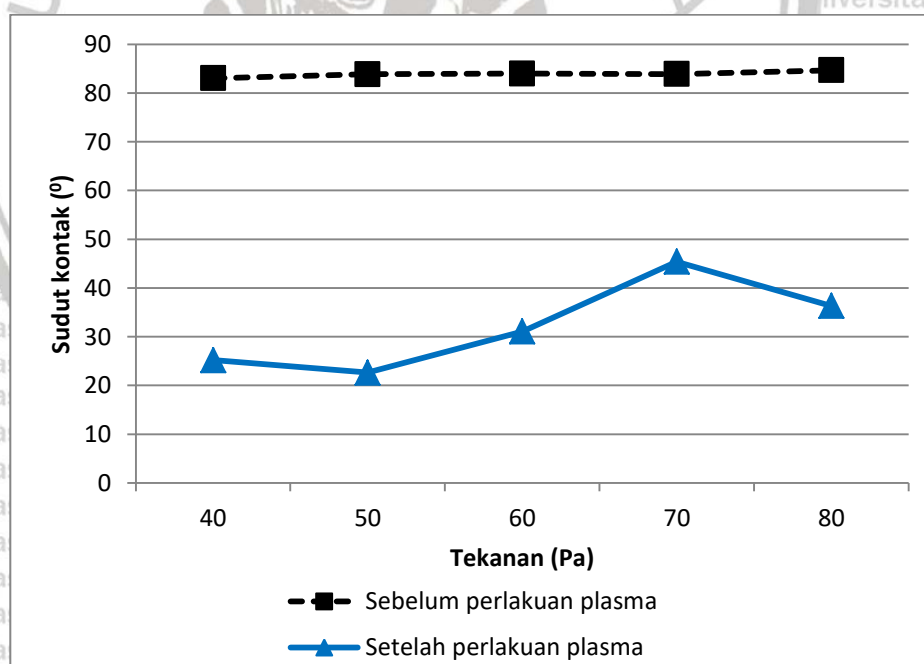
Sehingga kecepatan elektron cenderung rendah dan ketika menumbuk partikel netral besar kemungkinan elektron akan terpantulkan kembali dan tidak terjadi ionisasi. Sehingga jumlah partikel ion lebih kecil dari jumlah partikel netral yang mengakibatkan derajat ionisasi plasma turun. Laju alir gas yang dimasukkan dalam *chamber* mengakibatkan tekanan meningkat akibat populasi partikel meningkat dalam *chamber*. Jumlah populasi ini berakibat pada *mean free path* dan derajat ionisasi pada plasma. Kondisi perlakuan plasma dengan laju alir gas 70 ml/menit terjadi kenaikan perubahan intensitas plasma, karena adanya pengaruh pengontrolan alat plasma berupa keluaran gas yang kurang maksimal. Keadaan untuk menstabilkan atau mempertahankan tekanan tetap konstan 40 Pa cukup sulit, karena penggunaan alat yang masih manual. Sehingga pada laju alir gas yang tinggi akan memberikan pengaruh terhadap tekanan yang besar pula yang berakibat ketidak-teraturan tekanan yang diberikan pada proses perlakuan plasma dengan laju alir gas 70 ml/menit.

5.2 Perlakuan Plasma Nitrogen terhadap Perubahan Sifat Hidrofobisitas Lapisan Polistiren di atas QCM

5.2.1 Pengaruh variasi tekanan chamber plasma nitrogen terhadap perubahan sifat hidrofobisitas

Perlakuan plasma nitrogen memberikan perubahan terhadap karakter permukaan, sehingga menyebabkan tingkat kebasahan berupa hidrofobisitas ataupun hidrofilik permukaan polistirena di atas QCM mengalami perubahan.

Pengaruh parameter tekanan chamber pada pembangkit plasma nitrogen akan memberikan perubahan karakter permukaan polistiren. Perubahan tersebut dapat dilihat pada gambar 5.10 yang menyajikan perubahan nilai sudut kontak pada permukaan polistiren, sebelum perlakuan plasma nitrogen dan setelah perlakuan plasma nitrogen.



Gambar 5.10 Pengaruh tekanan chamber terhadap nilai perubahan sudut kontak permukaan polistiren

Gambar 5.10 menunjukkan hasil perubahan nilai hidrofobisitas permukaan polistiren terhadap variasi tekanan chamber, dimana karakter permukaan polistirena menjadi semakin hidrofilik setelah dilakukan perlakuan plasma nitrogen dengan variasi tekanan, sehingga besar sudut kontak lapisan polistirena menurun. Semakin besar nilai tekanan yang diberikan dalam pembangkit plasma nitrogen, semakin menurunkan nilai sudut kontak permukaan polistirena. Perubahan sudut kontak cenderung mengarah pada sifat hidrofilik optimum, terjadi pada tekanan chamber 50 Pa. Hal demikian didukung dengan perubahan intensitas yang tinggi, hal ini menunjukkan jumlah ion yang menumbuk permukaan polistiren semakin banyak. Sehingga diasumsikan mempunyai morfologi yang berbeda dengan keadaan substrat yang belum diberikan perlakuan plasma ataupun variasi tekanan chamber dengan perlakuan plasma yang lain.

Karakter permukaan polistirena yang hidrofilik disebabkan adanya reaksi kimia yang membentuk gugus fungsi $C\equiv N$ yang terjadi di dalam ruang vakum ketika plasma nitrogen dibangkitkan. Reaksi kimia pada plasma sangat memungkinkan terjadi ketika energi yang diberikan tidak terlalu tinggi. Penyebab lain berupa tekanan pada pembangkit plasma memberikan pengaruh pergerakan spesies plasma yang terbentuk, sehingga akan terjadi suatu tumbukan antara spesies plasma terhadap permukaan polistirena dan memberikan perubahan karakter permukaan lebih hidrofilik. DC bias memberikan pengaruh terhadap arah ion yang bertumbukan menuju substrat semakin maksimal, sehingga memberikan pengaruh terhadap modifikasi permukaan polistiren akibat tumbukan tersebut. Tumbukan ion membutuhkan

energi, DC bias juga memberikan energi pada ion dalam proses tumbukan pada sistem plasma. Nilai tekanan 60 Pa menunjukkan kenaikan kembali nilai sudut kontak, hal ini diakibatkan karena terbatasnya pergerakan spesies plasma yang terbentuk, sehingga hasil plasma nitrogen memberikan nilai sudut kontak yang sedikit meningkat.

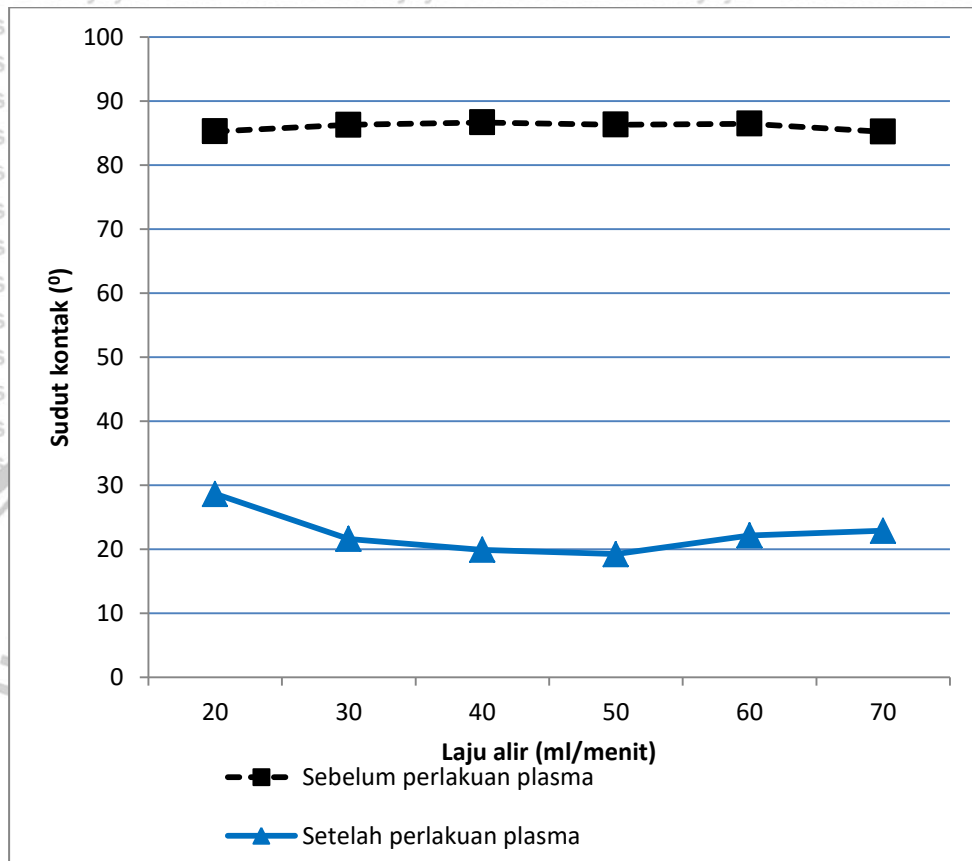
5.2.2 Pengaruh variasi laju alir gas plasma nitrogen terhadap perubahan sifat hidrofobisitas

Perlakuan plasma nitrogen memberikan perubahan terhadap karakter permukaan, sehingga menyebabkan tingkat kebasahan berupa hidrofobisitas ataupun hidrofilik permukaan polistirena di atas QCM mengalami perubahan.

Energi permukaan sangat berkaitan dengan nilai hidrofobisitas dari suatu permukaan. Semakin kecil energi permukaan pada suatu substrat akan menghasilkan sifat permukaan yang hidrofobisitas dan apabila energi permukaan semakin besar maka akan menghasilkan sifat permukaan yang hidrofilik. Energi permukaan semakin besar karena adanya gaya adhesi yang lebih besar antara molekul air dengan material substrat. Selain itu kekasaran permukaan juga mempengaruhi hidrofobisitas permukaannya, semakin besar nilai luas permukaan maka nilai energi permukaan semakin kecil.

Perlakuan plasma nitrogen memberikan perubahan terhadap karakter permukaan, artinya menunjukkan adanya kontribusi spesies plasma nitrogen yang menyebabkan perubahan karakter permukaan polistiren. Pergerakan spesies plasma nitrogen baik berupa elektron dan ion di dalam chamber mengalami polarisasi akibat adanya beda potensial sehingga ion menumbuk permukaan QCM/PS yang diletakkan di dalam chamber. Sehingga permukaan

akan mengalami perubahan karakter permukaannya akibat dari efek bombardment tersebut.



Gambar 5.11 Pengaruh laju alir terhadap nilai perubahan sudut kontak permukaan polistiren

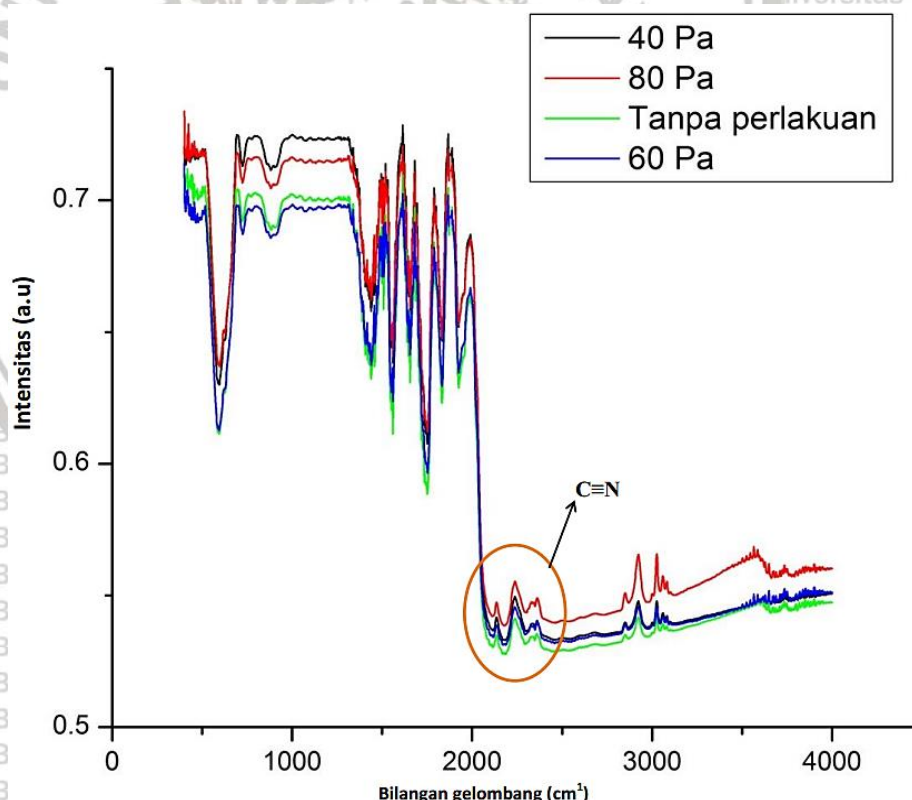
Gambar 5.11 menunjukkan hasil perubahan nilai hidrofobisitas permukaan polistiren terhadap variasi laju alir, lapisan polistiren sebelum dilakukan perlakuan plasma menunjukkan karakter permukaan dengan nilai sudut kontak yang mendekati hidrofobik dengan besar nilai sudut kontak $\pm 90^{\circ}$. Karakter permukaan polistirena menjadi semakin hidrofilik setelah dilakukan perlakuan plasma nitrogen dengan variasi laju alir, sehingga besar sudut kontak lapisan polistirena menurun. Hal ini terjadi pada laju alir 20, 30,

40 dan 50 ml/menit. Semakin besar nilai laju alir yang diberikan dalam pembangkit plasma nitrogen, semakin menurunkan nilai sudut kontak permukaan polistirena. Perubahan sudut kontak cenderung mengarah pada sifat hidrofilik optimumnya, terjadi pada laju alir gas 50 ml/menit. Hal demikian didukung dengan perubahan intensitas yang tinggi, hal ini menunjukkan jumlah ion yang menumbuk permukaan polistiren semakin banyak. Sehingga diasumsikan mempunyai morfologi yang berbeda dengan keadaan substrat yang belum diberikan perlakuan plasma ataupun variasi laju alir gas dengan perlakuan plasma yang lain.

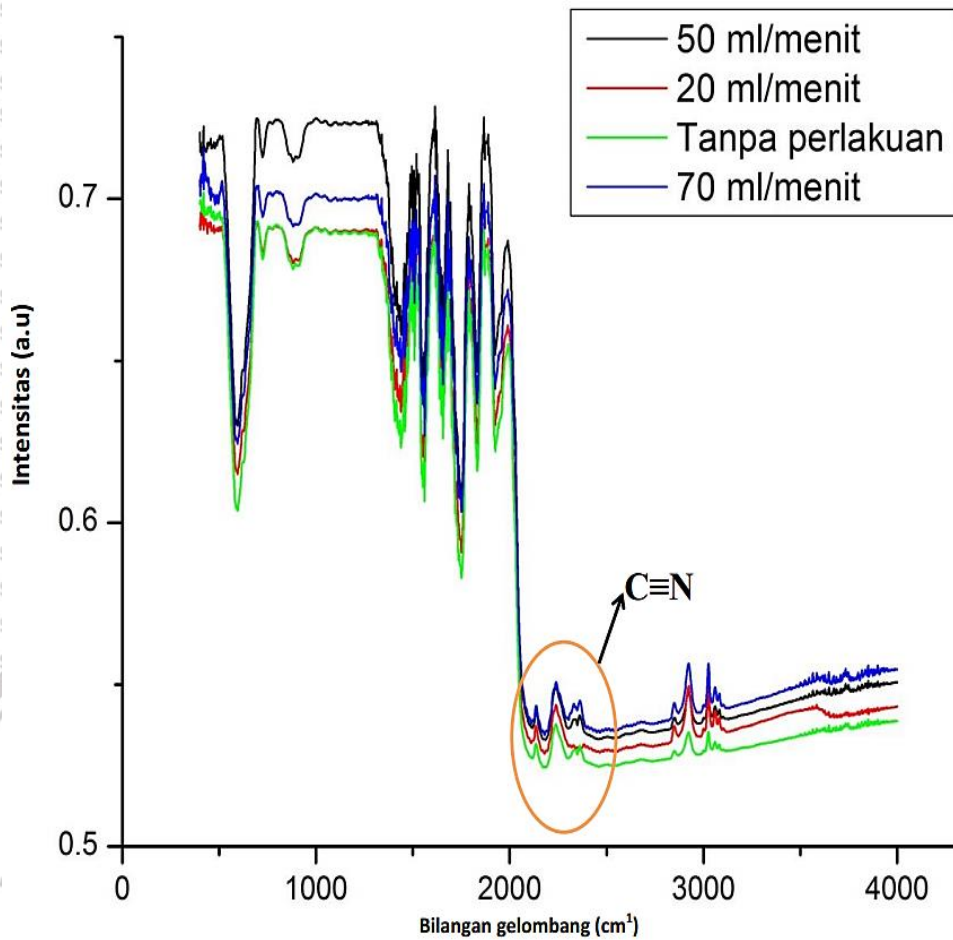
Karakter permukaan polistirena yang hidrofilik disebabkan adanya reaksi kimia yang membentuk gugus fungsi $C\equiv N$ yang terjadi di dalam ruang vakum ketika plasma nitrogen dibangkitkan. Reaksi kimia pada plasma sangat memungkinkan terjadi ketika energi yang diberikan tidak terlalu tinggi dan jumlah gas nitrogen memenuhi syarat sehingga terbentuknya suatu plasma. Selain itu pengaruh DC bias memberikan perubahan terhadap arah ion yang bertumbukan menuju substrat semakin maksimal, sehingga memberikan pengaruh terhadap modifikasi permukaan polistiren akibat tumbukan tersebut dan memberikan energi pada ion untuk bergerak lebih efektif dalam bombardmen. Nilai laju alir 60 ml/menit mengalami kenaikan nilai sudut kontak yang meningkat, hal ini diakibatkan karena energi yang diberikan terlalu kecil untuk membentuk plasma pada laju alir 60 ml/menit, sehingga hasil pembentukan pada plasma memberikan nilai sudut kontak yang sedikit meningkat.

5.3 Pembentukan Gugus Fungsi dengan FTIR

Pembentukan gugus fungsi yang terjadi pada permukaan lapisan polistiren di atas QCM, teridentifikasi berupa $C\equiv N$ dengan bilangan gelombang $2100-2260\text{ cm}^{-1}$, $2210-2280\text{ cm}^{-1}$ dan $2300-2400\text{ cm}^{-1}$ yang mempunyai sifat polar. Sehingga akan memberikan pengaruh terhadap sifat hidrofobisitas permukaan polistiren. Perlakuan plasma memberikan perubahan permukaan polistiren menjadi lebih hidrofilik, salah satu penyebab perubahan tersebut yaitu pembentukan gugus fungsi $C\equiv N$ yang mempunyai sifat polar. Perlakuan plasma dengan variasi tekanan dan laju aliran menunjukkan terbentuknya gugus fungsi $C\equiv N$ tersebut yang dapat dilihat pada gambar 5.12 dan gambar 5.13.



Gambar 5.12 Hasil spektrum FTIR perlakuan plasma nitrogen dengan tekanan chamber 40 Pa, 60 Pa dan 80 Pa



Gambar 5.13 Hasil spektrum FTIR perlakuan plasma nitrogen dengan laju alir gas 20 ml/menit, 50 ml/menit dan 70 ml/menit

Gambar 5.12 dan 5.13 menunjukkan adanya pembentukan gugus fungsi $C\equiv N$ dengan intensitas yang cenderung naik. Semakin besar tekanan dan laju alir, maka intensitas gugus fungsi $C\equiv N$ semakin meningkat.

Perubahan intensitas pada gugus fungsi $C\equiv N$ yang terbentuk dari perlakuan plasma menunjukkan adanya penambahan gugus fungsi $C\equiv N$ yang menjadi lebih hidrofilik permukaan polistiren karena $C\equiv N$ mempunyai sifat polar.

Tabel 5.3 Pengaruh tekanan chamber terhadap nilai intensitas gugus fungsi C≡N

| No | Bilangan Gelombang (cm ¹) | Intensitas (a.u) | | | |
|----|---------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | Tanpa Perlakuan | Perlakuan 40 Pa | Perlakuan 60 Pa | Perlakuan 80 Pa |
| 1 | 2135 | 0.154 | 0.173 | 0.178 | 0.17 |
| 2 | 2237 | 0.18 | 0.199 | 0.207 | 0.197 |
| 3 | 2360 | 0.15 | 0.179 | 0.181 | 0.176 |

Tabel 5.4 Pengaruh laju alir gas terhadap nilai intensitas gugus fungsi C≡N

| No | Bilangan Gelombang (cm ¹) | Intensitas (a.u) | | | |
|----|---------------------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Tanpa Perlakuan | Perlakuan 20 ml/menit | Perlakuan 50 ml/menit | Perlakuan 70 ml/menit |
| 1 | 2135 | 0.154 | 0.164 | 0.163 | 0.16 |
| 2 | 2237 | 0.18 | 0.19 | 0.191 | 0.184 |
| 3 | 2360 | 0.15 | 0.137 | 0.16 | 0.165 |

Perubahan intensitas pada C≡N mengalami perubahan pada setiap perlakuan yang semakin besar dari variasi tekanan dan laju alir, hal demikian menunjukkan bahwa sifat hidrofobisitas permukaan polistiren mengalami perubahan semakin hidrofilik karena adanya pembentukan gugus fungsi C≡N tersebut. Perubahan sifat hidrofobisitas permukaan polistiren pada tekanan 50 Pa dan laju alir 50 ml/menit menunjukkan perubahan yang paling hidrofilik pada permukaan polistiren, dimana sifat hidrofilik tersebut dipengaruhi adanya pembentukan gugus fungsi baru yaitu C≡N.

Namun untuk kondisi pada tekanan 60 Pa juga menunjukkan nilai hidrofilik yang kurang besar, hal demikian dipengaruhi pemberian tekanan yang terlalu besar menjadikan pergerakan ion terbatas untuk menumbuk permukaan polistiren sehingga memberikan perubahan tersebut. Sedangkan untuk laju alir 60 ml/menit menunjukkan nilai hidrofilik yang kurang besar, hal demikian dipengaruhi pemberian laju alir yang terlalu besar menjadikan plasma sulit terbentuk dan banyak terjadinya reaksi kimia di dalam pembangkit plasma. Meskipun faktor yang paling berpengaruh dalam memberikan sifat hidrofobisitas permukaan adalah reaksi kimia, tetapi juga terdapat faktor lain berupa parameter tekanan dan laju alir yang memberikan perubahan morfologi permukaan polistiren tersebut. Hal demikian memberikan hasil pada tekanan 60 Pa dan laju alir 60 ml/menit mempunyai sifat hidrofilik yang kurang besar atau nilai sudut kontak menjadi sedikit meningkat.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian pengaruh tekanan dan laju alir pada proses modifikasi permukaan polistiren menggunakan metode plasma RF dengan DC bias, yaitu:

1. Pengaruh tekanan chamber (40, 50, 60, 70 dan 80 Pa) dan laju alir gas (20, 30, 40, 50, 60, dan 70 ml/menit) pada perlakuan plasma nitrogen, dihasilkan beberapa spesies plasma yang dominan, yaitu spesies radikal atom N bersifat reaktif (NI) pada panjang gelombang 388 nm dan 424 nm, dan NIII (N^{2+}) pada 334 nm. Intensitas spektrum plasma mengalami perubahan semakin besar tekanan ataupun laju alir, maka semakin besar intensitas spektrum plasma pada setiap panjang gelombang.
2. Hubungan tekanan terhadap sifat hidrofobisitas, yaitu semakin besar tekanan yang diberikan dalam plasma nitrogen, semakin menurunkan sudut kontak permukaan polistirena. Tekanan chamber 50 Pa menunjukkan sifat hidrofilik paling optimum.
3. Hubungan laju alir terhadap sifat hidrofobisitas, yaitu semakin besar laju alir gas yang diberikan dalam plasma nitrogen, semakin menurunkan sudut kontak permukaan polistirena. Laju alir gas 50 ml/menit menunjukkan sifat hidrofilik paling optimum.
4. Spesies ion N^{2+} (NIII) memberikan pengaruh berupa tumbukan antara ion N^{2+} (NIII) dengan permukaan polistiren. Sedangkan radikal atom N (NI)

berinteraksi dengan lapisan polistiren membentuk gugus fungsi $C\equiv N$, sehingga mempengaruhi perubahan nilai sudut kontak pada permukaan polistiren.

6.2 Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan untuk bisa mendeteksi penyebab sifat hidrofobisitas polistiren di atas QCM yang mengalami perubahan, melalui analisa temperatur ataupun densitas pada ion dan elektron terhadap spesies plasma nitrogen yang terbentuk dan morfologi berupa kekasaran permukaan lapisan polistiren untuk mengetahui secara fisis.



DAFTAR PUSTAKA

A. Kolpaková, P. Kudrna, and M. Tichý. (2011), Study of Plasma System by OES (Optical Emission Spectroscopy), *WDS'11 Proceedings of Contributed Papers, Part II*, 180–185.

A. Kramida, Yu. Ralchenko, J. Reader dan N A T (2018), NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.6.1), [Online]

Achhammer Bernard G., Mary Jane Reiney, and Frank W. Reinhart. (1951). *Study of Degradation of Polistirena, Using Infrared Spectrophotometry*. Research of the National Bureau of Standards.

Balachova, O. V. et al., 2000. CF₄ plasma etching of materials used in microelectronics manufacturing. *Microelectronics Journal*, 31, pp.213–215.

Bellan, P.M., 2006. *Fundamentals of Plasma Physics*, New York: Cambridge University Press.

C. Alemán, G. Fabregat, E. Armelin, Jorge J. Buendía, and J. Llorca. (2018), Plasma surface modification of polymers for sensor applications, *Journal of Materials Chemistry B* 6 (41).

C.M. Zhang, Y. Sun, C. Chen, F. Wang, B. Shao, and B. C. Gou, *Can. J. Phys.* 2016. Energy, fine structure, hyperfine structure, and transitions for the high-lying multi-excited ⁴P^{e.o} states of B-like ions., DOI:10.1139/cjp-2015-0609. **94**, 448–457.

Chen, H.X., 2015. Study on liquid QCM Sensor Design and its Response Model. *Applied Mechanics and Materials*, 742, pp.32-35. Available at: <http://www.scientific.net/AMM.742.32>.

Chung, C. K. (2004). Geometrical pattern effect on silicon deep etching by an inductively coupled plasma system. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 14(4), 656–662. <https://doi.org/10.1088/0960-1317/14/4/029>.

Conrads, H. & Schmidt, M., 2000. *Plasma generation and plasma sources*. *Plasma Sources Science and Technology*, 9(4), pp.441–454.

Foerch, R., & Hunter, D. H.(1992). *Remote nitrogen plasma treatment of polymers: polyethylene, nylon 6,6, poly(ethylene vinyl alcohol), and*

poly(ethylene terephthalate): *Journal of polymer science part A: Polymer chemistry*, 30(2), 279-286.

Grigoryev, Y.N. & Gorobchuk, A.G., 2014. Numerical Modeling of Plasma-Chemical Etching Technology in CF₄/H₂ Gas Mixture. *International Conference on the Methods of Aerophysical Research*, 29(2), pp.1-6.

Hewlett Packard, 1997. *Fundamentals of Quartz Oscillators*, pp.1-28.

Jauch Quartz, 2007. *Quartz Crystal Theory*, pp.1-6.

Khusnah N F, Sakti S P and Santjojo D J D H (2018), Oxygen Plasma Effect on QCM Sensor Coated Polystyrene Film *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 367 012030.

Kim S. Siow, Leanne Britcher, Sunil Kumar, Hans J. Griesser. (2006), Plasma Methods for The Generation of Chemically Reactive Surfaces for Biomolecule Immobilization and Cell Colonization - A Review, *Plasma Process. Polym.*, 3, pp. 392-418

Masruroh, D J D H Santjojo, Abdurrouf, M A Abdillah, M C Padaga, dan S P Sakti. (2019), Effect of Electron Density and Temperature in Oxygen Plasma Treatment of Polystyrene Surface, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 515 012061.

Masruroh, Zahirah T N, Aulanni'Am A, Sakti S P and Santjojo D J D H. (2018) The effect of molecular weight on the surface wettability of polystyrene treated with nitrogen plasma *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 432

Mitchell, S. A., Davidson, M. R., Emmison, N., Bradley, R. H. (2004). Isopropyl alcohol plasma modification of polystyrene surfaces to influence cell attachment Behaviour. *Surface Science*. 561: 110-120.

Novi A. F., D. J. D. H. Santjojo., Masruroh. (2017). *The Effect of Substrate Temperature on Surface Modification of Polistirena by using Nitrogen Plasma*. IOP Publishing, Materials Science and Engineering.

Nur, M (2011). *Fisika Plasma*. Semarang: Universitas Diponegoro.

Pal, D., Neogi, S. & De, S., 2015. *Surface Modification of Polyacrylonitrile Co-Polymer Membranes Using Pulsed Direct Current Nitrogen Plasma*. *Thin solid film*, 597, pp.171-182. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2015.11.050>.

Pye, D., 2003. *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing*, USA: ASM International.

R. Landgrafa, M.K. Kaiserb, J. Posseckardtc, B. Adolphia, W.J. Fischer. (2009), Functionalization of Polymer Sensor Surfaces by Oxygen Plasma Treatment, *Procedia Chemistry* 1, 1015–1018

Rivadeneira, A., Fernández-Salmerón, J., Salinas-Castillo, A., Palma, A. J., Capitán-Vallvey, L. F. (2016). Development of a printed sensor for volatile organic compound detection at $\mu\text{g/L}$ -level. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 230: 115-122.

Roth, J. R. (1995). *Industrial Plasma Engineering* (Volume 1.). London: IOP Publishing Ltd.

S. Ebnesajjad and C. F. Ebnesajjad. (2014), *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding*, 2nd edition., Waltham, USA, Elsevier Inc.

S. Yoshida, K. Hagiwara, T. Hasebe, and A. Hotta. (2013), Surface Modification of Polymers By Plasma Treatments for The Enhancement of Biocompatibility and Controlled Drug Release, *Surf. Coat. Technol.*, vol. 233, pp. 99–107.

Sakti S P, Khusnah N F, Santjojo D J D H, Masrurroh and Sabarudin A. (2018) Surface Modification of Polystyrene Coating on QCM Sensor using Ambient Air Plasma at Low Pressure *Mater. Today Proc.* 5 15149–54

Sakti, S.P. & Santjojo, D.J.D.H., 2012. *Improvement of Biomolecule Immobilization on Polystyrene Surface by Increasing Surface Roughness. Journal of Biosensors & Bioelectronics*, 3(3), Pp.3-7. Available At: [Http://Www.Omicsonline.Org/2155-6210/2155-6210-3-119.Digital/2155-6210-3-119.html](http://www.omicsonline.org/2155-6210/2155-6210-3-119.html).

Selim, Kamruzzaman K. M., Xing, Z., Bae, H., & Kang, I. (2007). *Immobilization of biomolecules on polymeric surfaces using plasma glow discharge for the improvement of biocompatibility. Biomaterials research*, 11(4), 139-150.

Young, H.D. & Freedman, R.A., 2012. *University Physics with Modern Physics* 13th ed. N. Wilton, ed., Boston: Addison-Wesley, Inc.

LAMPIRAN

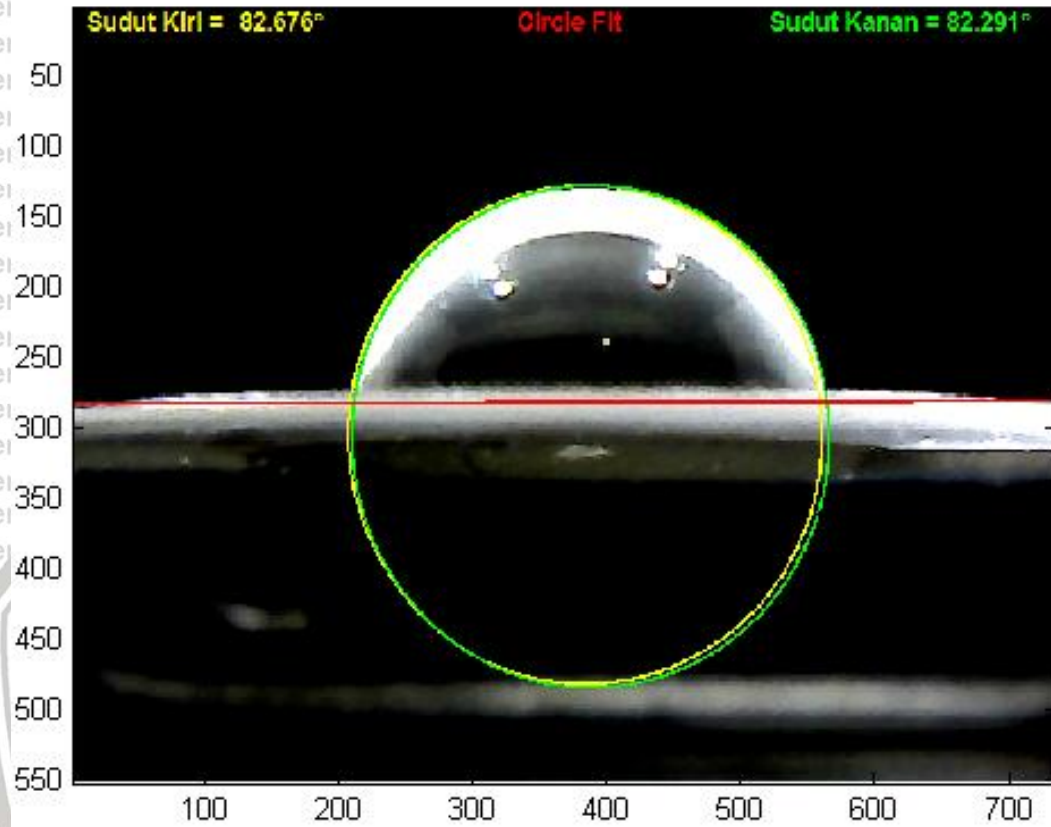
Lampiran 1. Tabel pengaruh tekanan chamber terhadap nilai selisih sudut kontak permukaan QCM/PS

| Tekanan (Pa) | Pengulangan | Sebelum ($^{\circ}$) | Setelah ($^{\circ}$) | Selisih ($^{\circ}$) |
|--------------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 40 | 1 | 82,0425 | 20,8258 | 61,2167 |
| | 2 | 84,0355 | 33,3837 | 50,6518 |
| | 3 | 83,0425 | 21,3496 | 61,6929 |
| | Rata-rata | 83,04017 | 25,18637 | 57,8538 |
| 50 | 1 | 86,036 | 23,616 | 62,42 |
| | 2 | 82,524 | 22,1635 | 60,3605 |
| | 3 | 82,9945 | 22,147 | 60,8475 |
| | Rata-rata | 83,8515 | 22,64217 | 61,20933 |
| 60 | 1 | 85,7795 | 29,0965 | 56,683 |
| | 2 | 80,3975 | 36,0575 | 44,34 |
| | 3 | 85,7795 | 28,0663 | 57,7132 |
| | Rata-rata | 83,9855 | 31,07343 | 52,91207 |
| 70 | 1 | 80,9725 | 34,8635 | 46,109 |
| | 2 | 85,817 | 33,642 | 52,175 |
| | 3 | 84,817 | 35,743 | 49,074 |
| | Rata-rata | 83,86883 | 45,3862 | 49,11933 |
| 80 | 1 | 83,0672 | 37,681 | 45,3862 |
| | 2 | 85,036 | 35,1635 | 49,8725 |
| | 3 | 85,877 | 36,187 | 49,69 |
| | Rata-rata | 84,66007 | 36,34383 | 48,31623 |

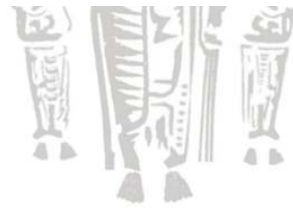
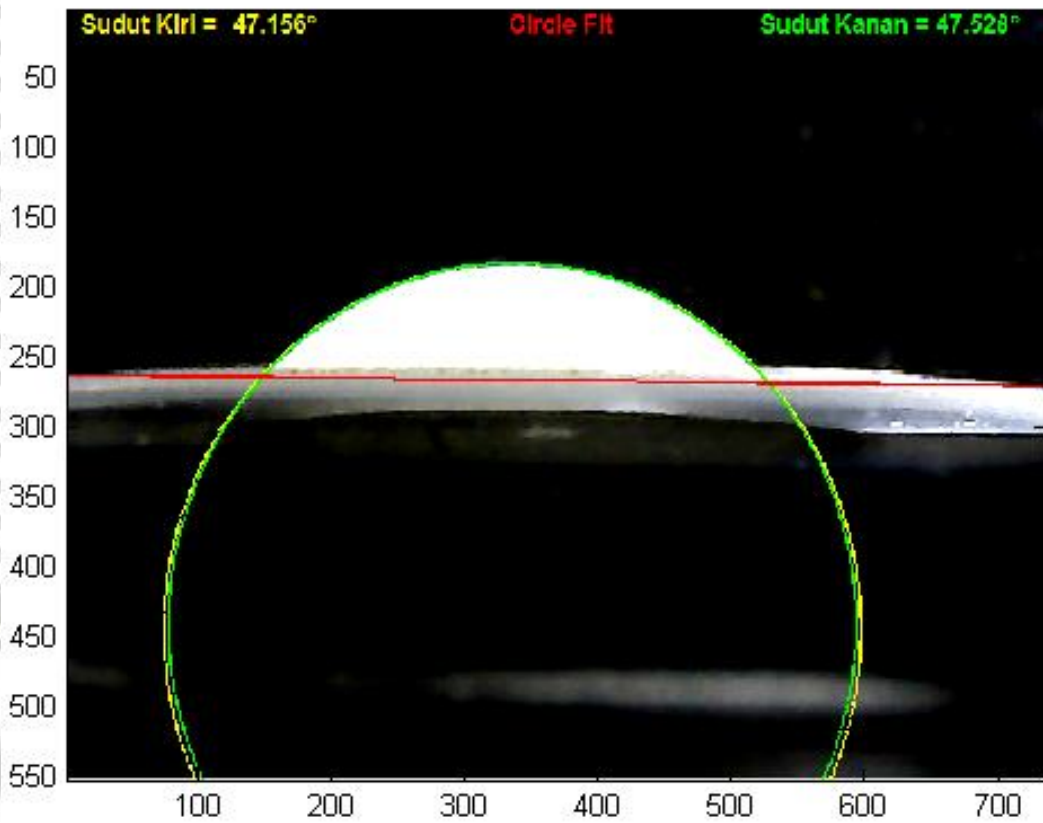
Lampiran 2. Tabel pengaruh laju alir gas terhadap nilai selisih sudut kontak permukaan QCM/PS

| Laju Alir (ml/menit) | Pengulangan | Sebelum ($^{\circ}$) | Setelah ($^{\circ}$) | Selisih ($^{\circ}$) |
|----------------------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 20 | 1 | 84,876 | 29,811 | 55,065 |
| | 2 | 84,871 | 28,627 | 56,244 |
| | 3 | 85,962 | 27,452 | 58,51 |
| | Rata-rata | 85,23633 | 28,63 | 56,60633 |
| Rata-rata | | | | |
| 30 | 1 | 85,119 | 22,738 | 62,381 |
| | 2 | 87,404 | 21,66 | 65,744 |
| | 3 | 86,268 | 20,411 | 65,857 |
| | Rata-rata | 86,26367 | 21,603 | 64,66067 |
| 40 | 1 | 85,729 | 20,695 | 65,034 |
| | 2 | 86,658 | 19,575 | 67,083 |
| | 3 | 87,518 | 19,421 | 68,097 |
| | Rata-rata | 86,635 | 19,897 | 66,738 |
| 50 | 1 | 87,907 | 19,012 | 68,895 |
| | 2 | 87,326 | 19,003 | 68,323 |
| | 3 | 83,633 | 19,661 | 63,972 |
| | Rata-rata | 86,28867 | 19,22533 | 67,06333 |
| 60 | 1 | 86,632 | 22,504 | 64,128 |
| | 2 | 85,792 | 22,018 | 63,774 |
| | 3 | 86,925 | 21,948 | 64,977 |
| | Rata-rata | 86,44967 | 22,15667 | 64,293 |
| 70 | 1 | 85,508 | 23,984 | 61,524 |
| | 2 | 84,759 | 21,918 | 62,841 |
| | 3 | 85,324 | 22,748 | 62,576 |
| | Rata-rata | 85,197 | 22,88333 | 62,31367 |

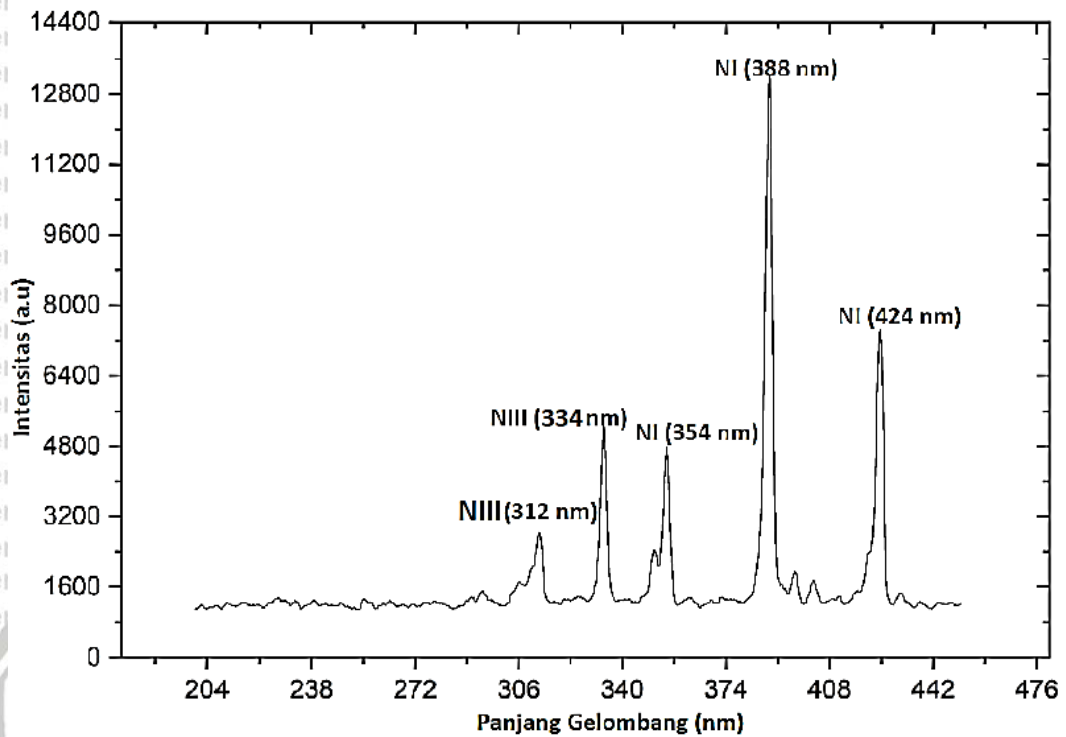
Lampiran 3. Gambar sudut kontak QCM/PS sebelum diberikan perlakuan plasma RF DC



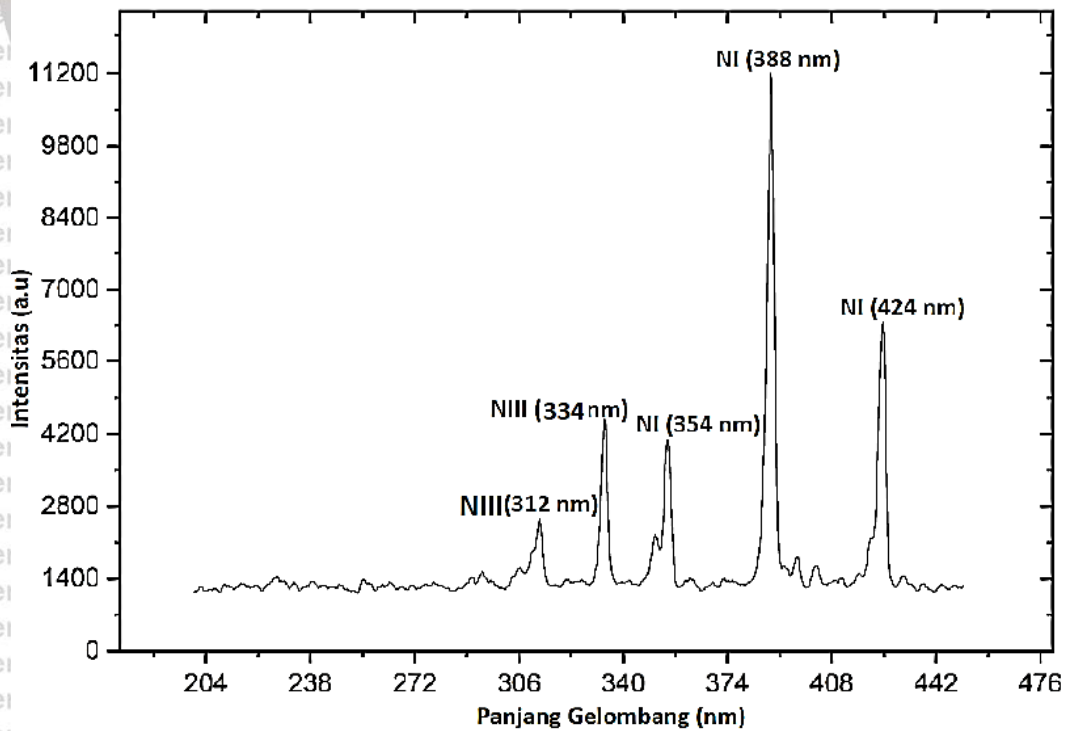
Lampiran 4. Gambar sudut kontak QCM/PS setelah diberikan perlakuan plasma RF DC



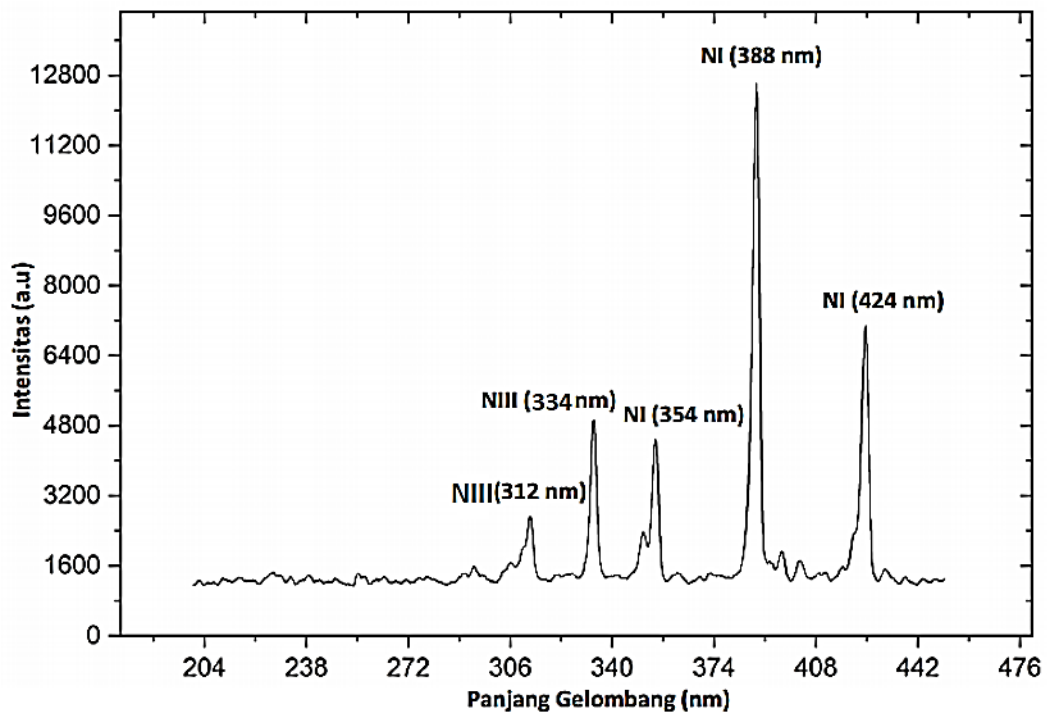
Lampiran 5. Grafik intensitas spektrum plasma nitrogen tanpa sampel pada tekanan chamber 50 Pa



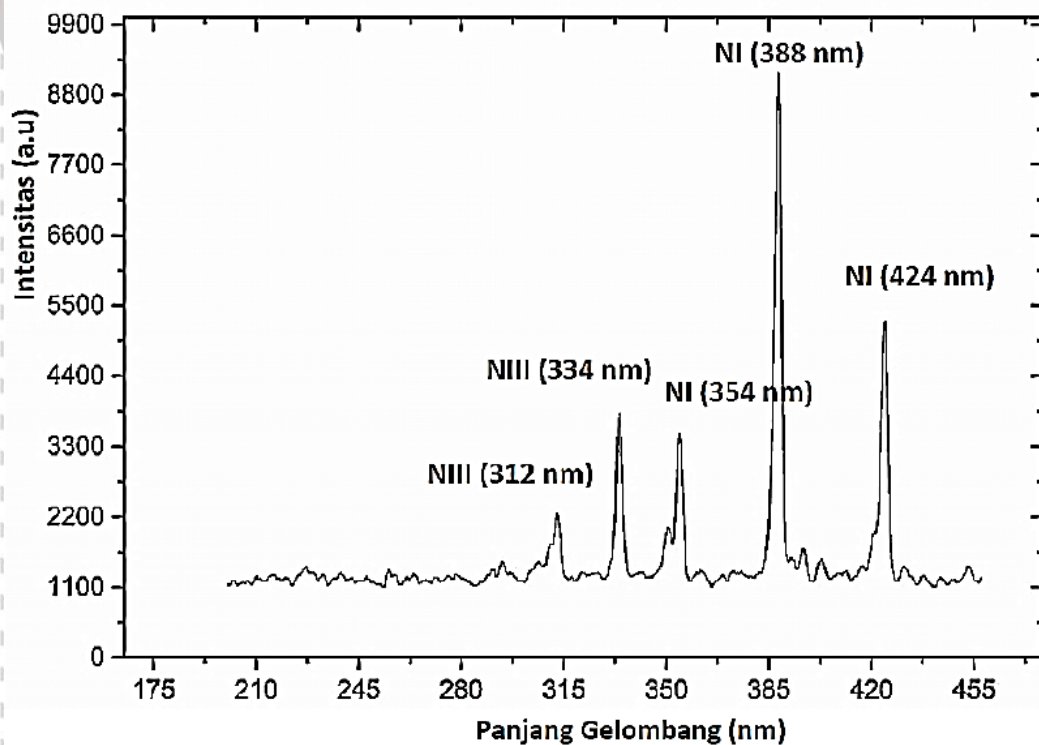
Lampiran 6. Grafik intensitas spektrum plasma nitrogen setelah diberikan sampel pada tekanan chamber 50 Pa



Lampiran 7. Grafik intensitas spektrum plasma nitrogen tanpa sampel pada laju alir gas 50 ml/menit



Lampiran 8. Grafik intensitas spektrum plasma nitrogen setelah diberikan sampel pada laju alir gas 50 ml/menit



Lampiran 9. Bukti sertifikat bebas plagiaris karya tulis ilmiah (Tesis)

plagiarism-detector
Cutting-edge class tool for plagiarism detection and prevention

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
PASCASARJANA

CERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI
Nomor: 1296/JN10.F40/PN/2019
Sertifikat ini diberikan kepada:

Nama : Abu Bakar
NIM : 146090300011012
Program Studi : Program Magister Fisika
Fakultas : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas : Universitas Brawijaya

Dengan Judul Tesis
Pengaruh Tekanan Chamber dan Laju Alir Gas pada Proses Modifikasi Permukaan Polistiren Menggunakan Metode Plasma RF dengan DC Bias

Telah dideteksi tingkat plagiarisnya secara online pada tanggal 17 Juni 2019 dan dinyatakan bebas plagiaris dengan kriteria toleransi $\leq 5\%$.

Direktur
Prof. Dr. Marjono, M.Phil
NIP. 196211161988031004

Malang, 18 Juni 2019
Ketua Badan Penerbitan Jurnal
Indah Yanti, S.Si., M.Si.
NIP. 19791129 200501 2 002

19 0716 T

