

**PENGARUH TEGANGAN RF (*RADIO FREQUENCY*) PADA  
PLASMA OKSIGEN TERHADAP JENIS SPESIES PLASMA  
DAN SIFAT HIDROFOBISITAS PERMUKAAN  
POLISTIRENA MENGGUNAKAN *OPTICAL EMISSION  
SPECTROSCOPY* (OES)**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**M. ADIB ABDILLAH M.**

**145090307111020**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**



**PENGARUH TEGANGAN RF (*RADIO FREQUENCY*) PADA  
PLASMA OKSIGEN TERHADAP JENIS SPESIES PLASMA  
DAN SIFAT HIDROFOBISITAS PERMUKAAN  
POLISTIRENA MENGGUNAKAN *OPTICAL EMISSION  
SPECTROSCOPY* (OES)**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dalam bidang fisika

**OLEH:**

**M. ADIB ABDILLAH M.  
145090307111020**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PENGARUH TEGANGAN RF (*RADIO FREQUENCY*) PADA  
PLASMA OKSIGEN TERHADAP JENIS SPESIES PLASMA  
DAN SIFAT HIDROFOBISITAS PERMUKAAN  
POLISTIRENA MENGGUNAKAN *OPTICAL EMISSION  
SPECTROSCOPY* (OES)**

Oleh:

**M. ADIB ABDILLAH M.  
145090307111020**

Setelah dipertahankan di depan Majelis  
Penguji pada tanggal .....  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh  
gelar Sarjana Sains dalam bidang fisika

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**



**(Dr.Eng Masruroh, S.Si, M.Si)  
NIP 197512312002122002**

**(Dr.rer.nat Abdurrouf, S.Si, M.Si)  
NIP 197209031994121001**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika  
Fisika FMIPA UB**

**Prof. Dr.rer.nat. Muhammad Nurhuda .  
NIP. 19640910 1990021 001**





**LEMBAR PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

**Nama** : M. ADIB ABDILLAH M.  
**NIM** : 145090307111020  
**Jurusan** : FISIKA  
**Penulis Skripsi berjudul** :

**“PENGARUH TEGANGAN RF (*RADIO FREQUENCY*) PADA PLASMA OKSIGEN TERHADAP JENIS SPESIES PLASMA DAN SIFAT HIDROFOBISITAS PERMUKAAN POLISTIRENA MENGGUNAKAN *OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY (OES)*”**

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Nama-nama yang termaksud di isi dan tertulis di daftar pustaka digunakan sebagai referensi pendukung dalam skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

**Malang, 06 Juni 2018**  
**Yang menyatakan,**

**(M. ADIB ABDILLAH M.)**  
**NIM. 145090307111020**







PENGARUH TEGANGAN RF (*RADIO FREQUENCY*) PADA  
PLASMA OKSIGEN TERHADAP JENIS SPESIES PLASMA  
DAN SIFAT HIDROFOBISITAS PERMUKAAN POLISTIRENA  
MENGUNAKAN *OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY* (OES)

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang perlakuan plasma oksigen pada permukaan polistirena di atas *Quartz Crystal Microbalance* (QCM). Lapisan polistirena dideposisi dengan metode *spin coating* dengan menggunakan pelarut toluena. Perlakuan plasma oksigen dibangkitkan pada tegangan RF yang divariasi pada 60 V, 70 V, 80 V, 90 V, dan 100 V, dan parameter lain dibuat tetap pada tekanan 40 Pa dan laju alir gas 40 ml/menit. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui spesies plasma yang berperan pada proses perubahan sifat hidrofobisitas permukaan polistirena serta hubungan parameter plasma temperatur dan densitas elektron. Sifat hidrofobisitas permukaan ditentukan dengan mengukur sudut kontak menggunakan *contact angle measurement*. Plasma oksigen dikarakterisasi menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES) untuk menentukan parameter plasma. Hasil spektrum OES ditentukan dengan database NIST dan temperatur elektron dengan menggunakan grafik Boltzmann dan densitas elektron menggunakan pelebaran Stark. Spesies plasma dominan yang terdeteksi merupakan spesies OI (oksigen atom) pada panjang gelombang 774 nm dan 841 nm. Intensitas plasma oksigen mengalami kenaikan sebanding dengan meningkatnya tegangan RF. Hasil pengukuran sudut kontak menunjukkan permukaan polistirena setelah dilakukan perlakuan plasma menunjukkan penurunan sudut kontak yang menunjukkan permukaan berubah menjadi hidrofilik. Temperatur elektron dan densitas elektron mengalami kenaikan sebanding dengan meningkatnya tegangan RF.

Kata kunci: Plasma oksigen, spesies plasma, parameter plasma



# THE EFFECT OF RADIO FREQUENCY VOLTAGE ON PLASMA SPECIES OF OXYGEN PLASMA TREATMENT AND HYDROPHOBICITY OF POLYSTYRENE SURFACE USING OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY

## ABSTRACT

Research about oxygen plasma treatment on polystyrene thin film deposited Quartz Crystal Microbalance was investigated. Polystyrene thin film deposited by spin coating method with toluene solvent. Oxygen plasma treatment generated with variation radio frequency voltage 60 V, 70 V, 80 V, 90 V, and 100 V, and other parameters were constant with pressure 40 Pa, and gas flow rate 40 ml/min. The point of this research to know plasma species contribution in hidrophobicity changing of polystyrene surface and correlation of plasma parameter electron temperature and electron density. Surface hidrophobicity measured by contact angle measurement. Characterization of oxygen plasma using Optical Emission Spectroscopy (OES) to determine plasma parameter. The result of spectral lines was determined by using National Institute of Standard and Technology (NIST) database, electron temperature was determined and calculated by Boltzmann equation, and electron density by using Stark Broadening. The dominan plasma species detected was OI which is oxygen neutral atom in lines 774 nm and 841 nm. The increasing radio frequency voltage increases oxygen emission intensity. Measurement of contact angle shows that polystyrene surface contact angle decreased after treated by oxygen plasma which is surface changing to hydrophilic surface. Electron temperature and electron density also increase with increasing RF voltage.

Keywords: oxygen plasma, plasma species, plasma parameter



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT atas Rahmat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan tepat waktu. Laporan skripsi ini merupakan syarat wajib bagi mahasiswa S-1 di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Brawijaya Malang untuk mendapatkan gelar Sarjana Science (S. Si).

Laporan ini dengan judul “PENGARUH TEGANGAN RF (*RADIO FREQUENCY*) PADA PLASMA OKSIGEN TERHADAP JENIS SPESIES PLASMA DAN SIFAT HIDROFOBISITAS PERMUKAAN POLISTIRENA MENGGUNAKAN *OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY* (OES)”. Dalam penyusunan laporan ini, penyusun banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini, penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan Rahmat serta Nikmat sehat jasmani maupun rohani
2. Mahbub Djunaidi dan Sri Nur Kamri, orang tua yang selalu mendukung baik materiil maupun non-materiil
3. Prof. Dr. rer.nat Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Brawijaya
4. Ahmad Nadhir, S.Si,MT.,Ph.D selaku sekretaris Jurusan Fisika Universitas Brawijaya
5. Dr. Eng. Masruroh, S. Si, M. Si selaku Ketua Prodi Fisika Universitas Brawijaya
6. Dr. Eng. Masruroh, S. Si, M. Si selaku Dosen Pembimbing yang memberikan arahan dan bimbingan
7. Dr. rer. nat. Abdurrouf, S. Si, M. Si selaku Dosen Pembimbing yang memberikan arahan serta bimbingan
8. Seluruh Dosen Fisika Universitas Brawijaya atas ilmu yang telah diberikan selama ini
9. Seluruh staff laboran yang telah turut membantu melancarkan selama penelitian
10. Rekan penelitian Heraniawati yang telah berjuang bersama selama penelitian
11. Teman-teman laboratorium (Widya, Lidya, Rani, Mitha, Febrian, Yopi, Rifky, Mas Bintang, Betty, April) yang juga berjuang bersama-sama

12. Kakak tingkat rekan laboratorium (Mbak Nike, Mas Dika, Mbak Tyas, Mbak Arin, Mbak Sukma, Mas Ridha, dan Mas Imron) yang memberikan dan berbagi ilmunya dalam mendukung analisis data
13. Shella Putri Saraswati yang senantiasa memberikan semangat, mendukung, dan mendoakan

Penyusun menyadari masih banyak kekurangan yang terdapat dalam laporan ini. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penyusun. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan khususnya bagi penyusun.

Penulis,



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	1
LEMBAR PERNYATAAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Perumusan Masalah .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Tujuan Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Manfaat Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 QCM (Quartz Crystal Microbalance) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Polistirena .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Plasma.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Alat dan Bahan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Metode Percobaan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.1 Persiapan bahan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.2 Deposisi Polistirena.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.3 Pengukuran Sudut Kontak ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.4 Perlakuan Plasma Oksigen ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.5 Analisis Spektrum (penentuan spesies).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.6 Analisis Parameter Plasma (penentuan $T_e$ dan $n_e$ ) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Pengaruh Variasi Tegangan terhadap Intensitas Plasma Oksigen .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



- 4.2 Analisis Spesies Plasma dan Parameter Plasma ...**Error! Bookmark not defined.**
- 4.3 Pengaruh Perlakuan Plasma Oksigen terhadap Sifat Hidrofobisitas Permukaan QCM **Error! Bookmark not defined.**

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....**Error! Bookmark not defined.

- 5.1 Kesimpulan ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 5.2 Saran ..... **Error! Bookmark not defined.**

**DAFTAR PUSTAKA .....** Error! Bookmark not defined.

**LAMPIRAN.....** Error! Bookmark not defined.





## DAFTAR GAMBAR

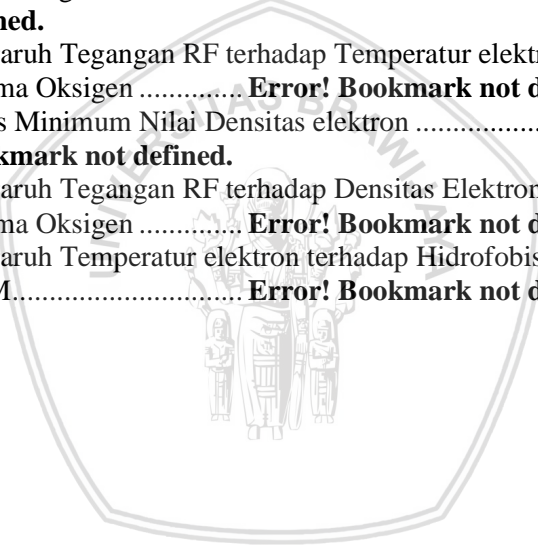
- Gambar 2. 1** Model teknik AT-cut kristal QCM dan mode TSM (*Thickness Shear Mode*) (Marx, 2003). ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 2** (kiri) Struktur dasar Polistirena (Farhat, 2005), (kanan) Rantai polimer polistirena (Achhammer, 1951). **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 3** (a) Plasma, (b) Skema pembangkitan plasma (Lieberman, 2005). .... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 1** Diagram Alir Tahapan Penelitian .... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 2** Masukan Spektrum dan Jangkauan Panjang gelombang pada Database NIST .. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 3** Hasil Tampilan Spektrum dan Informasinya pada Database NIST ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 4** Plot grafik Boltzmann untuk mencari nilai Temperatur Elektron (Gordillo-Vazquez, 2005) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 1** Grafik pengaruh Tegangan RF terhadap Intensitas Plasma Oksigen pada peak 774 nm .. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 2** Grafik pengaruh Tegangan RF terhadap Intensitas Plasma Oksigen pada peak 841 nm .. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 3** Pengukuran Spektrum emisi plasma di dalam ruang vakum menggunakan OES ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 4** Contoh hasil analisis spesies plasma pada grafik hasil OES ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 5** Grafik Pengaruh Tegangan RF terhadap Temperatur elektron Plasma Oksigen ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 6** Grafik Pengaruh Tegangan RF terhadap Densitas Elektron ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 7** Grafik Pengaruh Tegangan RF terhadap nilai selisih sudut kontak permukaan QCM/PS ... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 8** Sudut Kontak Permukaan QCM yang dideposisikan Polistirena ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 9** Sudut Kontak Permukaan QCM dideposisi Polistirena dan diberi Perlakuan Plasma Oksigen ..... **Error! Bookmark not defined.**





## DAFTAR TABEL

- Tabel 1. 1** Gugus Fungsi pada Permukaan Polistirena Tanpa Perlakuan dan Setelah Perlakuan Plasma Oksigen.. **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 1** Pengaruh Tegangan RF terhadap Intensitas plasma pada peak 774 nm ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 2** Pengaruh Tegangan RF terhadap Intensitas plasma pada peak 841 nm ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 3** Informasi Database NIST atom Oksigen pada panjang gelombang 774 nm dan 842 nm.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 4** Pengaruh Tegangan RF terhadap Temperatur elektron Plasma Oksigen ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 5** Batas Minimum Nilai Densitas elektron ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 6** Pengaruh Tegangan RF terhadap Densitas Elektron Plasma Oksigen ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 7** Pengaruh Temperatur elektron terhadap Hidrofobisitas QCM..... **Error! Bookmark not defined.**





## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Sudut Kontak Polistirena Sebelum Perlakuan Plasma Oksigen ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 2** Sudut Kontak Polistirena Sebelum Perlakuan Plasma Oksigen ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 3** Grafik Intensitas-Panjang Gelombang Analisis spesies plasma oksigen pada tegangan RF 60 Volt ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 4** Grafik Intensitas-Panjang Gelombang Analisis spesies plasma oksigen pada tegangan RF 70 Volt ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 5** Grafik Intensitas-Panjang Gelombang Analisis spesies plasma oksigen pada tegangan RF 80 Volt ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 6** Grafik Intensitas-Panjang Gelombang Analisis spesies plasma oksigen pada tegangan RF 90 Volt ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 7** Grafik Intensitas-Panjang Gelombang Analisis spesies plasma oksigen pada tegangan RF 100 Volt.... **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 8** Nilai Intensitas plasma sebelum dan setelah perlakuan plasma pada  $\lambda = 774 \text{ nm}$  **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 9** Nilai Intensitas plasma sebelum dan setelah perlakuan plasma pada  $\lambda = 841 \text{ nm}$  **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 10** Informasi Database NIST atom Oksigen pada panjang gelombang 774 nm dan 842 nm..... **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 11** Informasi Database NIST atom Oksigen..... **Error! Bookmark not defined.**



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Quartz Crystal Microbalance* (QCM) merupakan sensor atau divais yang dibuat dari material piezoelektrik yang dapat mengalami resonansi secara elektromekanik dan tegangan geser (*shear mode*). Sensitifitas dan spesifisitas QCM sangat dipengaruhi oleh imobilisasi lapisan yang dideposisikan pada membran resonator (Somayeh, 2014).

Dalam perkembangannya, selain diaplikasikan sebagai biosensor protein atau molekul, QCM juga dapat diaplikasikan sebagai keperluan diagnostik, pemantauan lingkungan, kontrol makanan (Cheng lin, 2013). Peningkatan kinerja biosensor QCM dapat dilakukan dengan deposisi lapisan tipis sebagai media pengikat biomolekul (*immobile*). Permukaan sensor QCM umumnya memiliki karakter hidrofobik, sifat hidrofobitas permukaan dapat ditingkatkan dengan melakukan modifikasi morfologi permukaannya. Banyak studi yang telah dilakukan menyatakan bahwa semakin kasar (*rough*) permukaan lapisan tipis maka akan meningkatkan imobilisasi dari biomolekul (Novi, 2017).

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 imobilisasi biomolekul. Perlakuan plasma terhadap permukaan polistirena diatas sustrat QCM dilakukan dengan tujuan untuk memodifikasi permukaan.

Telah dilakukan penelitian mengenai perlakuan plasma terhadap lapisan deposisi polimer seperti contohnya perlakuan plasma nitrogen, lapisan polistirena yang diberi perlakuan plasma ini menunjukkan hasilnya menjadi permukaan yang hidrofilik. Sifat hidrofilik ini ditandai dengan pengukuran sudut kontak sebelum dan setelah perlakuan plasma, dan akan didapatkan nilai sudut kontak yang menurun. Perlakuan plasma oksigen diperlukan sebagai media modifikasi permukaan, yang akan menyebabkan perubahan pada karakter permukaan lapisan polistirena diatas substrat QCM. Beberapa spesies plasma yang mungkin berperan dalam perlakuan yaitu atom oksigen, molekul oksigen, ion, atau oksigen radikal. Belum diketahui secara tepat



spesies plasma oksigen yang menyebabkan perubahan sifat permukaan, sehingga perlu dilakukan teknik analisis spektrum plasma oksigen pada permukaan polistirena untuk mengetahui jenis spesies yang berperan pada perlakuan plasma oksigen. Selain itu karakteristik plasma juga ditentukan untuk mengetahui pengaruh karakter plasma terhadap pengaruhnya pada permukaan.

## 1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi tegangan RF pada perlakuan plasma oksigen terhadap parameter plasma temperatur dan densitas elektron?
2. Bagaimana hubungan parameter plasma temperatur dan densitas elektron terhadap sifat hidrofobisitas permukaan QCM?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan RF terhadap parameter plasma temperatur dan densitas elektron.
2. Mengetahui hubungan parameter plasma temperatur dan densitas elektron terhadap sifat hidrofobisitas permukaan QCM.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Memberikan pengetahuan mengenai pengaruh variasi tegangan RF terhadap temperatur dan densitas elektron serta hubungannya terhadap sifat hidrofobisitas permukaan QCM untuk mendukung penelitian mengenai modifikasi QCM.

## 1.5 Batasan Masalah

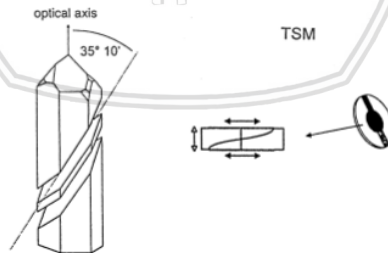
1. Deposisi polistirena pada substrat QCM menggunakan *spin coater*, dengan berat molekul polistirena 192 KDa, pelarut Toluena.
2. Parameter perlakuan plasma oksigen laju alir, tekanan, waktu dibuat tetap. Laju alir gas 40 ml/menit, tekanan 40 Pa, dan waktu perlakuan plasma selama 2 menit.
3. Parameter tegangan RF divariasikan dan tegangan DC sama dengan nol pada generator plasma RF-DC. Tegangan RF (*radio frequency*) 60 V, 70 V, 80 V, 90 V, dan 100 V.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 QCM (Quartz Crystal Microbalance)

*Quartz Crystal Microbalance* (QCM) merupakan teknik deteksi akustik yang menggunakan sifat-sifat dari properti bahan atau material piezoelektrik yang dapat mengukur sesuatu di sekitarnya misalnya yaitu massa (*mass sensing*) atau viskositas fluida. Massa per satuan luas yang terjebak atau terperangkap dalam sensor QCM disebabkan karena lapisan tipis yang dideposisikan di atas permukaan kristal kuarsa secara periodik mengalami vibrasi yang mempengaruhi perubahan frekuensi resonansi sesuai dengan persamaan Sauerbrey (Kasper *et.al.*, 2016). Sehingga sesuai dengan efek dari piezoelektrik ini sifat resonansi dari kristal dapat dipengaruhi oleh adanya pembebanan (*loaded*). Efek pembebanan ini diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu pembebanan gravimetrik dan viskoelastik (Somayeh, 2014). Sensor QCM telah banyak diaplikasikan diberbagai bidang teknologi dan ilmu pengetahuan seperti detektor massa (dalam bentuk uap maupun larutan), biosensor, dan *electrochemical microbalance* (Bai, 2016).

Pembuatan QCM yaitu dengan cara pemotongan tipis khusus pada kristal kuarsa yang biasa disebut *AT-cut*. Ketika tegangan diberikan pada struktur elektroda yang kristal kuarsa disusun berlapis akan menghasilkan gelombang akustik.



**Gambar 2. 1** Model teknik AT-cut kristal QCM dan mode TSM (*Thickness Shear Mode*) (Marx, 2003).

Geometri pemotongan teknik AT-cut seperti pada gambar di atas menghasilkan osilasi yang stabil dan hampir tidak mengalami fluktuasi temperatur akibat frekuensi pada temperatur ruang. Kristal kuarsa memiliki sifat piezoelektrik dan memiliki

frekuensi resonansi mode TSM (*Thickness Shear Mode*) dimana osilasinya atau pergerakannya menyamping yang bergantung pada teknik pemotongannya (Marx, 2003). Sejak ditemukannya hubungan perubahan resonansi frekuensi dengan densitas massa pada permukaan yang terdeposisi pada muka sensor oleh *Sauerbrey* pada tahun 1959, QCM menjadi divais yang paling sering digunakan dalam aplikasi sensor. Dengan teori yang dikemukakan oleh *Sauerbrey*, persamaan hubungan frekuensi dengan massa sebagai berikut

$$\Delta f_g = - \frac{2f_0^2}{\sqrt{\rho_q \mu_q}} \frac{\Delta M}{A} \quad (2.1)$$

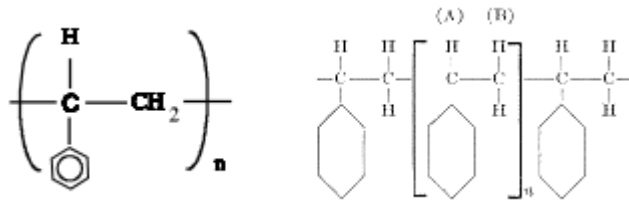
$$f_0 = \frac{v}{2t_q} = \frac{\sqrt{(\mu_q / \rho_q)}}{2t_q} \quad (2.2)$$

Persamaan Sauerbrey

Dimana  $f_0$  merupakan frekuensi resonansi,  $\Delta M$  adalah massa yang terdeposisikan diatas permukaan,  $A$  adalah luas permukaan elektroda,  $v$  adalah kecepatan gelombang akustik,  $\rho_q$  adalah densitas kristal ( $2.648 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  untuk kuarsa),  $\mu_q$  adalah modulus geser pemotongan ( $2.947 \times 10^{11} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^2$  untuk kuarsa dengan AT-cut), dan  $t_q$  adalah ketebalan kristal (Somayeh, 2014).

## 2.2 Polistirena

Polistirena merupakan polimer yang terusun atas monomer stirena dan terbentuk dengan mekanisme rantai radikal bebas. Pemberian panas atau inisiator (zat yang memulai reaksi) yang mudah teruari karena adanya panas sehingga dapat membentuk radikal bebas aktif yang sangat efektif dalam memulai proses polimerisasi. Polistirena merupakan termoplastik yang tidak berbau, tidak berasa, dan bersifat rigid (kaku) (Farhat, 2005).



**Gambar 2. 2** (kiri) Struktur dasar Polistirena (Farhat, 2005),  
(kanan) Rantai polimer polistirena (Achhammer, 1951).

Pada rantai monomer stiren akan membentuk polimer polistiren dengan notasi  $n$  yang menentukan berat molekul polistirena dan jumlah ini sangat bergantung pada kondisi polimerisasinya. Komponen polistirena jika dibagi-bagi terdapat tiga bagian yaitu cincin benzene, ikatan karbon dengan hidrogen tunggal, dan ikatan karbon dengan double hidrogen (Achhammer, 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 imobilisasi biomolekul, yaitu dengan memodifikasi permukaannya agar memiliki kekasaran yang sesuai (Sakti, 2016).

### 2.3 Plasma

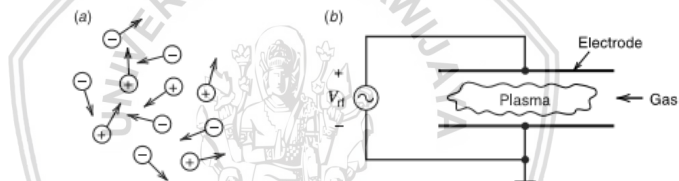
Fase padat cair, dan gase merupakan keadaan fisik dari suatu materi atau zat. Tetapi pada dasarnya materi atau zat yang paling sering dijumpai merupakan fase keempat yang disebut plasma. Contohnya yaitu matahari dan sinar polar. Materi atau zat tersusun atas atom, yang didalamnya terdapat inti atom (ion) dan elektron. Plasma merupakan kumpulan sedikit elektron dan ion yang teratur dan pemutusan antara elektron dan ion inilah yang menjadi perbedaan antara gas dan plasma. Plasma adalah sebagian gas yang terionisasi yang dihasilkan dari pemberian medan listrik pada suatu gas dengan kondisi vakum (tekanan

rendah). Untuk keperluan teknik, plasma dihasilkan dengan mengalirkan gas pada tabung (*chamber*) vakum dan memberikan medan elektromagnetik. Sebagai hasilnya, plasma terdiri atas ion-ion, elektron bebas, radikal bebas, spesies yang tereksitasi, foton, dan netral. Ketika gas terionisasi pada cara ini, elektron dan ion akan mengalami gaya yang sama dan dipercepat, sehingga memungkinkan terjadi tumbukan antara partikel ini dan saling transfer energi kinetik. Ketika terjadi tumbukan, partikel yang bermassa ringan (elektron) akan memiliki kecepatan yang besar dibanding ion. Radikal pada kasus ini terbentuk melalui interaksi dari partikel bermuatan yang reaksinya berbeda bergantung pada jenis gas dan molekul pada permukaan substrat. Untuk membentuk karakteristik permukaan yang diinginkan diperlukan *treatment* permukaan bahan dengan gas yang spesifik. Pada kasus *treatment* pada permukaan polimer, gas yang paling umum digunakan yaitu gas oksigen. Reaksi yang terjadi salah satunya yaitu oksidasi dimana terjadi absorpsi atom atau molekul oksigen oleh lapisan teratas kulit atom dari bahan polimer sehingga meningkatkan jumlah daerah fungsional polar pada permukaan substrat. Hasilnya akan meningkatkan energi permukaan dan menjadikan permukaan yang hidrofilik (Plasmatech, 2007).

**Tabel 1. 1** Gugus Fungsi pada Permukaan Polistirena Tanpa Perlakuan dan Setelah Perlakuan Plasma Oksigen

Komponen (Gugus fungsi)	Kelompok fungsional	Tanpa perlakuan	Perlakuan plasma
C – C, C – H	Alifatik + karbon aromatik	100	71,4
C – O	Eter, Alkohol	--	8,8
C = O	Aldehyd, Keton	--	8,7
O – C = O	Ester, asam	--	4,8
O – (C=O) - O	Karbonat	--	6,3

Plasma menurut Ukhtary 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 (Nur, 2011).



**Gambar 2. 3** (a) Plasma, (b) Skema pembangkitan plasma (Lieberman, 2005).

Molekul gas yang diberikan temperatur atau energi sangat tinggi seminimal mungkin sama dengan energi ionisasi molekul gas tersebut akan mengalami disosiasi menjadi atom-atom penyusun gas, dan ion-ion (elektron dan ion positif) dalam atom juga akan terlepas. Status ini yang disebut status plasma. Karakter dari status ini yaitu densitas dari partikel bermuatan (elektron dan ion positif) yang hampir sama  $n_e \approx n_i \approx n$  partikel/m<sup>3</sup> atau biasa disebut *quasineutral*, dan juga pada temperatur equilibrium  $T_e = T_i = T$  (Lieberman, 2005).

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan November 2017 sampai dengan bulan April 2018 di Laboratorium Material, Laboratorium Plasma dan Material Maju dan Laboratorium Sensor Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.

### 3.2 Alat dan Bahan

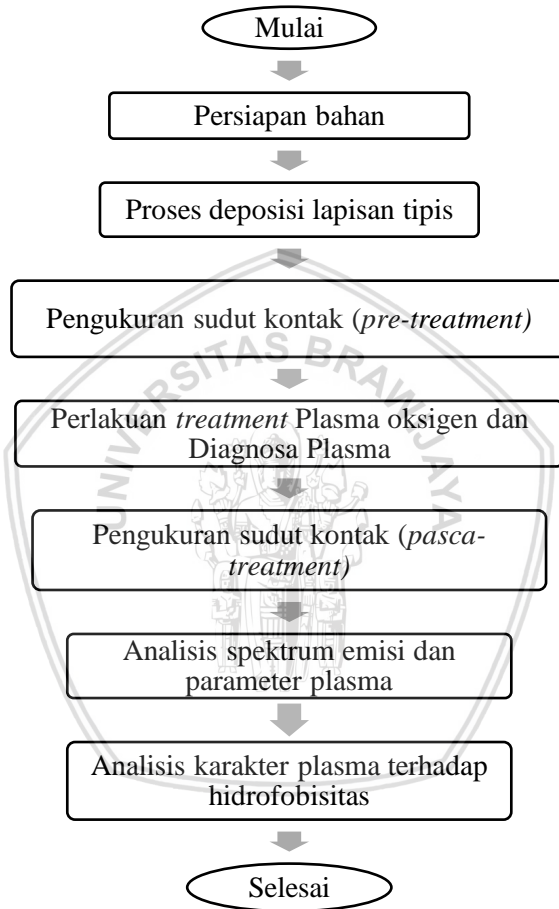
Dalam penelitian ini, adapun alat dan bahan yang digunakan untuk menunjang penelitian. Alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu neraca, cawan petri, gelas kimia, pinset, *micropipet*, gelas vial, *ultrasound cleaner*, *spin coater*, oven, perangkat plasma RF-DC, *contact angle measurement*, *optical emission spectroscopy*, *spectral analysis*, dan *origin*. Bahan yang digunakan yaitu polistirena dengan berat molekul 192.000 gr/mol, pelarut *tsoluena*, aquades, dan alkohol teknis.

### 3.3 Metode Percobaan

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Pembuatan larutan polistirena dengan pelarut toluena
2. Pelapisan (deposisi) larutan polistirena diatas permukaan substrat QCM dengan metode spin coating
3. Pengukuran sudut kontak (*contact angle*) dan kekasaran (*Roughness*) menggunakan TMS (*Topography Measurement System*) sebelum dilakukan perlakuan dengan plasma oksigen (*pre-treatment*)
4. Perlakuan QCM yang telah dideposisikan larutan polistirena dengan plasma menggunakan perangkat generator plasma RF-DC dan pengukuran Spektrum emisi dengan *Optical Emission Spectroscopy* (AURORA-4000)
5. Pengukuran sudut kontak (*contact angle*) dan kekasaran (*Roughness*) setelah dilakukan perlakuan dengan plasma oksigen (*pasca-treatment*)
6. Karakterisasi lapisan dengan analisis spektrum emisi hasil visualisasi *Optical Emission Spectroscopy* (AURORA-4000)

7. Analisis karakter plasma untuk mengetahui parameter plasma temperatur elektron dan densitas elektron dari spektrum emisi yang didapatkan.



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Tahapan Penelitian



### 3.3.1 Persiapan bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu 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

$$\text{Konsentrasi (\%)} = \frac{\text{zat terlarut (gr)}}{\text{pelarut (ml)} \times \rho_{\text{terlarut}} \left(\frac{\text{gram}}{\text{ml}}\right)} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi (\%)} &= \frac{0,06 \text{ gram}}{1 \text{ ml} \times 1,04 \frac{\text{gram}}{\text{ml}}} \times 100\% \\ &= 5,77\% \approx 6\% \end{aligned} \quad (3.2)$$

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 9 substrat QCM yang tiap deposisi membutuhkan  $50 \mu\text{l}$  larutan polistirena. Sehingga dengan pembuatan larutan sebanyak 2 ml dapat digunakan deposisi hingga 40 substrat QCM.

### 3.3.2 Deposisi 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 50 rpm selama 5 detik sebagai tahap persiapan. Jumlah larutan polistirena yang dideposisikan sebanyak 50  $\mu$ l. Pemasangan substrat QCM pada *spin coater* menggunakan *holder* khusus preparat QCM. Penetesan larutan deposisi menggunakan *micropipet* yang diatur 50  $\mu$ l. Langkah-angkahnya 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 50 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 seama 1 jam dengan temperatur 100° C.

### 3.3.3 Pengukuran Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak (*contact angle*) ini bertujuan untuk menentukan tingkat kebaahan 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, poisi 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 15  $\mu\text{l}$  atau disesuaikan dengan luasan elektroda. Hasil gambar berupa cembungan tetesan aquades diatas 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.

### 3.3.4 Perlakuan Plasma Oksigen

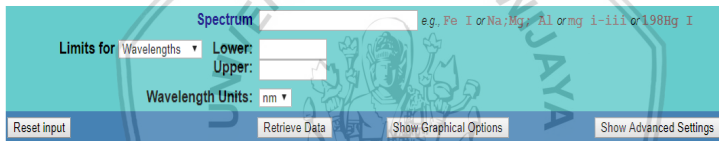
Perlakuan plasma oksigen pada substrat QCM yang telah dideposisikan lapisan polistirena menggunakan perangkat generator plasma RF-DC. Tetapi variasi tegangan yang digunakan yaitu pada sumber tegangan RF (*Radio frequency*). Parameter lainnya yang tetap yaitu laju alir 40 ml/menit, Tekanan 40 Pa atau 0,300025 Torr, waktu *treatment* 2 menit, Tegangan DC 0 Volt, dan Tegangan RF divariasi yaitu 60, 70, 80, 90, dan 100 Volt.

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 ven dipastikan tertutup. Setelah *chamber* tertutup, pompa dinyalakan agar tekanan udara/gas dalam *chamber* menurun karena perlakuan plasma oksigen membutuhkan kondisi yang homogen (hanya gas oksigen yang dialirkan). Nilai tekanan dalam *chamber* dapat dibaca melalui vacuum gauge control hingga 3 Pa (seminimal mungkin). Setelah tekanan 3 Pa dicapai, gas oksigen dialirkan sesuai parameter laju alir hingga tekanan 40 Pa, sehingga di dalam *chamber* diasumsikan hanya terdapat gas oksigen dan tegangan RF diatur sesuai parameter perlakuan plasma yang ditentukan.

Selama proses perlakuan plasma, 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).

### 3.3.5 Analisis Spektrum (penentuan spesies)

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. Dari informasi inilah spesies plasma dapat ditentukan. Nilai-nilai panjang gelombang dan intensitas yang muncul dapat dicocokkan pada *Atomic Database NIST* yang dapat diakses di laman 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.



**Gambar 3. 2** Masukan Spektrum dan Jangkauan Panjang gelombang pada Database NIST

Misal masukan spektrum yang ingin ditampilkan yaitu spektrum Oksigen (O) dengan batas bawah panjang gelombang 200 nm dan batas atas panjang gelombang 1100 nm, kemudian klik *retrieve data*. Maka tampilan akan seperti berikut

Ion	Observed Wavelength Air (nm)	Ritz Wavelength Air (nm)	Rel. Int. (%)	$A_{ki}$ ( $s^{-1}$ )	Acc.	$E_i$ ( $cm^{-1}$ )	$E_k$ ( $cm^{-1}$ )	Lower Level Conf., Term, J	Upper Level Conf., Term, J	Type	TP Ref.	Line Ref.	
0 IV	200.496	200.496	8.54e+05	B	499 994.9	-	549 855	2s <sup>2</sup> 4p	2s2p(1 <sup>o</sup> po)3p	7p	7/2	7/2	TS100LS
0 IV	200.669	200.669	4.26e+06	B	500 037.8	-	549 855	2s <sup>2</sup> 4p	2s2p(1 <sup>o</sup> po)3p	7p	7/2	7/2	TS100LS
0 IV	200.750	200.750	3.40e+06	B	499 994.9	-	549 792	2s <sup>2</sup> 4p	2s2p(1 <sup>o</sup> po)3p	7p	7/2	7/2	TS100LS
0 IV	200.923	200.923	1.70e+06	B	500 037.8	-	549 792	2s <sup>2</sup> 4p	2s2p(1 <sup>o</sup> po)3p	7p	7/2	7/2	TS100LS
0 III	201.327		300										L3481
0 II	201.6589	201.65822	8.57e+06	C	208 392.258	-	257 965.11	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> p)3p	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> p)5s	4p	7/2	7/2	TS723LS
0 II	202.0340	202.03299	1.99e+07	C	208 484.202	-	257 965.11	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> p)3p	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> p)5s	4p	7/2	7/2	TS723LS
0 II	202.1445	202.14364	1.18e+07	C	208 346.104	-	257 759.93	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> p)3p	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> p)5s	4p	7/2	7/2	TS723LS
0 II	202.2768	202.2800	10		228 723.84	-	278 144.33	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> D)3p	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> D)5s	7D	7/2	7/2	L10549
0 II	202.2788	202.2788			228 723.84	-	278 144.62	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> D)3p	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> D)5s	7D	7/2	7/2	L10549
0 II	202.3332	202.33259	10	3.77e+06	C	208 392.258	-	257 799.93	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> p)3p	4p	7/2	7/2	TS723LS
0 II	202.3740	202.3755	120		228 747.45	-	278 144.62	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> D)3p	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> D)5s	7D	7/2	7/2	L10549
0 II	202.5694	202.57048	5	4.70e+06	C	208 346.104	-	257 695.74	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> p)3p	4p	7/2	7/2	TS723LS
0 I	202.643	202.643	1.87e+05	C	88 430.487	-	132 069.5	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> po)3p	2s <sup>2</sup> 2p(1 <sup>o</sup> po)5s	7p	7/2	7/2	TS603

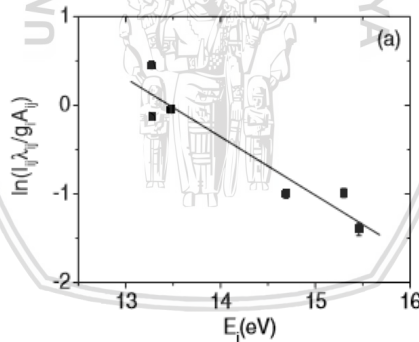
Gambar 3. 3 Hasil Tampilan Spektrum dan Informasinya pada Database NIST

### 3.3.6 Analisis Parameter Plasma (penentuan $T_e$ dan $n_e$ )

Informasi hasil analisis spektrum emisi menggunakan *Atomic Database NIST* akan digunakan untuk menghitung  $T_e$  (Temperatur elektron) dan  $n_e$  (Densitas elektron). Perhitungan temperatur elektron menggunakan metode grafik boltzmann

$$\ln \frac{I\lambda}{gA} = Const - \frac{E_i}{kT} \quad (3.3)$$

Dengan  $I, \lambda, g, A, E_i, k, T$  adalah intensitas emisi spektrum, panjang gelombang, bobot statistik, probabilitas transisi, Energi, konstanta boltzmann, dan temperatur elektron. Grafik boltzmann didapatkan dari plot persamaan diatas, dengan menyamakan persamaan linier  $y = mx + c$ . Variabel 'y' yaitu  $\ln \frac{I\lambda}{gA}$  dan 'x' yaitu  $E_i$ , sehingga akan didapatkan nilai gradien m negatif yaitu  $-\frac{1}{kT}$ . Temperatur elektron dapat ditentukan dengan inversi dari nilai slope atau gradien m dari plot grafik boltzmann.



**Gambar 3. 4** Plot grafik Boltzmann untuk mencari nilai Temperatur Elektron (Gordillo-Vazquez, 2005)

Diatas merupakan contoh plot grafik boltzmann terhadap Energi dalam satuan eV.

Untuk penentuan temperatur elektron jika grafik hasil OES hanya menunjukkan 2 puncak emisi, maka persamaan garis linier dapat diturunkan dari nilai slope sehingga didapatkan formula sebagai berikut

$$T_e = \frac{1}{k} \frac{E_1 - E_2}{\ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right) - \ln\left(\frac{(gfv^3)_2}{(gfv^3)_1}\right)} \quad (3.4)$$

temperatur elektron dengan satuan Kelvin, untuk mendapatkan temperatur elektron dengan satuan eV yaitu dengan mengalikan dengan konstanta Boltzmann.

Penentuan densitas elektron melalui persamaan saha-boltzmann. Bentuk persamaan saha-boltzmann seperti berikut

$$n_e = 4.83 \times 10^{21} \frac{I^0 g^+ A^+ \lambda^0}{I^+ g^0 A^0 \lambda^+} T^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{E^+ - E^0 + E_1}{kT}\right) \quad (3.5)$$

Dengan indeks (0 dan +) menunjukkan atom netral dan ion. T merupakan temperatur elektron yang didapat dari plot grafik boltzmann dan  $E_1$  adalah energi ionisasi pertama.

Perhitungan densitas elektron juga dapat ditentukan melalui lebar garis spektral. Dalam plasma, garis spektral mengalami pelebaran (*broadening*), pelebaran yang terjadi biasanya yaitu pelebaran *Doppler* dan pelebaran *Stark*. Pelebaran garis spektral terjadi akibat adanya peningkatan energi. Untuk mencari densitas elektron melalui pelebaran stark yaitu dengan mengetahui lebar suatu puncak spektral (FWHM). Terdapat batas minimum nilai densitas elektron yang harus dipenuhi yaitu dihitung menggunakan persamaan (3.7) (Musadiq *et.al*, 2013). Penentuan densitas dapat melalui persamaan berikut

$$\Delta\lambda_{1/2} = 2\omega \left(\frac{Ne}{10^{16}}\right) \quad (3.6)$$

$$Ne = \left(\frac{\Delta\lambda_{1/2} 10^{16}}{2\omega}\right) \quad (3.6)$$

$$Ne \geq 1,6 \times 10^{16} T_{1/2} (\Delta E)^3 \quad (3.7)$$

dengan persamaan pelebaran garis spektral *Stark* nilai densitas elektron dapat ditentukan dengan satuan  $\text{cm}^{-3}$  dan nilai  $\Delta\lambda$



(FWHM) didapatkan dari hasil *Peak Analyzer* dengan software *Origin*.

### 3.3.7 Pengaruh variasi tegangan RF pada plasma terhadap $T_e$ dan $n_e$ dan Hubungan terhadap Hidrofobisitas

Plasma yang dibangkitkan melalui generator plasma RF-DC menggunakan parameter tekanan dan lajur alir tetap dengan variasi tegangan RF. Parameter tegangan yaitu parameter yang berpengaruh pada pembangkitan plasma saat proses perlakuan permukaan QCM yang telah dideposisi lapisan tipis polistirena. Parameter pembangkitan plasma ini mempengaruhi temperatur elektron dan densitas elektron didalam *chamber*.

Gas yang digunakan adalah gas oksigen dengan parameter tekanan sebesar 40 Pa atau 0,300025 Torr dan laju alir 40 ml/menit. Variasi tegangan RF yaitu 60 V, 70 V, 80 V, 90 V, dan 100 V. Variasi pembangkitan plasma menyebabkan energi yang dihasilkan berbeda, sehingga kondisi plasma akan berbeda. Temperatur elektron berkaitan dengan energi yang diberikan pada elektron, semakin besar energi yang diberikan maka temperatur elektron semakin besar

Perbedaan nilai temperatur elektron dan densitas elektron akibat variasi tegangan RF yang diberikan akan mempengaruhi permukaan yang diberi perlakuan plasma. Parameter plasma  $T_e$  dan  $n_e$  menunjukkan karakteristik plasma, sehingga sangat berkaitan dengan suatu permukaan yang diberi perlakuan plasma dengan parameter pembangkitan tertentu. Interaksi antara spesies plasma dengan lapisan polistirena diatas QCM akan merubah struktur permukaan lapisan, dan perubahannya dapat diamati salah satunya melalui sifat hidrofobisitasnya. Temperatur elektron sangat berkaitan dengan sifat energetik elektron, semakin besar temperatur elektron maka semakin energetik elektron. Sehingga dengan semakin besarnya temperatur elektron, tumbukan antara elektron dengan atom dan molekul semakin kuat dan juga tumbukannya terhadap sampel juga semakin kuat sehingga mampu melepaskan atom-atom yang terikat pada atom atau membentuk struktur kekasaran pada permukaan.. Dengan mengetahui hubungan antara parameter plasma  $T_e$  dan  $n_e$  terhadap sifat hidrofobisitas permukaan maka proses modifikasi permukaan dapat dilakukan dengan efektif dengan mempertimbangkan parameter plasma.



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

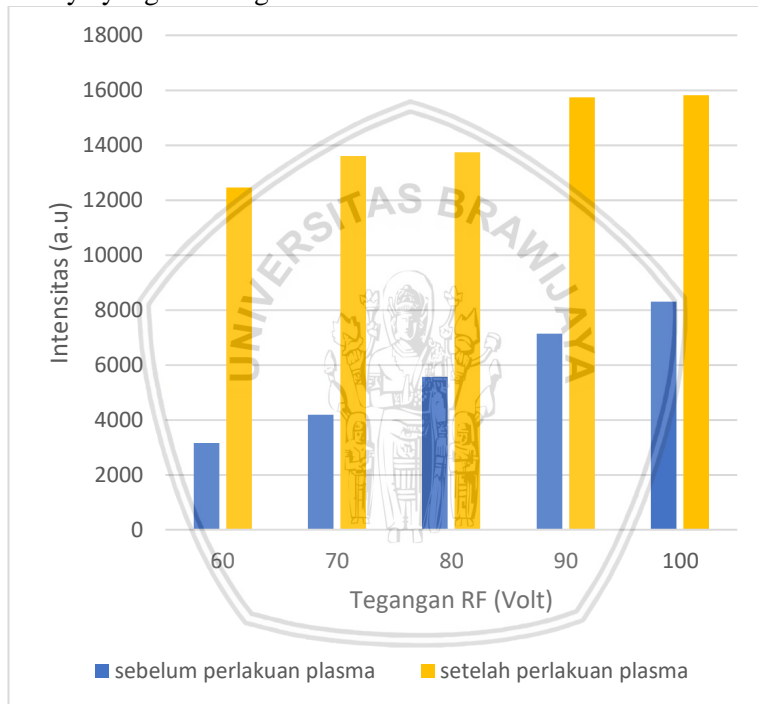
### 4.1 Pengaruh Variasi Tegangan terhadap Intensitas Plasma Oksigen

Plasma merupakan status gas yang terionisasi dan disebut wujud zat keempat. Plasma terdiri atas spesies-spesies plasma diantaranya molekul gas, atom gas, ion, elektron, dan atom radikal. Suatu medium gas yang diberikan energi yang besarnya sama atau lebih dari energi ionisasi daripada gas tersebut, menghasilkan ion-ion positif dari medium gas ataupun elektron, karena ion akan terlepas dari atomnya ketika mendapatkan energi lebih dari energi ikatnya. Tegangan RF (*Radio frequency*) yang diberikan akan sebanding dengan energi yang diberikan pada molekul atau atom gas. Penambahan tegangan dari generator akan mempengaruhi besarnya intensitas plasma yang dihasilkan. Semakin besar tegangan yang berarti besar energi pula yang diberikan, maka semakin besar pula intensitas spesies plasma yang dihasilkan.

Sumber tegangan RF dihasilkan dari generator dengan frekuensi radio sebesar 2,03 MHz. Pembangkitan plasma oksigen di dalam ruang vakum menggunakan generator RF yang sebelumnya di dalam ruang vakum sudah dialirkan gas oksigen yang besar laju alir diukur dengan *flowmeter*. Pada kondisi tekanan gas sesuai parameter, daya dari generator RF yang terhubung pada elektroda di dalam ruang vakum diberikan. Tegangan dari generator RF merupakan tegangan AC, sehingga terdapat medan listrik bolak-balik yang diberikan. Medan listrik bolak-balik ini menyebabkan ion dan elektron bergetar karena perubahan kutub (polarisasi) yang cepat sehingga menghasilkan panas. Energi termal gas yang meningkat inilah yang menyebabkan elektron dari gas tersebut terionisasi atau tereksitasi. Pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan antara variasi tegangan RF yang diberikan terhadap intensitas plasma oksigen yang dihasilkan, terlihat bahwa terjadi peningkatan intensitas spektrum emisi plasma oksigen sebanding dengan bertambahnya nilai tegangan RF.

Besarnya tegangan RF yang diberikan mempengaruhi spektrum emisi plasma yang dihasilkan, yaitu menghasilkan spektrum emisi plasma yang semakin besar intensitasnya.

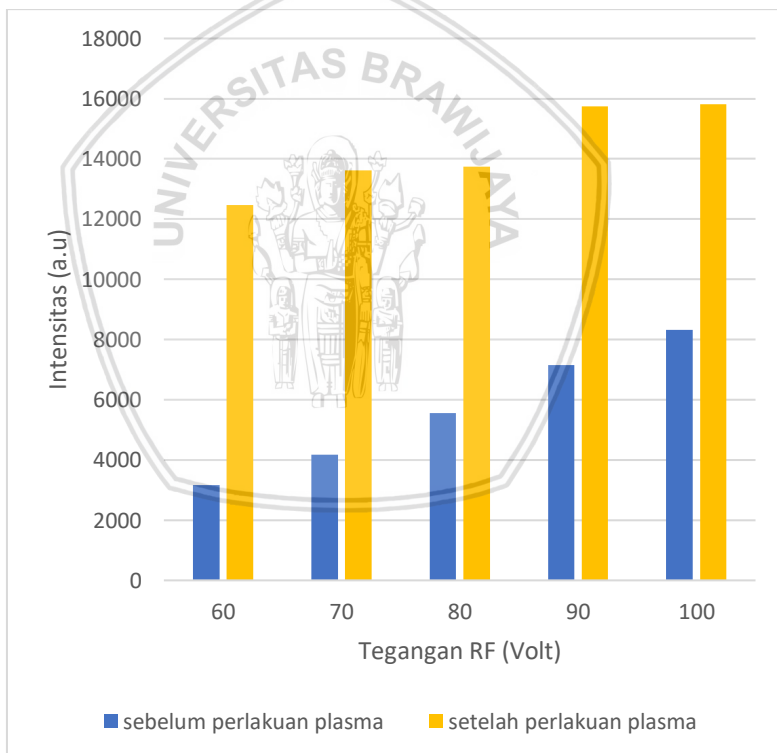
Akibatnya nyala plasma (*glow discharge*) yang teramati juga semakin terang, jika divisualisasikan pada grafik hubungan panjang gelombang-intensitas, semakin terang nyala plasma, semakin tinggi puncak grafiknya yang menandakan besar intensitas foton. Hal ini disebabkan karena beda tegangan yang diberikan. Ketika medan listrik semakin besar akibat beda tegangan yang besar, maka semakin banyak pula molekul gas atau atom yang akan mengalami ionisasi, eksitasi, dan reaksi lainnya yang memungkinkan.



**Gambar 4. 1** Grafik pengaruh Tegangan RF terhadap Intensitas Plasma Oksigen pada peak 774 nm

**Tabel 4. 1** Pengaruh Tegangan RF terhadap Intensitas plasma pada peak 774 nm

Tegangan RF (volt)	Intensitas (a.u)		
	$\lambda = 774 \text{ nm}$		
	Sebelum	Setelah	Selisih
60	3163,62	12461,68	9298,06
70	4182,66	13609,81	9427,16
80	5563,57	13738,35	8174,78
90	7144,66	15736,33	8591,67
100	8312,95	15830,98	7499,20



**Gambar 4. 2** Grafik pengaruh Tegangan RF terhadap Intensitas Plasma Oksigen pada peak 841 nm

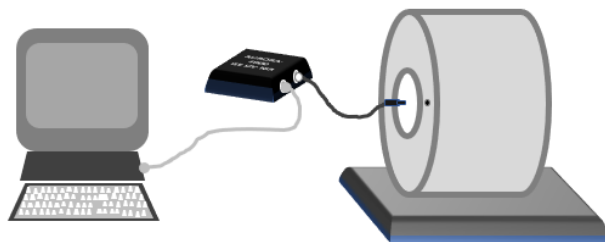
**Tabel 4. 2** Pengaruh Tegangan RF terhadap Intensitas plasma pada peak 841 nm

Tegangan RF (volt)	Intensitas (a.u)		
	$\lambda = 841 \text{ nm}$		
	Sebelum	Setelah	Selisih
60	1283,56	3785,11	2501,56
70	1565,89	4667,79	3101,90
80	1926,64	4842,79	2916,15
90	2357,66	7451,05	5093,39
100	2743,57	7554,78	4725,08

Intensitas spektrum emisi plasma oksigen mengalami kenaikan ketika sampel QCM diberikan perlakuan plasma oksigen dengan variasi tegangan RF yang semakin meningkat. Kenaikan intensitas plasma dikarenakan lapisan tipis polistirena diatas substrat QCM mengandung molekul atau atom oksigen sehingga ketika sampel tersebut diberi perlakuan plasma, atom atau molekul yang ada pada substrat kemungkinan mengalami reaksi fisis (*ion bombardment*). Sehingga terdapat beberapa atom atau molekul oksigen tambahan dari lapisan polistirena yang menghasilkan spektrum emisi oksigen.

#### 4.2 Analisis Spesies Plasma dan Parameter Plasma

Untuk mengetahui jenis spesies plasma yang terdapat dalam plasma oksigen yaitu dengan mengukur spektrum emisi plasma menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*). Spektroskopi yang digunakan yaitu OES jenis AURORA-4000 GE UV-NIR. Sensor optik pada spektroskopi dihadapkan pada jendela *chamber* yang terbuat dari kaca bening. Sensor akan mendeteksi spektrum emisi dari plasma yang akan dikirimkan menuju spektroskopi untuk diolah dan akan divisualisasikan pada komputer menggunakan software *Spectral Analysis* yang akan diolah menggunakan software *Origin*.



**Gambar 4. 3** Pengukuran Spektrum emisi plasma di dalam ruang vakum menggunakan OES

Sinar yang diemisikan oleh plasma berkaitan dengan transisi atomik atau molekuler medium gas. Spektrum emisi yang diukur yaitu spektrum emisi plasma oksigen pada saat sebelum dan sesudah proses *treatment* plasma terhadap material QCM yang telah dideposisikan polistirena. Diagnosa plasma oksigen menggunakan OES menghasilkan grafik intensitas plasma terhadap fungsi panjang gelombang emisi. Spesies plasma memiliki karakteristik puncak (*peak*) pada panjang gelombang tertentu. Penentuan spesies plasma yaitu dengan mencocokkan panjang gelombang yang muncul pada *database NIST* atau dengan mencari literatur spesies plasma oksigen lainnya.

Pada plasma oksigen muncul spektrum dominan pada panjang gelombang 774 nm dan 841 nm. Literatur banyak menunjukkan bahwa spesies plasma pada panjang gelombang tersebut merupakan spesies atom oksigen netral (O). Atom oksigen pada plasma dihasilkan dari beberapa kemungkinan reaksi, reaksi utama dalam pembentukan atom O yaitu reaksi disosiasi karena adanya tumbukan elektron,



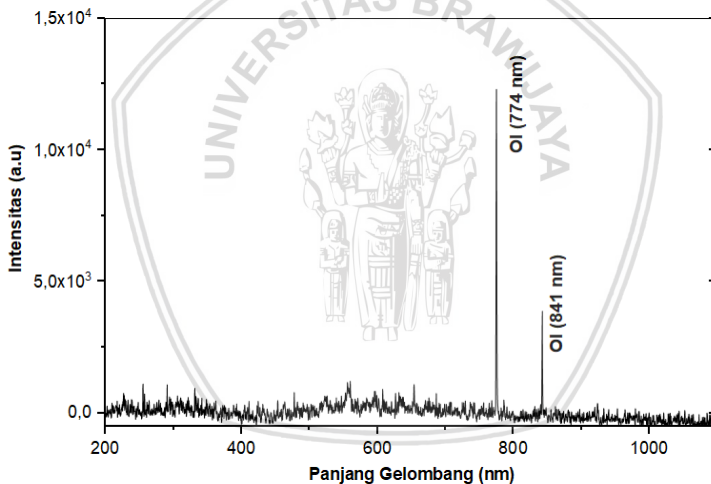
Menurut wang, spektrum emisi dari peluruhan atom oksigen dihasilkan dari 2 proses yaitu eksitasi pada atom oksigen atau eksitasi pada molekul. Eksitasi langsung pada atom oksigen dari keadaan dasar (*ground state*) dengan persamaan reaksi berikut



dan proses eksitasi dari molekul oksigen yang mengalami reaksi disosiasi, digambarkan dengan persamaan berikut.



Spesies  $\text{O}^*$  pada hasil proses eksitasi, merupakan spesies yang menghasilkan spektrum emisi pada panjang gelombang 844,6 nm (Wang, 2009) yang terdeteksi pada OES ditunjukkan dengan munculnya puncak (*peak*) garis spektrum pada panjang gelombang  $\pm 841$  nm, selain itu, juga terdapat garis spektral yang terdeteksi pada panjang gelombang 774 nm yang menunjukkan spesies plasma OI (atom oksigen). Pada database NIST nilai panjang gelombang untuk spesies atom O atau OI menunjukkan nilai 777 nm dan 844 nm, karena ada pergeseran nilai pada kedua puncak hasil penelitian maka, nilai puncaknya dapat didekati menggunakan database NIST.



**Gambar 4. 4** Contoh hasil analisis spesies plasma pada grafik hasil OES

Pengukuran spektrum emisi dilakukan ketika sebelum proses *treatment* yaitu saat kondisi *chamber* tanpa sampel QCM dengan parameter pembangkitan tertentu, sehingga akan didapatkan data spektrum emisi referensi plasma oksigen. Setelah itu, pengukuran dilakukan kembali pada kondisi *chamber* terdapat sampel QCM yang akan ditreatment dengan parameter pembangkitan yang sama. Data referensi plasma oksigen dan spektrum plasma treatment dibandingkan agar diketahui

perubahan-perubahan pada garis spektral yang muncul. Pada penelitian ini didapatkan nilai intensitas pada proses *treatment* meningkat yaitu garis spektral dengan panjang gelombang 774 nm dan 841 nm yang merupakan spesies plasma OI (atom oksigen atau atom oksigen tereksitasi).

Intensitas spesies plasma OI (atom oksigen atau atom oksigen tereksitasi) pada proses *treatment* meningkat dikarenakan adanya tambahan atom O didalam *chamber* yang mengalami proses transisi eksitasi-deeksitasi. Atom oksigen didalam *chamber* mengalami peningkatan dikarenakan adanya atom atau molekul oksigen yang terlepas dari lapisan tipis polistirena di atas substrat QCM. Lapisan polistirena mengikat molekul oksigen bebas di udara, dan ketika diberi perlakuan plasma, molekul tersebut akan mengalami tumbukan dengan ion-ion dan akan terlepas. Dengan semakin banyaknya molekul atau atom oksigen didalam ruang vakum maka akan semakin banyak juga reaksi kimia yang terjadi pada molekul oksigen.

Intensitas spektrum emisi sangat mempengaruhi parameter plasma yaitu salah satunya temperatur elektron. Nilai temperatur elektron dapat ditentukan melalui plot grafik boltzmann. Pada hasil spektrum OES plasma oksigen hanya didapatkan 2 puncak dengan intensitas tertinggi yaitu pada panjang gelombang 774 nm dan 841 nm. Jika menggunakan metode grafik boltzmann hanya akan didapatkan 2 titik, sehingga keakuratan penentuan persamaan semakin kecil. Untuk itu terdapat formula menghitung temperatur elektron jika hanya diketahui 2 garis spektral seperti pada hasil OES yang didapatkan.

$$Te = \frac{1}{k} \frac{E_1 - E_2}{\ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right) - \ln\left(\frac{(gfv^3)_2}{(gfv^3)_1}\right)} \quad (4.4)$$

$$f = A\lambda^2 \quad (\text{Hamed S.S, 2005}) \quad (4.5)$$

$$gfv^3 = gA \frac{c^3}{\lambda} \quad (4.6)$$

$$T_e = \frac{1}{k} \frac{E_1 - E_2}{\ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right) - \ln\left(\frac{\left(gA \frac{c^3}{\lambda}\right)_2}{\left(gA \frac{c^3}{\lambda}\right)_1}\right)} \quad (4.7)$$

$$T_e = \frac{1}{k} \frac{E_1 - E_2}{\ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right) - \ln\left(\frac{\left(\frac{gA}{\lambda}\right)_2}{\left(\frac{gA}{\lambda}\right)_1}\right)} \quad (4.8)$$

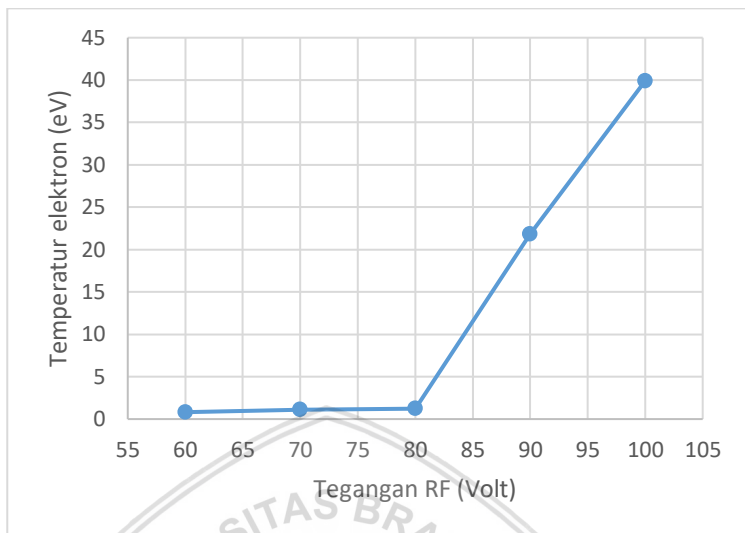
Dengan menggunakan formula tersebut temperatur elektron plasma dapat ditentukan melalui 2 garis spektral pada *peak* 774 nm dan 841 nm. Nilai variabel untuk perhitungan temperatur elektron didapatkan dari *database* NIST pada data tabel 4.3.

**Tabel 4. 3** Informasi Database NIST atom Oksigen pada panjang gelombang 774 nm dan 842 nm

Panjang gelombang (nm)	Spesies	Energi (cm <sup>-1</sup> )	<i>g</i>	Probabilitas Transisi (s <sup>-1</sup> )	<i>E</i> (eV)
774,7055	OI	73768,2	5	3,69E+07	9,147257
842,0116	OI	76794,978	3	3,22E+07	9,522577

Semakin besar tegangan RF yang diberikan yang artinya semakin besar juga daya pembangkitannya. Nilai temperatur elektron sangat berkaitan dengan intensitas emisi plasma. Semakin besar temperatur elektron artinya semakin energetik suatu elektron dalam bergerak, sehingga elektron akan lebih banyak memiliki kemungkinan untuk mengionisasi dan mengeksitasi atom maupun ion. Pada tabel terbukti jika semakin besarnya tegangan RF maka temperatur elektron semakin besar, dan probabilitas ionisasi dan atau ekstasi juga semakin besar, ditandai dengan puncak intensitas emisi plasma yang semakin tinggi.





**Gambar 4. 5** Grafik Pengaruh Tegangan RF terhadap Temperatur elektron Plasma Oksigen

**Tabel 4. 4** Pengaruh Tegangan RF terhadap Temperatur elektron Plasma Oksigen

Tegangan RF (Volt)	Temperatur elektron (eV)
60	0,814
70	1,105
80	1,202
90	21,776
100	39,898

Perhitungan temperatur menggunakan rasio dari dua titik ini juga memiliki kelemahan yang sama dengan metode grafik Boltzmann karena persamaan ini merupakan hasil penurunan dari persamaan garis dari persamaan Boltzmann, sehingga sangat memungkinkan untuk mendapatkan hasil temperatur negatif. Seperti halnya jika plot grafik Boltzmann memiliki nilai slope positif.

Densitas elektron pada plasma juga sangat dipengaruhi oleh energi yang diberikan. Perhitungan densitas elektron yaitu melalui metode pelebaran garis spektral *Stark*. Garis spektral yang didapatkan pada hasil visualisasi OES pada software bukan

merupakan bentuk garis-garis, melainkan dalam bentuk puncak yang memiliki lebar tertentu. Pelebaran garis spektral ini umumnya dapat dijelaskan melalui pelebaran *Stark* dan pelebaran *Doppler*. Perhitungan densitas elektron menggunakan metode pelebaran *Stark* dengan persamaan berikut

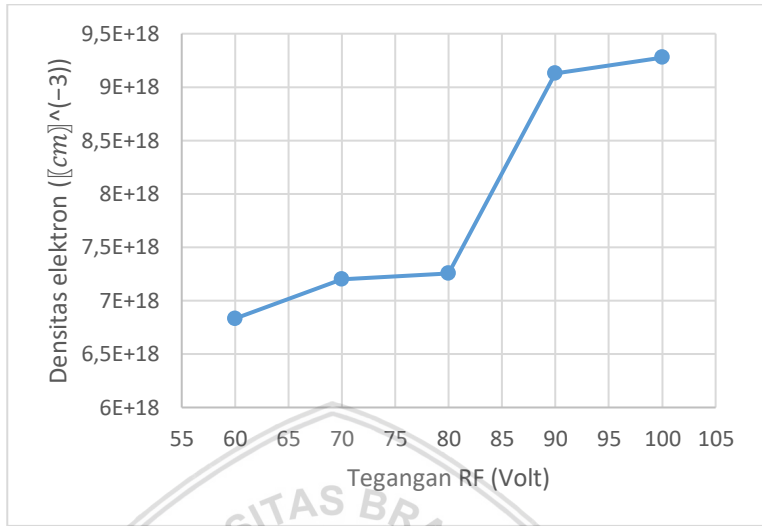
$$N_e = \left( \frac{\Delta\lambda_{1/2} 10^{16}}{2\omega} \right) \text{cm}^{-3} \tag{4.9}$$

Dengan variabel  $\Delta\lambda$  diketahui dari nilai FWHM pada hasil analisis puncak menggunakan software *Origin*. Batas minimum nilai densitas elektron yaitu harus dipenuhi agar dapat menghitung nilai densitas elektron menggunakan perhitungan pada persamaan 3.7 seperti yang ditampilkan pada tabel 4.5

**Tabel 4. 5** Batas Minimum Nilai Densitas elektron

$\lambda$ (nm)	$V_{RF}$ (Volt)	$T$ (eV)	$\Delta E = E_k - E_i$ (eV)	$N_e$ (cm <sup>-3</sup> )
774,705	60	0,814	1,595	5,28384E+16
774,592	70	1,105	1,595	7,17322E+16
774,570	80	1,202	1,595	7,80266E+16
774,671	90	21,776	1,595	1,41389E+18
774,731	100	39,898	1,595	2,59051E+18

Batas minimum nilai densitas elektron yang harus dipenuhi yaitu pada kondisi kesetimbangan termodinamika (*Local Thermodynamic Equilibrium*).



**Gambar 4. 6** Grafik Pengaruh Tegangan RF terhadap Densitas Elektron

**Tabel 4. 6** Pengaruh Tegangan RF terhadap Densitas Elektron Plasma Oksigen

$V_{RF}$ (Volt)	$\lambda$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	$\omega = 2\pi/\lambda$	$N_e$ ( $cm^{-3}$ )
60	774,7055	1,10878	0,008114	6,83278E+18
70	774,5922	1,16828	0,008115	7,19839E+18
80	774,5696	1,17751	0,008115	7,25505E+18
90	774,6715	1,48166	0,008114	9,13023E+18
100	774,7315	1,50514	0,008113	9,27563E+18

Pada perhitungan densitas elektron dipilih pada puncak 774 nm dengan pertimbangan merupakan puncak dominan dan memiliki intensitas tertinggi. Didapatkan nilai lebar garis spektral yang semakin besar dengan bertambahnya besar tegangan RF yang diberikan. Hal ini sesuai bahwa dengan adanya penambahan energi, garis spektral emisi semakin lebar. Pelebaran garis spektral mempengaruhi besar densitas elektron, sesuai dengan perhitungan pada persamaan 4.9, bahwa nilai  $\Delta\lambda$  atau lebar garis spektral berbanding lurus dengan nilai densitas elektronnya. Pada

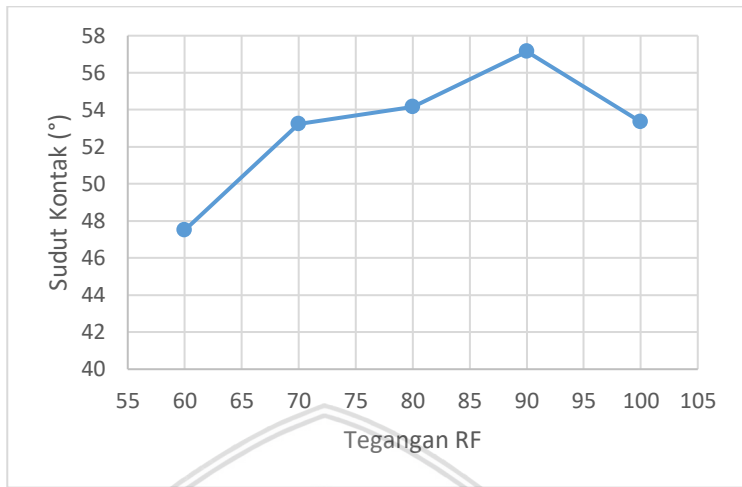
hasil penelitian menunjukkan nilai densitas elektron pada plasma oksigen dengan pembangkitan generator RF pada tegangan 60 V hingga 100 V, rentang densitas elektron yaitu  $6,8 \times 10^{18}$  sampai dengan  $9,3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Sehingga semakin besar nilai pelebaran garis spektral maka nilai densitas elektron juga semakin besar.

#### 4.3 Pengaruh Perlakuan Plasma Oksigen terhadap Sifat Hidrofobisitas Permukaan QCM

Perlakuan plasma oksigen pada lapisan polistirena diatas substrat QCM menyebabkan tingkat kebasahan (hidrofobisitas) permukaan mengalami perubahan. Hidrofobisitas suatu permukaan sangat berkaitan dengan energi permukaan atau morfologi permukaannya. Semakin besar energi permukaan pada suatu substrat akan menghasilkan sifat permukaan yang hidrofilik karena adanya gaya adhesi yang lebih besar antara molekul air dengan material substrat. Selain itu kekasaran permukaan juga mempengaruhi hidrofobisitas permukaannya, semakin besar luas permukaan maka energi permukaannya semakin kecil. Perubahan karakter permukaan terjadi setelah perlakuan plasma oksigen, artinya terdapat kontribusi spesies plasma oksigen yang menyebabkan perubahan karakter permukaan polistirena. Elektron dan ion didalam *chamber* yang diberikan beda potensial akan mengalami polarisasi sehingga ion-ion tersebut akan bergerak. Pergerakan ion ini akan menumbuk permukaan QCM/PS yang diletakkan didalam *chamber*. Dengan adanya efek *bombardment* ini, permukaan akan mengalami perubahan karakter permukaannya.

**Tabel 4. 7** Pengaruh Temperatur elektron terhadap Hidrofobisitas QCM

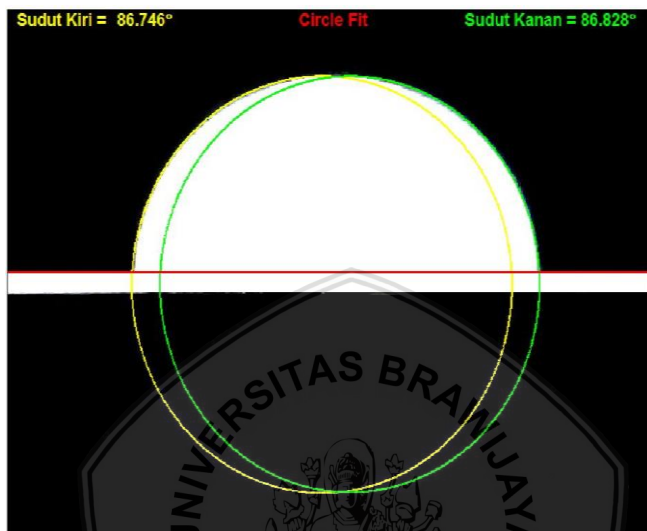
Tegangan RF (Volt)	Temperatur elektron (eV)	Sudut Kontak ( $^{\circ}$ )		Selisih
		Tanpa Plasma	Setelah plasma	
60	0,814	86,101	38,597	47,504
70	1,105	85,472	32,227	53,245
80	1,202	86,128	31,971	54,157
90	21,776	84,916	27,777	57,139
100	39,898	87,256	33,899	53,357



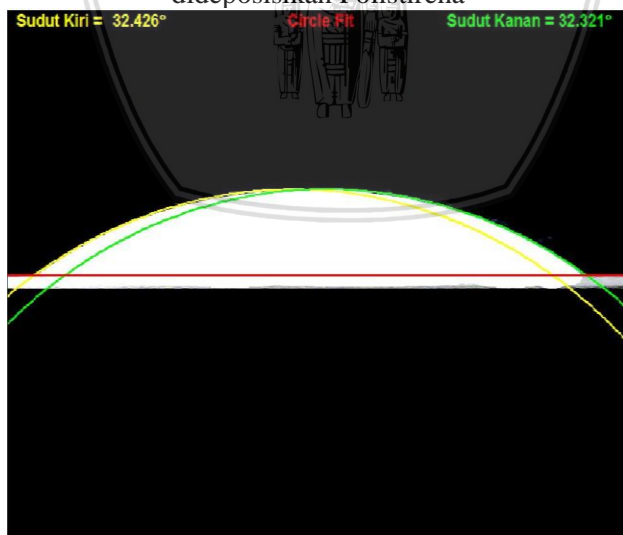
**Gambar 4.7** Grafik Pengaruh Tegangan RF terhadap nilai selisih sudut kontak permukaan QCM/PS

Nilai sudut kontak pada lapisan polistirena sebelum dilakukan perlakuan plasma menunjukkan karakter permukaan yang mendekati hidrofobik dengan besar sudut kontak  $\approx 90^\circ$  seperti pada gambar 4.8. Perlakuan plasma oksigen dengan variasi tegangan RF merubah karakter permukaan polistirena menjadi semakin hidrofilik, besar sudut kontak permukaan lapisan polistirena menurun. Semakin besar tegangan yang diberikan dalam pembangkitan plasma, semakin menurunkan sudut kontak permukaan polistirena. Karakter permukaan polistirena yang hidrofilik disebabkan adanya reaksi kimia didalam ruang vakum ketika plasma oksigen dibangkitkan. Reaksi kimia pada plasma sangat memungkinkan terjadi ketika energi yang diberikan tidak terlalu tinggi. Pada tabel 1.1 disebutkan beberapa gugus fungsional yang bersifat polar terbentuk ketika lapisan polistirena diberikan perlakuan plasma. Gugus fungsional ini yang berkontribusi terhadap perubahan karakter permukaan dari hidrofobik menjadi hidrofilik. Pada variasi tegangan 100 V nilai penurunan sudut kontak menurun, hal ini diakibatkan karena energi yang diberikan terlalu tinggi ditandai dengan hasil perhitungan temperatur elektron pada variasi tegangan ini paling tinggi. Temperatur elektron yang tinggi akan menyebabkan energi kinetik elektron dan ion juga semakin besar, sehingga terjadi reaksi fisika atau tumbukan

(*impact*) ion terhadap permukaan yang akan melepaskan gugus fungsional polar dan menyebabkan nilai sudut kontak sedikit meningkat.



**Gambar 4. 8** Sudut Kontak Permukaan QCM yang dideposisikan Polistirena



**Gambar 4. 9** Sudut Kontak Permukaan QCM dideposisi Polistirena dan diberi Perlakuan Plasma Oksigen

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

1. Spesies plasma oksigen yang dominan muncul yaitu spesies plasma OI (atom oksigen netral atau atom tereksitasi). Temperatur (energi) elektron dan Densitas elektron yang didapatkan semakin meningkat sebanding dengan bertambahnya tagangan RF yang diberikan.
2. Hidrofobisitas permukaan QCM/PS mengalami penurunan terjadi setelah perlakuan plasma oksigen, dengan penurunan sudut kontak semakin besar sebanding dengan penambahan tegangan RF. Pada tegangan 100 V terjadi peningkatan sudut kontak karena energi elektron yang terlalu tinggi Temperatur (energi) elektron yang tinggi mengakibatkan tumbukan elektron dengan atom atau molekul semakin kuat dan mempengaruhi penurunan sudut kontak permukaan.

#### 5.2 Saran

Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya, generator DC juga diaplikasikan sehingga proses *bombardment* semakin terarah. Pengujian FTIR untuk mengetahui gugus fungsi pada permukaan juga dilakukan.

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Anon. (2007). *Plasma Surface Modification of Polymers*. Plasmatech,inc.
- Bai, Qingsong, Xianhe Huang. (2016). *Using Quartz Crystal Microbalance for Field Measurement of Liquid Viscosities*. Journal of Sensors.
- Cheng Lin, Yu., Chi Chen, Yi., Yu Chen, Liang. (2013). *Effect of Electrode Surface Modification by Sulfide on QCM Based Protein Biosensor*. Optics and Photonics Journal.
- Farhat Ali Mohammad, Bassam M. Ali, James G. Speight (2005). *Handbook of Industrial Chemistry: Organic Chemicals*. New York: Mc. Graw Hill Professional.
- Gordillo-Vazquez, F.J., M Camero, C Gomes Alexiandre. (2005). *Spectroscopic measurements of the electron temperature in low pressure radio frequency Ar/H<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> and Ar/H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> plasmas used for the synthesis of nanocarbon structures*. institute of physics publishing.
- Hamed, S.S. (2005). *Spectroscopic Determination of Excitation Temperature and Electron Density in Premixed Laminar Flame*.
- Kasper, M., Lukas Traxler, Jasmina Salopek, Herwig Grabmayr, Andrian Ebner, Ferry Kienberger. (2016). *Broadband 120 MHz Impedance Quartz Crystal Microbalance (QCM) with Calibrated Resistance and Quantitative Dissipation for Biosensing Measurements at Higher Harmonic Frequencies*. MDPI.
- Lieberman, Michael A., Allan J. Lichtenberg. 2005. *Principles Of Plasma Discharges And Materials Processing*. New york: John Wiley and Son.



- Marx, K. A. (2003). *Quartz Crystal Microbalance: A Useful Tool for Studying Thin Polymer Films and Complex Biomolecular Systems at the Solution-Surface Interface*. American Chemical Society.
- Musadiq, M., Nasir Amin, Yasir Jamil, Munawar Iqbal, M. Asif Naeem, Hafiz Akif Shahzad. (2013). *Measurement of electron number density and electron temperature of laser-induced silver plasma*. International Journal of Engineering and Technology.
- 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.
- Sakti, Setyawan P., Eka Rahmawati, Fadli Robiandi. (2016). *Solvent effect on Polistirena surface roughness on top of QCM sensor*. AIP Conference Proceedings.
- Somayeh, Heydari., Gholam Hossein Haghayegh. (2014). *Application of Nanoparticles in Quartz Crystal Microbalance Biosensors*.
- Ukhtary, Shofie M., Abdurrouf, Masruroh. *Karakterisasi Temperatur Elektron ( $T_e$ ) Dari Spektroskopi Emisi Optik Untuk Plasma Gas Argon Yang Dihasilkan Dari Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PE CVD)*.
- Wang L., et.al. (2009). *Effect of bias in patterning diamond by a dual electron cyclotron resonance-radio-frequency oxygen plasma.. Thin Solid Films*.