

repository.ub.ac.id

**PENGARUH LAJU ALIR PADA PLASMA OKSIGEN  
TERHADAP JENIS SPESIES PLASMA DAN SIFAT  
HIDROFOBISITAS PERMUKAAN POLISTIREN DENGAN  
MENGUNAKAN *OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY*  
(OES)**

**SKRIPSI**

Oleh:

**HERANIAWATI  
145090300111016**



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

UNIVERSITAS  
BRAWIJAYA



repository.ub.ac.id

**PENGARUH LAJU ALIR PADA PLASMA OKSIGEN  
TERHADAP JENIS SPESIES PLASMA DAN SIFAT  
HIDROFOBISITAS PERMUKAAN POLISTIREN DENGAN  
MENGUNAKAN *OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY*  
(OES)**

**SKRIPSI**

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

Oleh:

**HERANIAWATI  
145090300111016**



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

UNIVERSITAS  
BRAWIJAYA



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PENGARUH LAJU ALIR PADA PLASMA OKSIGEN  
TERHADAP JENIS SPESIES PLASMA DAN SIFAT  
HIDROFOBISITAS PERMUKAAN POLISTIREN DENGAN  
MENGUNAKAN *OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY*  
(OES)**

oleh:

**HERANIAWATI  
145090300111016**

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, M.Si  
NIP. 197512312002122002**

**Ir. D.J. Djoko H. S., Ph. D  
NIP. 196601311990021001**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Prof. Dr.rer.nat. Muhammad Nurhuda  
196409101990021001**



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Heraniawati  
NIM : 145090300111016  
Program Studi : Fisika  
Penulis skripsi berjudul :

**PENGARUH LAJU ALIR PADA PLASMA OKSIGEN  
TERHADAP JENIS SPESIES PLASMA DAN SIFAT  
HIDROFOBISITAS PERMUKAAN POLISTIREN DENGAN  
MENGUNAKAN *OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY*  
(OES)**

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka, semata-mata digunakan sebagai acuan atau referensi.
2. Apabila di kemudian 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, 18 Mei 2018  
Yang menyatakan,

(Heraniawati)  
NIM. 145090300111016





repository.ub.ac.id

**PENGARUH LAJU ALIR PADA PLASMA OKSIGEN  
TERHADAP JENIS SPESIES PLASMA DAN SIFAT  
HIDROFOBISITAS PERMUKAAN POLISTIREN DENGAN  
MENGUNAKAN *OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY*  
(OES)**

**ABSTRAK**

Penelitian mengenai modifikasi lapisan tipis polistiren dan karakterisasi plasma oksigen telah dilakukan. Modifikasi tersebut menggunakan metode *spin coating* untuk mendeposisikan lapisan tipis polistiren di atas QCM yang kemudian diberikan perlakuan plasma oksigen. Deposisi lapisan tipis polistiren di atas QCM dilakukan dengan metode *spin coating*, kemudian diberi perlakuan plasma oksigen. Plasma oksigen dibangkitkan menggunakan tegangan RF 100 volt, tegangan DC 0 volt, tekanan 40 Pa, dan variasi laju alir 20, 30, 40, 50, dan 60 ml/menit. Hasil perlakuan menunjukkan permukaan polistiren bersifat hidrofilik. Data Spektrum emisi diperoleh dari karakterisasi menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES) dan diidentifikasi dengan acuan *database* NIST. Spesies plasma yang paling dominan hasil identifikasi ialah atom netral OI dan ion OII. Temperatur elektron hasil perhitungan persamaan Boltzmann antara dua garis emisi pada spesies OI yang sama diperoleh nilai 0,97 – 1,12 eV. Selanjutnya, densitas elektron diperoleh dari persamaan Saha-Boltzmann antara spesies OI dan OII dengan nilai  $(0,04 - 3,77) \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$ . Temperatur dan densitas elektron pada penelitian ini menurun dengan meningkatnya laju alir gas oksigen.

Kata kunci: plasma oksigen, hidrofobisitas, temperatur elektron, densitas elektron



# THE EFFECT OF OXYGEN FLOW RATE ON PLASMA SPECIES AND SURFACE HYDROPHOBICITY OF POLYSTYRENE USING OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY (OES)

## ABSTRACT

In this research, modified the polystyrene thin films using oxygen plasma treatment and characterization has been investigated. The modification was performed by depositions of polystyrene films using spin coating method then treated by oxygen plasma. The oxygen plasma was generated using an RF generator of 100 volt, DC generator of 0 volt, pressure of 40 Pa, and 5 variations of oxygen flow rate (20 – 60 ml/minute). The result show that the surface of polystyrene is hydrophilic. Data of emission spectrum was obtained from characterization using Optical Emission Spectroscopy (OES) and was identified using NIST database as a reference. The identification shows that the dominant plasma species was OI atom (neutral) and OII ion. electron temperature that was calculated using Boltzmann equation between to emission lines of the same species OI is 0,97 – 1,12 eV. Electron density was calculated using Saha-Boltzmann equation between species OI and OII is  $(0,04 - 3,77) \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$ . Based on the data, the electron temperature and the electron density are decreasing along with the increasing of oxygen flow rate.

Keywords: oxygen plasma, hydrophobicity, electron temperature, electron density



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. Berkat rahmat, hidayah, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul: “Pengaruh Laju Alir pada Plasma Oksigen Terhadap Jenis Spesies Plasma dan Sifat Hidrofobisitas Permukaan Polistiren dengan Menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES) “.

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat ujian tugas akhir mahasiswa S1 Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya. Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Tanpa bantuan tersebut, penyusunan skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

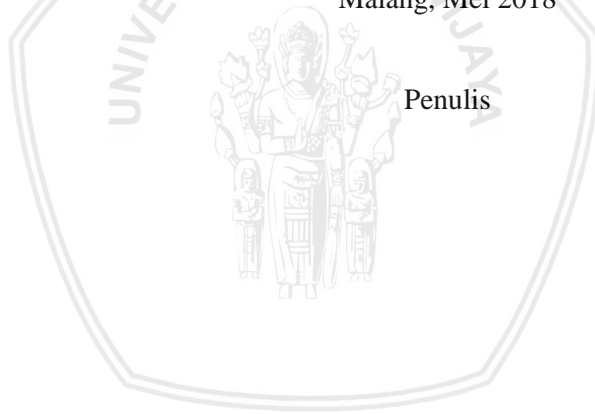
1. Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya yang tidak terbatas.
2. Orangtua saya tercinta (Alm. Abidin dan Munirah), yang senantiasa memberikan nasihat, semangat, dan dorongan.
3. Kakak-kakakku dan adik-adikku, Ivan Sofiana L, Iyan Supriyatna, Pipit Delfita, dan Ismail Basayip yang selalu memberikan bantuan, nasihat, serta senantiasa menghibur dan menyemangati.
4. Ibu Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, dukungan, kritik, saran, dan semangat dalam proses penelitian maupun penulisan skripsi.
5. Bapak Ir. D.J. Djoko H.S., M.Phil. Ph.D. selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, dukungan, kritik, saran, dan semangat dalam proses penelitian maupun penulisan skripsi.
6. Bapak Prof. Dr.rer.nat. Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan.
7. Ibu Dra. Lailatin Nuriyah, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik.
8. Dosen-dosen dan staf Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmunya serta memberikan pelayanan akademik kepada penulis.
9. Sahabat-sahabatku, Adelia Putri E.S., Fatmala Sari, dan Ikharanofa Mayola yang selalu memberikan bantuan dan motivasinya.

10. M. Adib Abdillah M., teman satu penelitian yang senantiasa berjuang bersama-sama dan berbagi ilmunya dalam penyusunan skripsi.
11. Maulidah, Ermitha, Desy Widya, Rani, Kristian, Betty, Rifky, Febri, dan April, teman seperjuangan selama di laboratorium.
12. Mahasiswa S2 Jurusan Fisika (Mbak Nike, Mas Dika, Mbak Arin, Mbak Tyas, dan Mbak Sukma) atas bantuan dan bimbingannya kepada penulis.
13. Teman-teman se-angkatan 2014 Jurusan Fisika atas dukungan dan bantuannya selama ini.
14. Serta seluruh pihak yang telah mendukung dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak luput dari kesalahan. Oleh sebab itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk perbaikan. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Malang, Mei 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Plasma .....	5
2.1.1 Pembangkitan Plasma.....	6
2.1.2 Karakterisasi Spektrum Emisi Plasma .....	7
2.2 Quartz Crystal Microbalance (QCM).....	10
2.3 Hidrofobisitas.....	11
2.4 Polistiren .....	13
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>15</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	15
3.2 Peralatan dan Bahan.....	15
3.3 Tahapan Penelitian .....	15

3.4	Diagram Alir Penelitian.....	16
3.5	Persiapan Bahan .....	21
3.5.1	Pembuatan Larutan Polistiren .....	21
3.5.2	Proses Deposisi Lapisan Tipis.....	21
3.6	Penentuan Sifat Hidrofobisitas Lapisan Polistiren di atas QCM dengan Pengukuran Sudut Kontak .....	22
3.7	Penentuan Pengaruh Variasi Laju Alir Terhadap Sifat Hidrofobisitas Lapisan Polistiren di atas QCM ..	23
3.8	Penentuan Spesies Plasma Oksigen.....	25
3.9	Penentuan Karakteristik Spektrum (Temperatur dan Densitas Elektron) dengan OES .....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>33</b>
4.1	Pengaruh Plasma terhadap Sifat Hidrofobisitas Polistiren.....	33
4.2	Pengaruh Laju Alir terhadap Plasma .....	36
4.3	Pengaruh Laju Alir terhadap Spesies Plasma .....	41
4.4	Parameter Plasma .....	44
4.3.1	Temperatur Elektron .....	44
4.3.2	Densitas Elektron.....	47
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>49</b>
5.1	Simpulan.....	49
5.2	Saran.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>51</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>55</b>



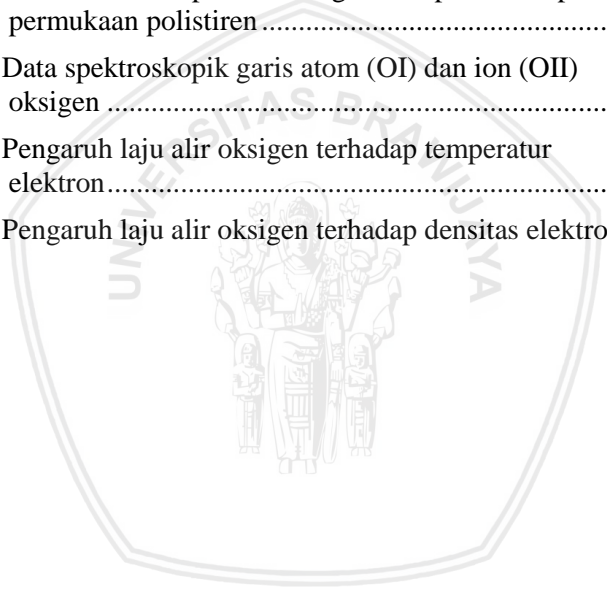
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip pembangkitan plasma.....	7
Gambar 2. 2 Temperatur elektron sebagai fungsi dari laju alir gas oksigen dengan variasi tekanan total gas. Daya RF diatur tetap pada 200 W. ....	9
Gambar 2. 3 Densitas elektron sebagai fungsi dari laju alir gas oksigen dengan variasi tekanan total gas. Daya RF diatur tetap pada 200 W. ....	10
Gambar 2. 4 Sudut kontak permukaan hidrofobik dan hidrofilik...	12
Gambar 2. 5 Struktur polistiren.....	14
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian .....	17
Gambar 3. 2 Tahapan pembuatan larutan polistiren.....	17
Gambar 3. 3 Tahapan deposisi lapisan tipis.....	18
Gambar 3. 4 Tahapan pengukuran sudut kontak.....	19
Gambar 3. 5 Tahapan perlakuan dengan plasma oksigen .....	20
Gambar 3. 6 Skema plasma RF-DC .....	23
Gambar 3. 7 Jendela utama <i>OriginPro</i> .....	25
Gambar 3. 8 Spektrum hasil seleksi .....	26
Gambar 3. 9 Tampilan jendela <i>Peak Analyzer</i> .....	26
Gambar 3. 10 Tampilan jendela pengaturan <i>Baseline Mode</i> .....	27
Gambar 3. 11 Jendela pengaturan <i>Find Peaks</i> .....	28
Gambar 3. 12 Spektrum hasil <i>Fitting</i> dan data mengenai puncak-puncak dominan .....	28
Gambar 3. 13 Hasil <i>Fitting</i> .....	29
Gambar 3. 14 Pengaturan pada <i>database NIST</i> .....	30
Gambar 3. 15 Data spektrum plasma .....	30
Gambar 4. 1 Salah satu sudut kontak permukaan polistiren sebelum perlakuan plasma .....	33

Gambar 4. 2	Salah satu sudut kontak permukaan polistiren setelah perlakuan plasma oksigen.....	34
Gambar 4. 3	Pengaruh laju alir oksigen terhadap perubahan sifat hidrofobisitas polistiren .....	35
Gambar 4. 4	Bentuk intensitas spektrum plasma oksigen pada laju alir 20 ml/min (bawah) dan 40 ml/menit (atas) .....	37
Gambar 4. 5	Grafik pengaruh laju alir terhadap intensitas emisi plasma oksigen pada $\lambda = 774$ nm.....	40
Gambar 4. 6	Grafik pengaruh laju alir terhadap intensitas emisi plasma oksigen pada $\lambda = 841$ nm.....	40
Gambar 4. 7	Grafik pengaruh laju alir terhadap intensitas emisi plasma oksigen pada $\lambda = 653$ nm.....	41
Gambar 4. 8	Spesies utama dari spektrum emisi oksigen pada laju alir 20 ml/min, tegangan RF 100 volt, dan tekanan 40 Pa.....	42
Gambar 4. 9	Spesies dominan dari spektrum emisi oksigen pada laju alir 40 ml/min, tegangan RF 100 volt, dan tekanan 40 Pa.....	43
Gambar 4. 10	Pengaruh laju alir oksigen terhadap temperatur elektron.....	46
Gambar 4. 11	Pengaruh laju alir terhadap densitas elektron .....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Reaksi ionisasi dan rekombinasi .....	5
Tabel 2. 2 Sudut kontak beberapa jenis material.....	13
Tabel 2. 3 Sifat fisis dan kimia polistiren.....	14
Tabel 4. 1 Sudut kontak permukaan polistiren sebelum dan setelah perlakuan plasma oksigen .....	35
Tabel 4. 2 Intensitas emisi plasma oksigen tanpa polistiren (tanpa perlakuan).....	39
Tabel 4. 3 Intensitas emisi plasma oksigen saat perlakuan pada permukaan polistiren .....	39
Tabel 4. 4 Data spektroskopik garis atom (OI) dan ion (OII) oksigen .....	45
Tabel 4. 5 Pengaruh laju alir oksigen terhadap temperatur elektron.....	45
Tabel 4. 6 Pengaruh laju alir oksigen terhadap densitas elektron ....	47





**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1	Transisi atomik dari spesies utama plasma oksigen ( <i>database</i> NIST) .....	55
Lampiran 2	Data spektroskopik garis atom (OI) dan ion (OII) oksigen ( <i>database</i> NIST) .....	55
Lampiran 3	Energi ionisasi oksigen .....	55
Lampiran 4	Sudut kontak permukaan polistiren sebelum dan setelah perlakuan plasma oksigen .....	56
Lampiran 5	Sudut kontak permukaan polistiren sebelum perlakuan plasma oksigen .....	57
Lampiran 6	Sudut kontak permukaan polistiren setelah perlakuan plasma oksigen .....	62
Lampiran 7	Temperatur elektron plasma oksigen .....	67
Lampiran 8	Densitas elektron plasma oksigen .....	68
Lampiran 9	Gambar alat .....	69



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

*Quartz Crystal Microbalance* (QCM) merupakan salah satu jenis biosensor piezoelektrik yang sangat sensitif terhadap perubahan frekuensi yang dapat diukur dari perubahan massanya (Zhou, Huang, dan Li, 2001). Walaupun perubahan massanya sangat kecil, tetapi sangat berpengaruh terhadap perubahan frekuensinya. Hal ini sesuai dengan persamaan Saurbrey. Komponen utama dalam biosensor, antara lain transducer, reseptor, dan sistem *output* (Rahayu dkk., 2014).

Saat ini, QCM merupakan biosensor yang banyak digunakan untuk mendeteksi elemen biologi, diantaranya ion, gas, obat, substrat, enzim, mikrobiologi, protein, hormon, tumor, dan lain-lain. Agar dapat berinteraksi baik dengan elemen biologi, QCM tersebut dimodifikasi agar performanya meningkat. Strategi imobilisasi dilakukan dengan memodifikasi permukaan QCM, yaitu dengan menggunakan lapisan tipis polistiren di atas substrat QCM. Morfologi permukaan bahan sangat memengaruhi kemampuan imobilisasi (Sakti dan Santjojo, 2012).

Komponen biologi yang berinteraksi dengan QCM bersifat polar. Namun, dengan pemberian lapisan tipis polistiren dapat membuat permukaan QCM bersifat hidrofobik. Oleh karena itu, perlu dilakukan perlakuan (*treatment*) pada permukaannya. Permukaan polistiren yang telah diberi *hydrophobin* dan diukur sudut kontak menunjukkan sifat hidrofilik dari semula bersifat hidrofobik (Wang dkk., 2010). Dengan demikian sifat hidrofobitas permukaannya semakin menurun. Sifat permukaan tersebut dapat meningkatkan deteksi sensitivitas dari QCM. Modifikasi permukaan dapat pula menggunakan plasma, salah satunya plasma oksigen. Adapun hasil modifikasi tersebut menunjukkan hasil yang sama, yakni bersifat hidrofilik (Avram dkk., 2008). Penelitian serupa telah dilakukan pada modifikasi permukaan QCM terdeposisi polimer, yaitu polistiren dengan menggunakan plasma oksigen yang dibangkitkan dengan tegangan RF 60 volt dan variasi tegangan DC bias 100 – 500 volt. Setelah perlakuan plasma tersebut, sifat hidrofobitas permukaan polistiren cenderung meningkat dengan meningkatnya tegangan DC bias (Sakti dkk., 2017). Karakteristik plasma yang dibangkitkan

repository.ub.ac.id

dengan tegangan RF dan/atau tegangan DC berbeda. Tegangan RF akan menghasilkan intensitas emisi lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan DC.

Pada penelitian ini lapisan tipis polistiren terdeposisi di atas QCM dimodifikasi menggunakan plasma oksigen yang dibangkitkan dengan tegangan RF 100 volt dan DC bias 0 volt dengan beberapa variasi laju alir untuk mengetahui pengaruhnya terhadap intensitas emisi yang dihasilkan. Intensitas tersebut digunakan untuk mengetahui jenis spesies plasma yang berperan besar terhadap perubahan sifat hidrofobisitas permukaan polistiren.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh laju alir gas oksigen pada plasma yang dihasilkan terhadap jenis spesies dan parameter plasma (temperatur dan densitas elektron)?
2. Bagaimana hubungan laju alir plasma oksigen terhadap sifat hidrofobisitas permukaan polistiren?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini, antara lain:

1. Spektrum emisi plasma yang telah diukur menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES), diidentifikasi spesiesnya dengan menggunakan acuan *database* NIST.
2. Parameter pembangkitan yang divariasikan hanya laju alir gas oksigen. Sedangkan tekanan *base*, tekanan, tegangan RF, tegangan DC, dan waktu tetap.
3. Pengukuran temperatur elektron dari plasma oksigen menggunakan persamaan Boltzmann dan densitas elektron menggunakan persamaan Saha-Boltzmann.
4. Tidak membahas *microstructure* hasil karakterisasi FTIR, TMS, dan SEM dari permukaan polistiren.



## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini, antara lain:

1. Untuk mengetahui pengaruh laju alir gas oksigen pada plasma yang dihasilkan terhadap jenis spesies dan parameter plasma (temperatur dan densitas elektron).
2. Untuk mengetahui hubungan laju alir plasma oksigen terhadap sifat hidrofobisitas permukaan polistiren.

## 1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu memberikan pengetahuan mengenai jenis spesies yang berperan besar terhadap sifat hidrofobisitas lapisan polistiren setelah perlakuan dengan plasma oksigen.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Plasma

Wujud zat yang umum dikenal ialah padat, cair, dan gas. Namun berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, ilmuwan menemukan wujud zat lainnya, yaitu plasma. Plasma telah diteliti pertama kali oleh Sir William Crookes, kemudian dilanjutkan oleh J.J. Thomson, Namun pada saat itu wujud zat tersebut belum dinamakan sebagai plasma. Istilah plasma pertama kali dikemukakan oleh Irving Langmuir pada tahun 1928. Langmuir (1928) mengemukakan bahwa suatu gas yang terionisasi memiliki ion dan elektron dengan jumlah yang sama, sehingga muatan totalnya terdeteksi sangat kecil dan hampir mendekati netral.

Plasma memiliki peristilahan yang hampir sama dengan gas netral, perbedaannya ialah bahwa pada plasma terdapat dua jenis gas yang berbeda, yaitu gas elektron dan gas ion. Di mana masing-masing jenis tersebut memiliki densitas  $n_e$  dan  $n_i$ , dimana  $n_e$  merupakan densitas elektron dan  $n_i$  merupakan densitas ion. Pada keadaan tidak setimbang, dua jenis gas tersebut memiliki temperatur yang berbeda juga,  $T_e$  dan  $T_i$  dengan  $T_e$  temperatur elektron dan  $T_i$  temperatur ion. Reaksi yang terjadi dalam pembentukan plasma sebagian besar merupakan proses ionisasi atom. Fotoionisasi tersebut dapat terjadi akibat sumber radiasi ultraviolet atau tumbukan oleh elektron. Reaksi plasma dapat berupa ionisasi, fotoionisasi dan rekombinasi (Piel, 2010).

**Tabel 2. 1** Reaksi ionisasi dan rekombinasi (Piel, 2010)

$e + A \rightarrow A^+ + 2e$	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

Di dalam kesetimbangan termodinamik, reaksi-reaksi di atas saling berkaitan, dan merupakan reaksi sebaliknya (fotoionisasi dengan rekombinasi tiga partikel, dan ionisasi akibat tumbukan dengan

rekombinasi dua partikel). Energi ionisasi atom netral terletak antara 3 dan 25 eV, plasma dihasilkan pada temperatur yang tinggi (Piel, 2010).

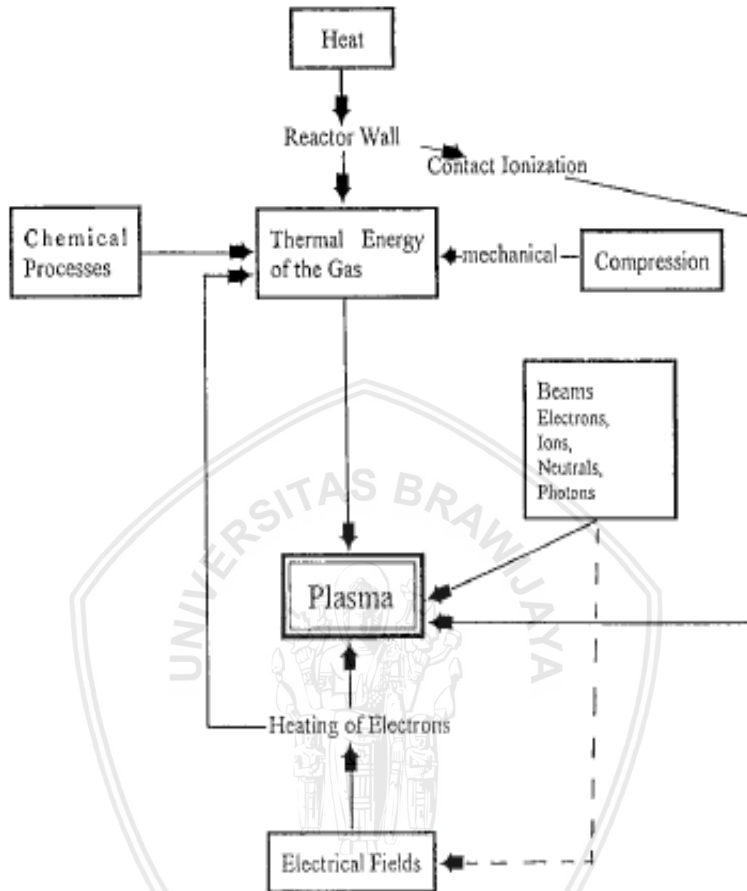
Parameter-parameter yang diberikan untuk pembangkitan plasma berpengaruh terhadap karakteristik plasma (temperatur dan densitas elektron) yang dihasilkan. Beberapa parameter pembangkitan tersebut diantaranya, laju alir, tekanan, daya, dan waktu.

Banyak sifat dan fungsionalisasi yang dapat diperoleh dengan perlakuan plasma. Proses modifikasi permukaan sangat diperlukan untuk beberapa aplikasi industri, salah satunya untuk membuat *integrated circuits* (ICs) dalam skala besar yang digunakan oleh industri elektronik. Proses tersebut juga penting digunakan dalam penerbangan, otomotif, baja, biomedis, dan industri pembuangan racun (Lieberman dan Lichtenberg, 2005). Plasma dapat digunakan untuk mengubah *wettability* permukaan bahan dari hidrofilik menjadi hidrofobik, atau sebaliknya. Pada saat perlakuan, permukaan bahan dibombardir oleh elektron cepat, ion, dan radikal bebas. Elektron, ion positif, ion negatif, atom atau molekul netral, dan radikal bebas merupakan spesies dalam plasma.

### 2.1.1 Pembangkitan Plasma

Plasma dibangkitkan dengan memasok energi pada gas netral yang menyebabkan pembentukan *charge carriers*. Pasokan energi yang dibutuhkan untuk pembangkitan plasma salah satunya ialah energi panas. Energi panas tersebut dapat dihasilkan dari reaksi kimia eksotermik maupun secara kompresi adiabatik (Conrads dan Schmidt, 2000). Ketika energi cukup untuk mengionisasi gas tersebut, elektron atau foton akan dihasilkan dan bertumbukan dengan atom atau molekul gas lain sehingga terjadi guguran elektronik dan menyebabkan ionisasi berantai (Nur, 2011).

Metode yang paling umum digunakan untuk menghasilkan dan mempertahankan plasma untuk keperluan teknologi maupun aplikasi teknis lainnya ialah dengan menerapkan medan elektromagnetik pada gas netral (Conrads dan Schmidt, 2000). Ada beberapa cara untuk membangkitkan plasma, antara lain dengan sumber DC, RF (*capacitive* atau *inductively coupled* pada rentang frekuensi MHz), dan *Microwave* (rentang frekuensi GHz).



**Gambar 2. 1** Prinsip pembangkitan plasma (Conrads dan Schmidt, 2000)

### 2.1.2 Karakterisasi Spektrum Emisi Plasma

Plasma yang dihasilkan dapat diamati spektrum emisinya dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES). Spektrum plasma yang terbentuk disajikan dalam grafik hubungan antara panjang gelombang dengan intensitasnya. Dari garis-garis spektral yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan

karakteristik atau parameter plasma, yaitu temperatur dan densitas elektron. Untuk plasma dari gas monoatomik, spektrum yang muncul berupa garis-garis spektral. Sedangkan plasma yang dihasilkan dari gas diatomik, spektrum yang muncul berupa pita. Hal tersebut disebabkan karena adanya transisi elektron dari molekul diatomik (Ukhtary dkk., 2013).

Temperatur dan densitas elektron ditentukan dengan melihat dan membandingkan spektrum emisi yang dihasilkan plasma dengan *database* NIST, kemudian dilakukan penghitungan menggunakan distribusi Boltzmann dan Saha (Halid dkk., 2016). Distribusi Boltzmann untuk intensitas diberikan oleh persamaan (2.1) berikut ini

$$I_{mn} = \frac{hcn_m A_{mn} g_m}{4\pi Z \lambda_{mn}} e^{-\frac{E_m}{kT_e}} \quad (2.1)$$

$$\ln \frac{I \lambda_{mn}}{A_{mn} g_m} = \ln \frac{hcn_m}{Z} - \frac{E_m}{kT_e} \quad (2.2)$$

Karena suku  $\left(\ln \frac{hcn_m}{Z}\right)$  merupakan parameter tetap, maka dapat didekati dengan suatu konstanta C

$$\ln \frac{I \lambda_{mn}}{A_{mn} g_m} = C - \frac{E_m}{kT_e} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) ini biasanya digunakan dalam menentukan temperatur elektron dengan plot grafik. Jika terdapat dua garis spektral, maka persamaan (2.3) dapat dituliskan

$$\ln \left( \frac{I \lambda_{mn}}{A_{mn} g_m} \right)_1 - \ln \left( \frac{I \lambda_{mn}}{A_{mn} g_m} \right)_2 = - \frac{(E_m)_1 - (E_m)_2}{kT_e} \quad (2.4)$$

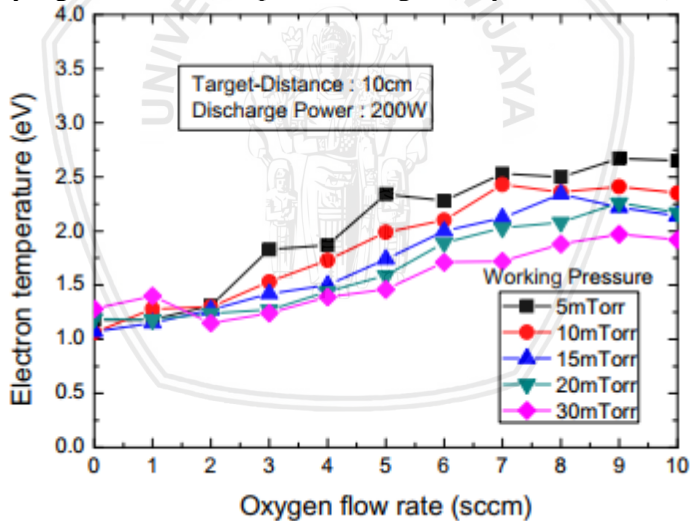
$$T_e = \frac{1}{k} \frac{E_1 - E_2}{\ln \frac{I_2 A_1 g_1 \lambda_2}{I_1 A_2 g_2 \lambda_1}} \quad (2.5)$$

dimana  $E$  energi level atas,  $I$  intensitas,  $g$  jumlah keadaan energi,  $A$  probabilitas transisi,  $\lambda$  panjang gelombang pada emisi (1) dan (2), dan  $k$  konstanta Boltzmann.

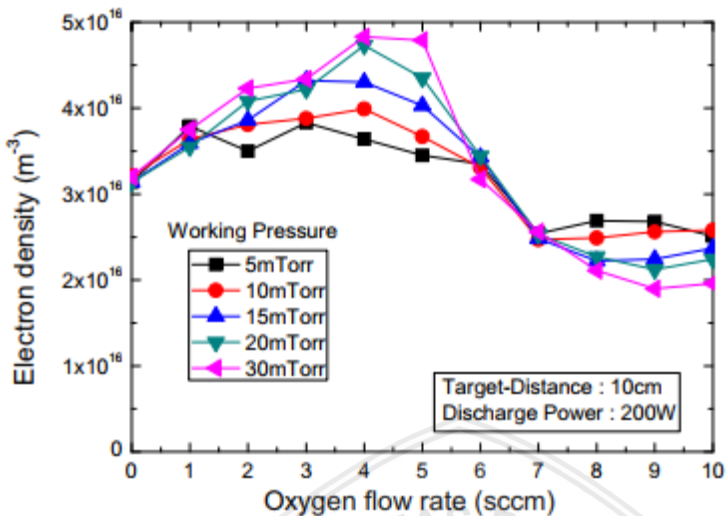
Persamaan Boltzmann di atas menggunakan hubungan populasi pada tingkat eksitasi dengan jumlah densitas dari spesies di dalam plasma. Apabila perhitungan dilakukan dengan plot kurva Boltzmann, maka akan diperoleh hubungan antara suku sebelah kiri persamaan (2.3) dengan  $E_m$  dan menghasilkan kemiringan pada  $-1/kT$ . Selanjutnya, dari kurva tersebut dapat dicari temperatur elektron plasma. Sementara itu, menurut Nam dan Kim (2001) densitas elektron dapat dicari dengan menggunakan persamaan Saha - Boltzmann (2.6). Persamaan (2.6) mengacu pada rasio jumlah kerapatan dari dua tahap ionisasi elemen yang sama.

$$n_e = 2 \frac{(2\pi mkT)^{3/2} I_{mn} g_i A_{ij} \lambda_{mn}}{h^3 I_{ij} g_m A_{mn} \lambda_{ij}} e^{-\left(\frac{E_{ionisasi} + E_i - E_m}{kT}\right)} \quad (2.6)$$

Berikut ini disajikan hasil penelitian sebelumnya sebagai acuan mengenai kurva hubungan laju alir dengan temperatur dan densitas elektron yang dihasilkan dari plasma oksigen (Nayan dkk., 2012).



**Gambar 2. 2** Temperatur elektron sebagai fungsi dari laju alir gas oksigen dengan variasi tekanan total gas. Daya RF diatur tetap pada 200 W (Nayan dkk., 2012)



**Gambar 2.3** Densitas elektron sebagai fungsi dari laju alir gas oksigen dengan variasi tekanan total gas. Daya RF diatur tetap pada 200 W (Nayan dkk., 2012)

Dapat diamati pada Gambar 2.2 bahwa semakin besar laju alir yang diberikan, semakin besar pula temperatur elektron yang dihasilkan. Sedangkan densitas elektron yang teramati pada Gambar 2.3 menunjukkan bahwa densitas elektron meningkat ketika laju alir oksigen meningkat dari 0 sampai 5 sccm. Kemudian, kerapatan elektron menurun setelah laju alir oksigen melebihi 5 sccm. Peningkatan densitas elektron tersebut disebabkan oleh hilangnya elektron yang tidak efisien dalam pelepasan gas buang (*vacuuming*). Sementara itu, penurunan densitas elektron pada laju alir oksigen di atas 5 sccm disebabkan oleh adanya pelekatan elektron pada oksigen membentuk ion oksigen negatif yang dominan.

## 2.2 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 (Ngo dkk., 2014). Sensor ini sensitif terhadap perubahan frekuensi pada



kristal kuarsa yang disebabkan oleh adanya perubahan massa pada permukaannya (Wahyuni dkk., 2012). Hubungan antara perubahan frekuensi dan massa beban ditunjukkan oleh persamaan Sauerbrey berikut ini

$$\Delta f = - \frac{2\Delta m f_0^2}{A\sqrt{\mu_q \rho_q}} \quad (2.7)$$

di mana  $\rho$  adalah densitas kristal kuarsa,  $\mu$  adalah modul geser kristal,  $f_0$  adalah frekuensi dasar kristal kuarsa berdasarkan adanya efek piezoelektrik,  $A$  adalah luas permukaan kristal,  $\Delta m$  dan  $\Delta f$ , yaitu perubahan massa dan frekuensi.

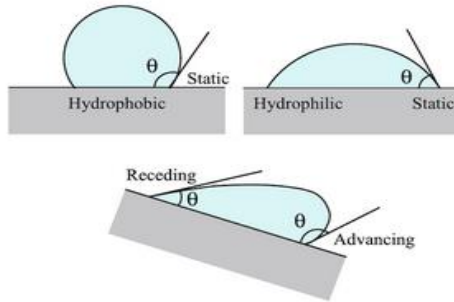
### 2.3 Hidrofobisitas

Hidrofobisitas merupakan properti fisika yang berkaitan dengan adhesi suatu bahan dengan molekul air. Semakin kasar suatu bahan, maka akan semakin hidrofobik (Burton dan Bhushan, 2005). Hidrofobik berasal dari suku kata hidro (*hydro*) yang berarti air dan fobik (*phobic*) yang berarti takut, maksudnya ialah bahan tersebut akan berusaha menolak molekul air ketika berinteraksi. Sedangkan hidrofilik berasal dari kata hidro (*hydro*) yang berarti air dan filik (*phylic*) yang berarti suka, maksudnya ialah bahan tersebut ketika berinteraksi akan menarik molekul air.

Pada umumnya, zat-zat yang bersifat nonpolar seperti minyak hidrokarbon dan polietilen termasuk hidrofobik. Efek hidrofobik menunjukkan adanya fenomena di mana sampel akan mudah larut dalam pelarut nonpolar daripada air. Efek tersebut karena kecenderungan air membentuk struktur ikatan hidrogen yang tidak termasuk bagian ikatan nonpolar atau non hidrogen. Efek hidrofobik sangat penting dalam sistem biologi. Pada protein, sebagian besar bagian dalamnya terdiri dari domain hidrofobik, sedangkan bagian luarnya lebih hidrofilik (Li dkk., 2018)

Permukaan bersifat hidrofilik atau hidrofobik dapat dilihat dari *wettability* dengan mengukur sudut kontak yang diperoleh ketika air diteteskan pada permukaan (Li dkk., 2018). Permukaan hidrofilik memiliki sudut kontak  $< 90^\circ$ , sedangkan permukaan hidrofobik memiliki sudut kontak  $> 90^\circ$ , (Pease, 2016). Selain itu terdapat pula

permukaan superhidrofobik yang memiliki sudut kontak  $> 150^\circ$  (Baludkk., 2011).



**Gambar 2. 4** Sudut kontak permukaan hidrofobik dan hidrofilik (Li dkk., 2018)

Dalam cairan murni, setiap molekul dalam jumlah besar ditarik secara merata ke segala arah oleh molekul-molekul cair yang berdekatan, menghasilkan gaya netto nol. Namun, molekul-molekul yang terpapar di permukaan tidak memiliki molekul tetangga ke segala arah untuk memberikan gaya total yang seimbang. Akibatnya, cairan secara mengontak area permukaannya untuk mempertahankan energi bebas minimum permukaan. Gaya intermolekul ini untuk berkontak dengan permukaan disebut tegangan permukaan, dan bertanggung jawab untuk bentuk tetesan cairan. Dalam praktiknya, kekuatan eksternal seperti gravitasi merusak droplet; akibatnya, sudut kontak ditentukan oleh kombinasi tegangan permukaan dan kekuatan eksternal (biasanya gravitasi). Menurut Thomas Young pada tahun 1805, sudut kontak tetesan cairan pada permukaan padat ideal ditentukan oleh kesetimbangan mekanis tetesan di bawah tiga tegangan antarmuka:

$$\gamma_{lv} \cos \theta_Y = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} \quad (2.8)$$

di mana  $\gamma_{lv}$ ,  $\gamma_{sv}$ , dan  $\gamma_{sl}$  masing-masing merupakan tegangan cair-uap, padat-uap, dan padat-cair, dan  $\theta_Y$  adalah sudut kontak. Biasanya persamaan (2.8) disebut sebagai persamaan Young, dan  $\theta_Y$  adalah sudut kontak Young (Yuan, 2013).

Tabel 2.2 merupakan nilai sudut kontak air terhadap beberapa jenis material. Nilai tersebut tidak pasti, beberapa perlakuan yang

dikenakan terhadap material-material tersebut, seperti plasma *etching* dapat mengubah sudut kontak nya (Li dkk., 2018).

**Tabel 2. 2** Sudut kontak beberapa jenis material (Li dkk., 2018)

Materials	$\theta_{\text{static}}$ (deg)	$\theta_{\text{advancing}}$ (deg)
Glass (clean)	0	0
Glass (ordinary)	14–51	60
Gold (clean)		0
Gold (ordinary)	61–65	
Si wafer	22	
SiO <sub>2</sub>		27
Poly(ethylene glycol) (PEG)	18	39–46
Albumin film	64–70	
Lysozyme film	58	
Polycarbonate (PC)	70	86
Poly(methyl methacrylate) (PMMA)	70–74	
Polystyrene (PS)	87–91	97
Alkanethiolate or alkylsilane self-assembled monolayers (SAMs)	108–115	110–116
Polydimethylsiloxane (PDMS)	108–113	118
Fluorohydrocarbon	115	
Teflon	112–118	

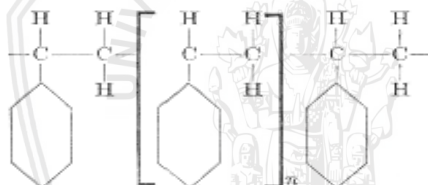
## 2.4 Polistiren

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). Pada Tabel 2.3 berikut disajikan mengenai sifat fisis dan kimia dari polistiren.

**Tabel 2. 3** Sifat fisis dan kimia polistiren (Ruhendi dan Sucipto, 2013)

No	Sifat Fisis dan Kimia Polistirena	Keterangan
1	Rumus molekul	$(C_8H_8)_n$
2	Densitas EPS	25 – 200 kg/m <sup>3</sup>
3	Melting Point	240 °C
4	Koefisien Transfer Panas	0,17 W/(m <sup>2</sup> . K)
5	Titik Didih	160 °C
6	Titik Beku	132,22 °C (270 °C)
7	Panas Spesifik	1,3 Kj/(kg.K)
8	Kelarutan	Larut dalam eter, hidrokarbon aromatik, hidrokarbon terkloninasi
9	Daya serap	Mempunyai daya serap rendah

Gambar 2.5 menunjukkan struktur kimia dari polistiren. 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 dkk., 1951).



**Gambar 2. 5** Struktur polistiren (Achhammer dkk, 1951)

Polistiren dapat larut dalam pelarut hidrokarbon, seperti toluena dan kloroform (Ruhendi dan Sucipto, 2013). Hal tersebut karena polistiren bersifat non-polar. Menurut Prisma dkk. (2014), di antara kedua pelarut yang telah disebutkan di atas, polistiren lebih mudah larut dalam pelarut toluena dibandingkan dengan kloroform. Hal ini disebabkan karena selain keduanya memiliki  $\delta_{\text{kelarutan}}$  yang hampir sama, yaitu  $\delta_{\text{toluena}}=18,2$  dan  $\delta_{\text{kloroform}}=18,9$ , toluene juga memiliki massa jenis yang lebih ringan daripada kloroform ( $\rho_{\text{kloroform}}=1,498$  g/ml dan  $\rho_{\text{toluena}}=0,867$  g/ml), serta titik didih toluena jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kloroform ( $T_{b\text{toluena}}=111^{\circ}\text{C}$  dan  $T_{b\text{kloroform}}=61^{\circ}\text{C}$ ).

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat

Waktu penelitian ini dilakukan mulai bulan November 2017 sampai dengan April 2018. Adapun tempat penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material Maju dan Laboratorium Sensor Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya.

### 3.2 Peralatan dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain sistem plasma RF-DC, *Optical Emission Spectroscopy* (OES) Aurora 4000, *Personal Computer* (PC), *Software Spectral Analysis* dan *OriginPro*, *Spin Coater*, *Contact Angle Measurement* (CAM), *micro pipette*, pinset, *yellow tip*, gelas ukur, gelas kimia, botol vial, *tissue*.

Adapun bahan yang digunakan, antara lain 15 buah *Quartz Crystal Microbalance* (QCM), 0,18 gram biji plastik polistiren dengan berat molekul 192 g/mol, 3 ml toluena, aquades, alkohol, dan gas oksigen.

### 3.3 Tahapan Penelitian

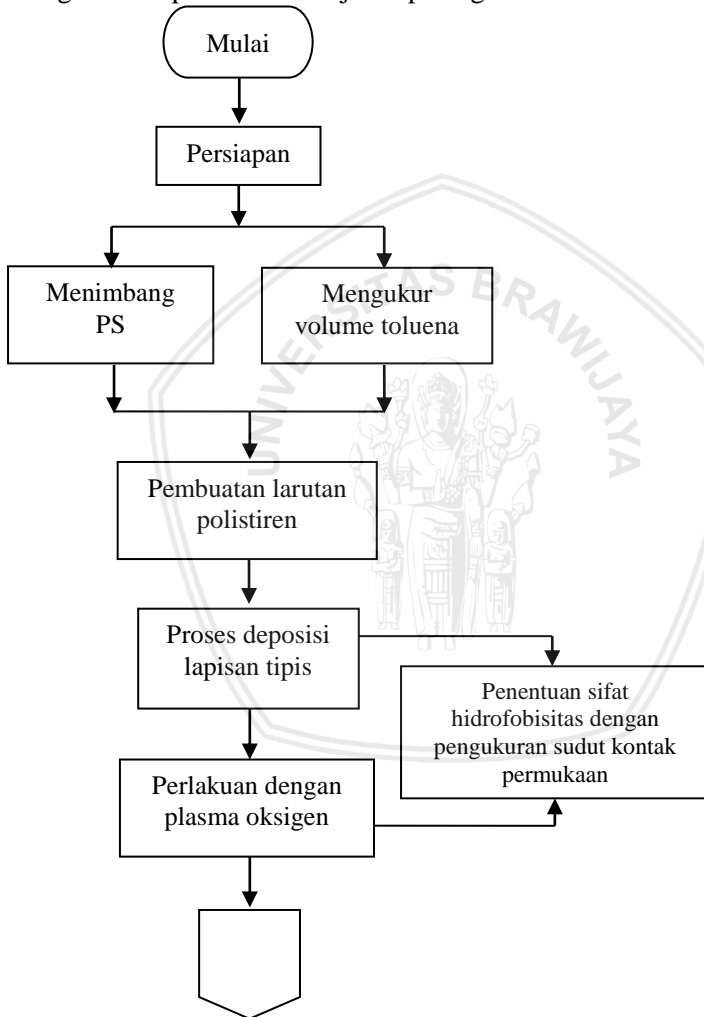
Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, antara lain:

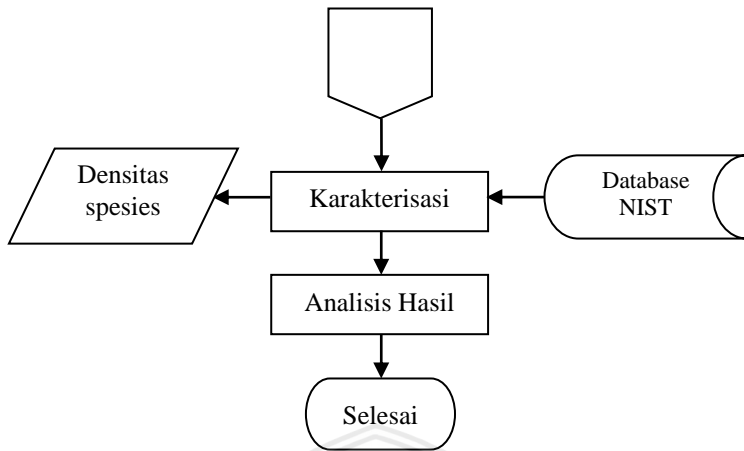
1. Persiapan bahan
  - a. Pembuatan larutan polistiren dengan pelarut toluena
  - b. Proses deposisi lapisan tipis polistiren di atas QCM dengan metode *spin coating*
2. Penentuan sifat hidrofobisitas lapisan polistiren sebelum perlakuan menggunakan sudut kontak
3. Perlakuan permukaan polistiren dengan plasma oksigen. Adapun parameter pembangkitan plasma, antara lain tegangan RF 100 volt, tegangan DC 0 volt, tekanan saat pembangkitan 40 Pa, tekanan *base (vacuuming)* 3 Pa, waktu 2 menit, dan variasi laju alir 20-60 ml/menit
4. Penentuan sifat hidrofobisitas lapisan polistiren setelah perlakuan menggunakan sudut kontak

5. Penentuan spesies plasma oksigen
6. Penentuan karakteristik spektrum (temperatur dan densitas elektron) dengan OES
7. Analisis hasil

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

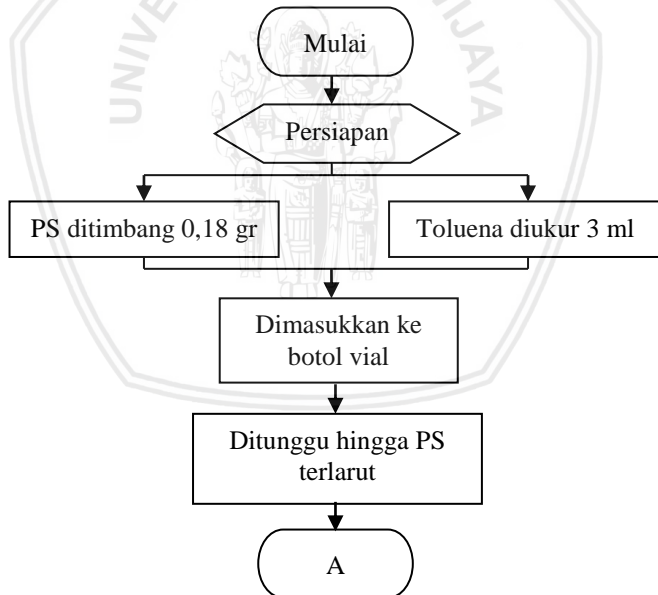
Diagram alir penelitian disajikan pada gambar 3.1 berikut:





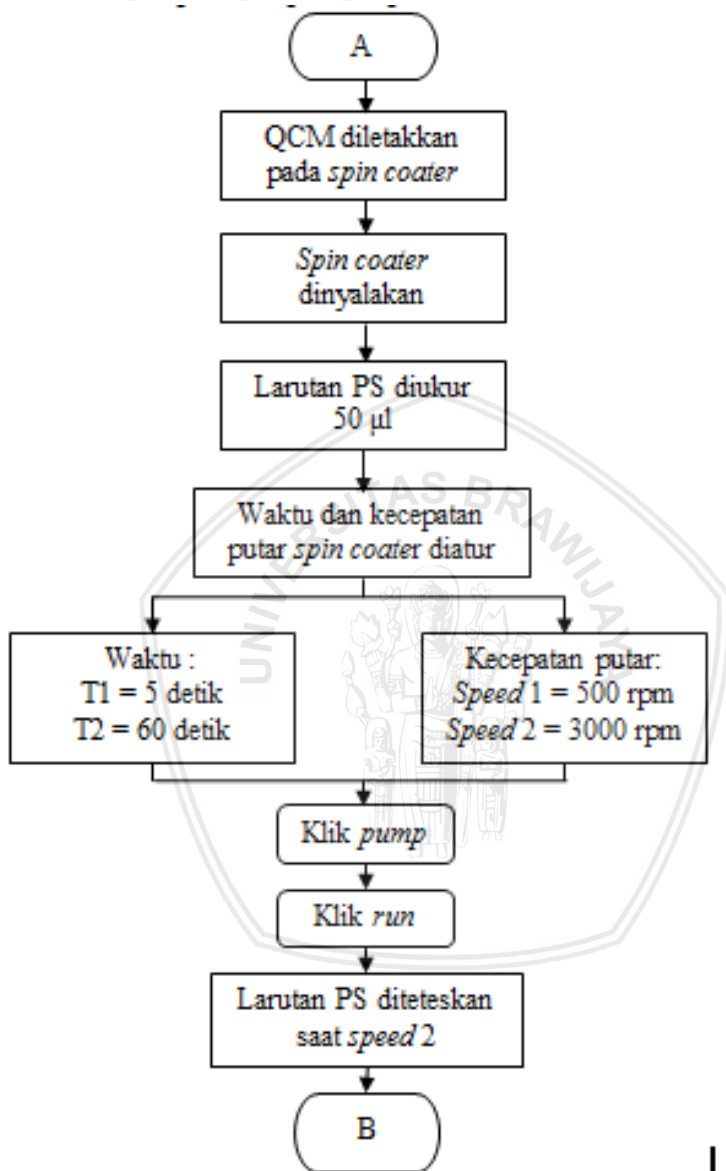
**Gambar 3. 1** Tahapan Penelitian

### 3.4.1 Pembuatan Larutan Polistiren



**Gambar 3. 2** Tahapan pembuatan larutan polistiren

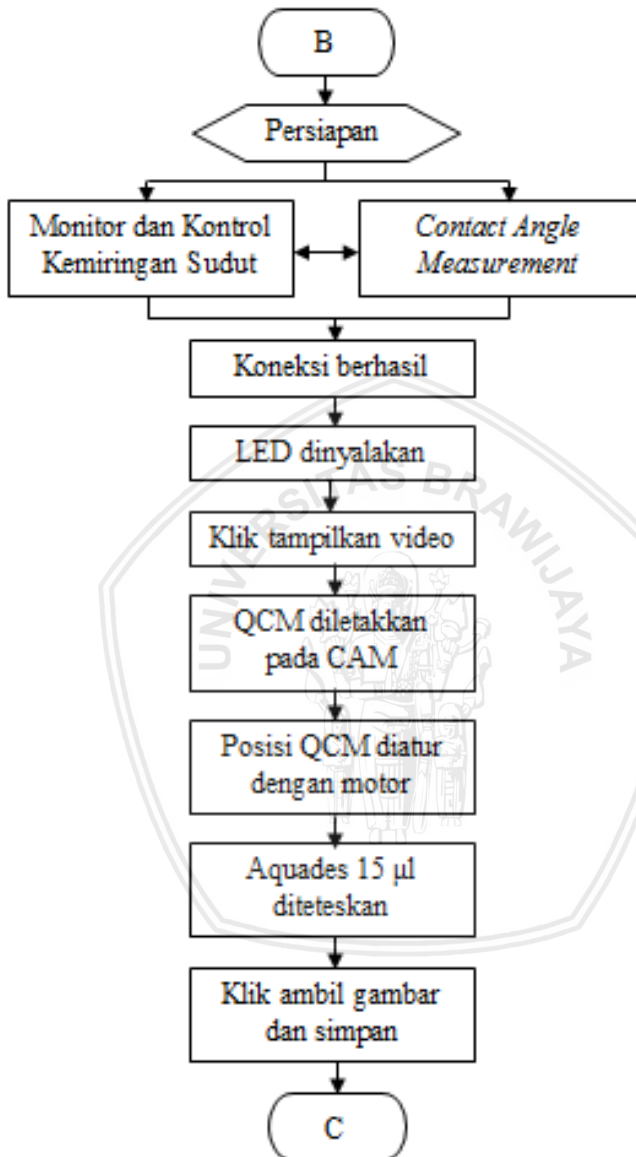
### 3.4.2 Proses Deposisi Lapisan Tipis



Gambar 3. 3 Tahapan deposisi lapisan tipis

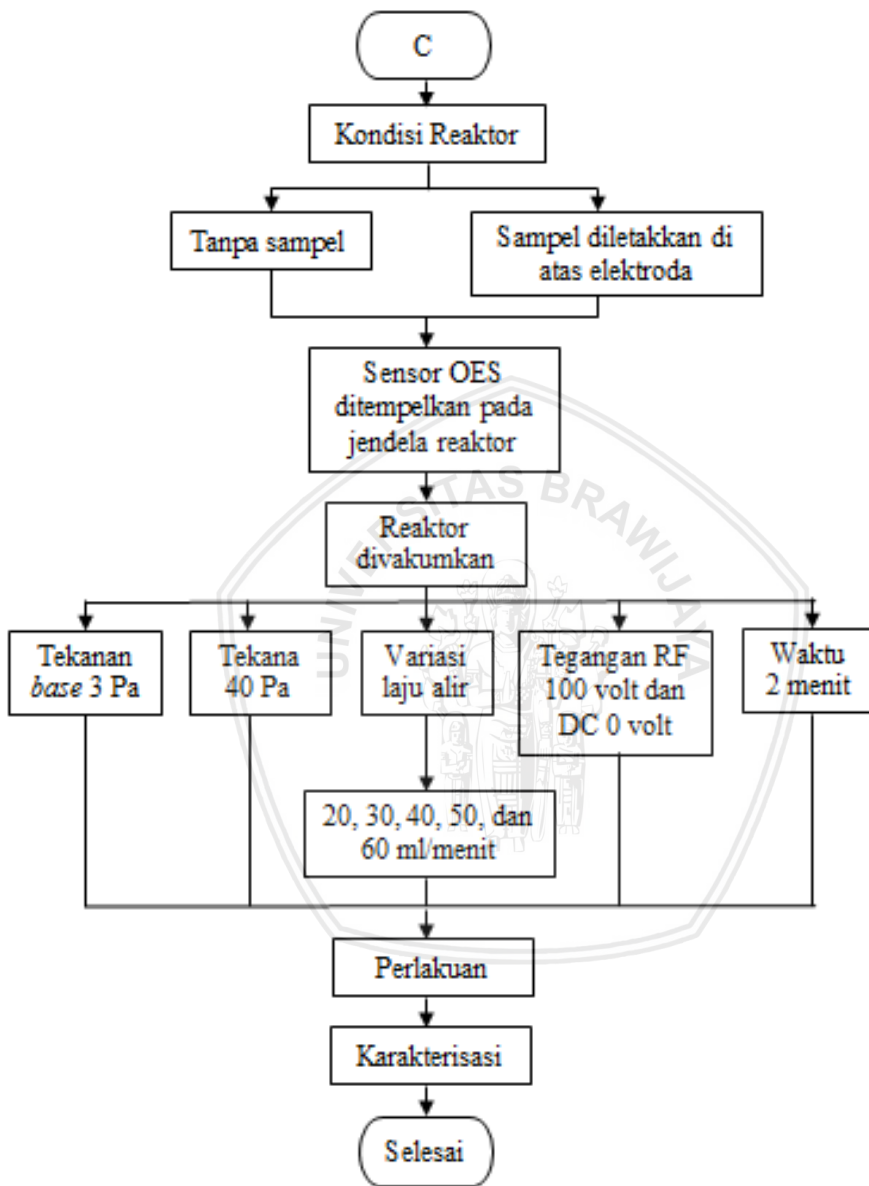


### 3.4.3 Pengukuran Sudut Kontak



Gambar 3. 4 Tahapan pengukuran sudut kontak

### 3.4.4 Perlakuan dengan Plasma Oksigen



**Gambar 3. 5** Tahapan perlakuan dengan plasma oksigen

## 3.5 Persiapan Bahan

### 3.5.1 Pembuatan Larutan Polistiren

Biji plastik polistiren memiliki massa jenis 1,04 g/ml. Larutan polistiren dibuat dengan melarutkan biji plastik tersebut dengan pelarut toluena. Pelarut toluena merupakan salah satu pelarut yang umum digunakan selain kloroform dan hidrokarbon. Toluena digunakan karena memiliki massa jenis yang lebih ringan dan titik didihnya lebih tinggi daripada pelarut lainnya. Konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 6% sesuai dengan penelitian yang telah ada. Untuk membuat larutan polistiren 6% digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{konsentrasi terlarut} = \frac{m_t \text{ (g)}}{m_t \text{ (g)} + m_p \text{ (g)}}$$

$$\text{konsentrasi terlarut} = \frac{m_t / \rho_t \text{ (ml)}}{m_t / \rho_t \text{ (ml)} + V_p \text{ (ml)}}$$

$$\text{konsentrasi PS} = \frac{0.18 \text{ (g)} / 1.04 \text{ (g/ml)}}{[0.18 \text{ (g)} / 1.04 \text{ (g/ml)}] + 3 \text{ ml}} \approx 0.06$$

$$\text{konsentrasi PS (\%)} = 0.06 \times 100 \% = 6\%$$

di mana  $m_t$  merupakan massa polistiren,  $\rho_t$  adalah massa jenis polistiren, dan  $V_p$  adalah volume pelarut toluena. Volume toluena yang digunakan, dibulatkan menjadi 1 ml.

Bahan terlarut berupa biji plastik polistiren dan bahan pelarut berupa toluena dimasukkan ke dalam suatu wadah tertutup botol vial. Larutan polistiren yang telah jadi digunakan sebagai bahan target dalam proses deposisi.

### 3.5.2 Proses Deposisi Lapisan Tipis

Penumbuhan lapisan tipis digunakan metode *spin coating*. Terdapat banyak metode penumbuhan lapisan tipis, namun metode *spin coating* memiliki tingkat homogenitas lapisan tipis lebih baik dan ketebalannya lebih mudah diatur (Hidayat dkk., 2014). Metode *spin coating* menggunakan prinsip gaya sentrifugal dari gerak melingkar untuk meratakan larutan sehingga bisa melapisi substrat. Dalam penelitian ini, bahan substrat berupa QCM diletakkan pada dudukan

preparat *spin coater* dengan menggunakan pinset, kemudian ditutup. *Spin coater* dinyalakan, larutan polistiren yang akan dideposisikan di atas QCM diukur dan dihisap dengan *micro pipette* yang dilengkapi *yellow tip* sebanyak 50  $\mu\text{l}$ . *Spin coater* diatur pada  $T_1$  5 detik,  $T_2$ , 60 detik, *speed 1* 500 rpm, dan *speed 2* 3000 rpm. *Spin coater* di-pump terlebih dahulu, lalu ditekan tombol *run*. Saat *spin coater* berganti pada  $\omega_2$  (3000 rpm), larutan polistiren yang telah diukur kemudian diteteskan tepat di atas elektroda QCM lewat lubang kecil pada tutup *spin coater*. QCM yang telah dilapisi polistiren dipanaskan di dalam *oven* dengan suhu 100°C selama 60 menit untuk menguapkan pelarut.

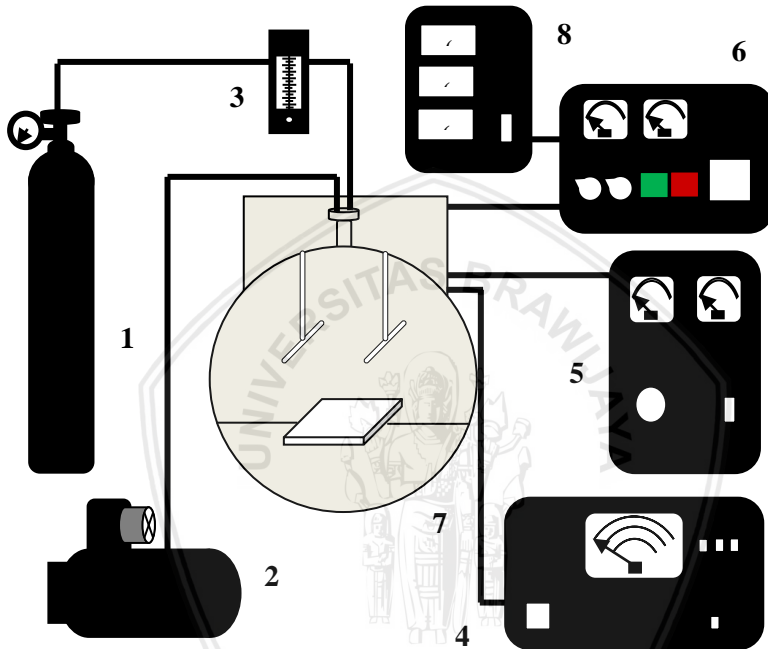
### 3.6 Penentuan Sifat Hidrofobisitas Lapisan Polistiren di atas QCM dengan Pengukuran Sudut Kontak

Sifat hidrofobisitas sampel diukur sebelum dan setelah dilakukan perlakuan. Hal ini bertujuan agar diperoleh perbandingan mengenai pengaruh perlakuan plasma oksigen terhadap permukaan QCM terdeposisi. Salah satu penentuan sifat hidrofobisitas ini ialah dengan pengukuran sudut kontak permukaan.

Pengukuran sudut kontak dilakukan dengan bantuan sebuah aplikasi dan sebuah instrument *Contact Angle Measurement (CAM)*. Tahap pertama setelah semua alat tersambung pada sumber daya ialah proses pengukuran sudut kontak. Aplikasi monitor dan control kemiringan sudut pada PC dibuka. Setelah koneksi berhasil antara alat dan aplikasi, lampu LED dinyalakan dan diatur cahayanya kemudian klik tampilkan video. QCM diletakkan pada dudukan alat CAM. Posisi QCM diatur dengan menggerak-gerakkan motor kiri dan kanan. Aquades 15  $\mu\text{l}$  diteteskan tepat di atas elektroda QCM yang telah dilapisi polistiren. Kemudian klik ambil gambar dan simpan. Tahap selanjutnya, yaitu dilakukan penentuan sudut kontak antara air dan permukaan QCM yang telah dideposisi dengan larutan polistiren. Proses ini dilakukan sebelum dan setelah perlakuan dengan plasma oksigen.

### 3.7 Penentuan Pengaruh Variasi Laju Alir Terhadap Sifat Hidrofobisitas Lapisan Polistiren di atas QCM

Sistem plasma yang digunakan dalam penelitian ini ialah sistem plasma RF-DC. Pada penelitian ini tegangan yang digunakan hanya bersumber dari tegangan RF (*radio frequency*). Medan listrik akan timbul saat kumparan induksi diberikan tegangan RF.



*Keterangan :*

1. Gas oksigen
2. Rotary pump
3. Flowmeter
4. Pressure Gauge
5. Sumber tegangan DC
6. Sumber tegangan RF
7. Reaktor plasma
8. Pengukur tegangan, arus, dan frekuensi balik

**Gambar 3. 6** Skema plasma RF-DC

Tahapan dimulai dengan membersihkan reaktor menggunakan alkohol dan *tissue*. Tujuannya adalah agar gas yang dialirkan tidak terkontaminasi dengan partikel lain selain oksigen. Semua sistem plasma dihubungkan ke reaktor. Dilakukan cek kelistrikan dan trafo *out* diatur 100 volt AC. Reaktor kemudian ditutup rapat dan sensor OES ditempelkan pada jendela reaktor. Reaktor divakumkan sampai tekanan *base* ( $P_{base}$ ) 3 Pa dengan melonggarkan *rotary pump*. Tekanan *base* sebesar 3 Pa tersebut bertujuan untuk membuang dan menghilangkan partikel pengotor dari gas lain yang terdapat di dalam reaktor. Setelah itu gas oksigen dialirkan dengan memutar *pressure gauge* dan *flowmeter* dengan beberapa variasi, yaitu 20, 30, 40, 50, dan 60 ml/menit. Bersamaan dengan itu, *rotary pump* ditutup perlahan sampai terbuka hanya sedikit sehingga tekanan perlahan naik. Setelah tekanan ( $P$ ) mencapai 40 Pa, dinyalakan sumber tegangan RF dan pengukur tegangan, arus, dan frekuensi balikan. Ketika terbaca 'ready' pada sumber tegangan RF, diatur tegangan RF sebesar 100 volt dan tegangan DC sebesar 0 volt. Penelitian sebelumnya telah dilakukan pada tegangan RF 60 volt tetapi di-*couple* dengan DC bias sebesar 100 – 500 volt. Pada penelitian ini hanya digunakan tegangan RF, namun nilainya dibuat lebih besar untuk mengetahui bagaimana karakteristik intensitas plasma yang dihasilkan. Proses tersebut diulangi untuk reaktor dengan kondisi terdapat sampel (perlakuan). Waktu perlakuan plasma ialah selama 2 menit. Waktu perlakuan tersebut dilakukan untuk menghindari terjadinya kekosongan pada elektroda QCM akibat paparan panas yang dihasilkan plasma. Selama proses tersebut berlangsung, dilakukan karakterisasi spektrum emisi plasma oksigen yang dihasilkan dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES).

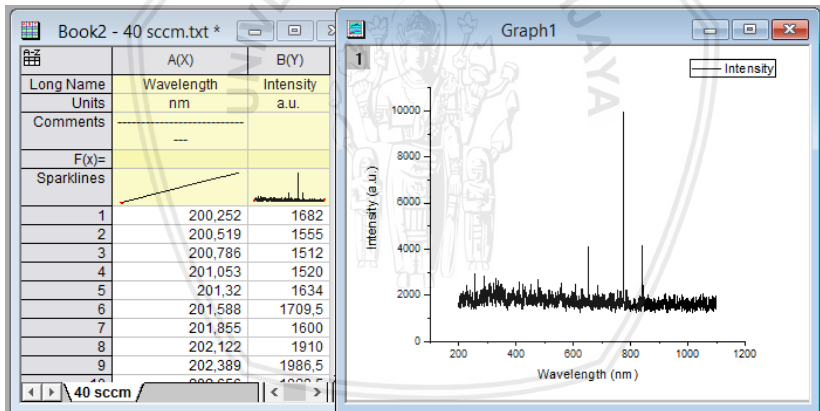
Setelah perlakuan dengan plasma oksigen selesai, sumber tegangan RF dan pengukur tegangan balik dimatikan. Kemudian aliran gas oksigen dihentikan dengan memutar *flowmeter* dan *pressure gauge* gas oksigen. *Rotary pump* ditutup. Setelah beberapa menit, lubang *venn* dibuka. Setelah tekanan di dalam dan di luar reaktor sama, tutup reaktor dapat dibuka.

### 3.8 Penentuan Spesies Plasma Oksigen

Spesies plasma oksigen dapat ditentukan dengan mengamati spektrum emisinya dengan menggunakan OES. Spektrum yang diperoleh berupa kurva hubungan antara panjang gelombang dengan intensitasnya. Spektrum yang dihasilkan selanjutnya diolah dengan bantuan program *OriginPro*.

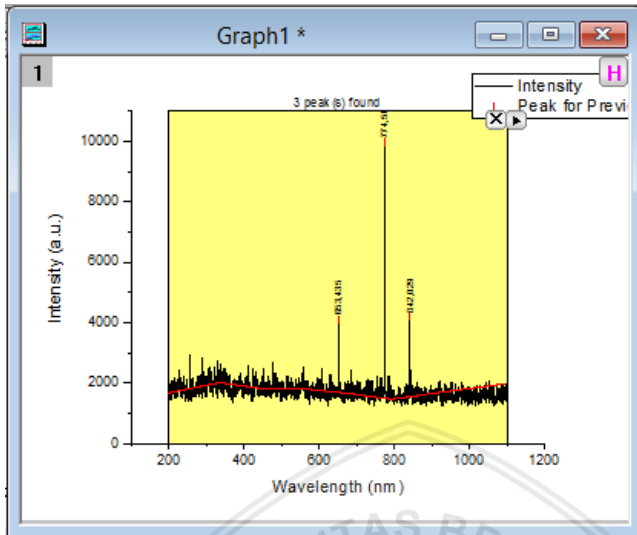
Tahapan *Fitting*

Spektrum yang terukur oleh OES apabila diekstrak pada sebuah grafik sumbu X berupa panjang gelombang dan sumbu Y berupa intensitas, akan terdapat puncak-puncak tersembunyi dengan *noisy data*. Setelah membuka program *OriginPro*, untuk menampilkan spektrum yang telah diukur oleh OES terlebih dulu harus meng-*import* data. Data yang dapat dibaca oleh *software* ini hanya dalam ekstensi *.xls*. Caranya ialah dengan memilih *icon 'import'* pada menu File dan dipilih file data yang ingin diolah. Selanjutnya set sumbu X sebagai *wavelength* dan Y sebagai *intensity* klik *ok*. Akan tampil jendela seperti gambar berikut ini:



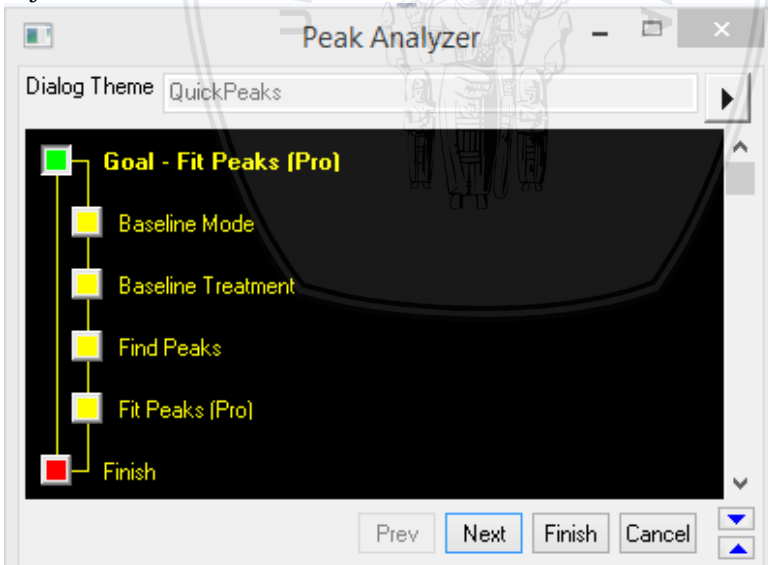
Gambar 3. 7 Jendela utama *OriginPro*

Spektrum yang telah ditampilkan pada Gambar 3.7 di-klik lalu dipilih *Gadget* pada *menu bar*. Setelah itu dipilih pilhan *Quick peak*, maka akan muncul pengaturan seperti pada Gambar 3.8. Pada menu *ROI box*, diatur daerah panjang gelombang yang ingin diamati, dalam hal ini 200 – 1100 nm setelah itu klik *ok*. Lalu pilih simbol panah pada jendela berikut.



**Gambar 3. 8** Spektrum hasil seleksi

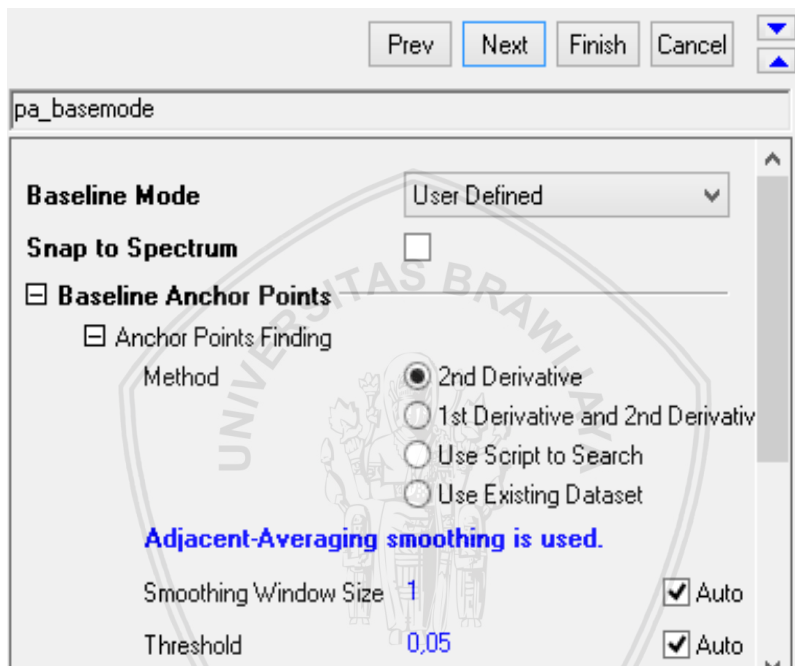
Setelah di-klik, pilih *Switch peak analyzer* dan akan muncul beberapa pengaturan untuk menghilangkan *Baseline* dan *Fitting* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.9.



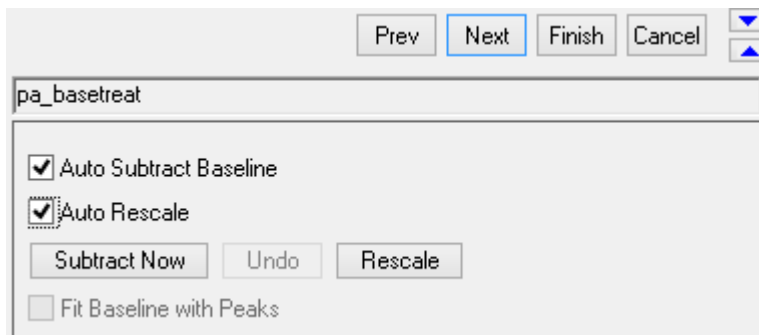
**Gambar 3. 9** Tampilan jendela *Peak Analyzer*



Beberapa tahapan untuk menghilangkan *Baseline* dan *Fitting* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.9. Pada tahapan pertama, dipilih *Fit Peaks (Pro)* lalu klik *Next*. Setelah itu, pilih *2nd Derivative*, centang *Auto* pada *Smoothing Windows Size* dan *Threshold*. Klik *Next* dua kali, maka akan muncul jendela seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.11 dan centang pilihan *Auto Substrack Baseline* dan *Auto Rescale*.

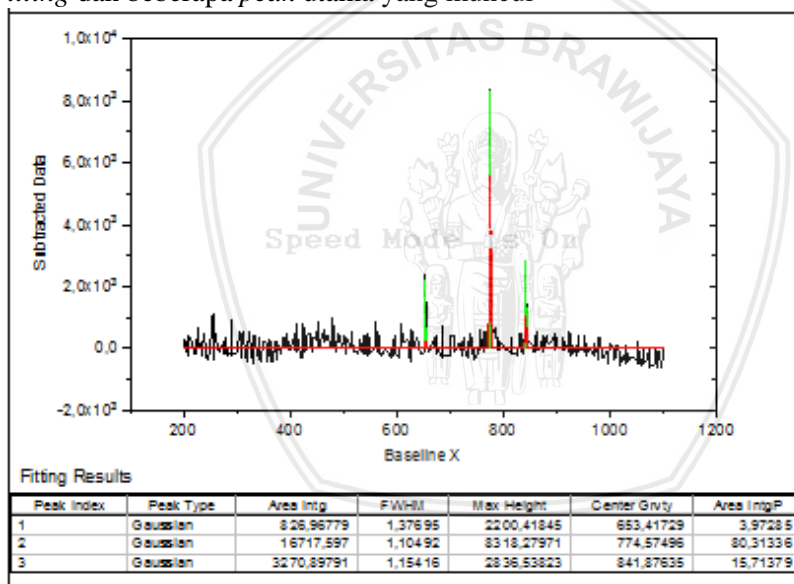


**Gambar 3. 10** Tampilan jendela pengaturan *Baseline Mode*

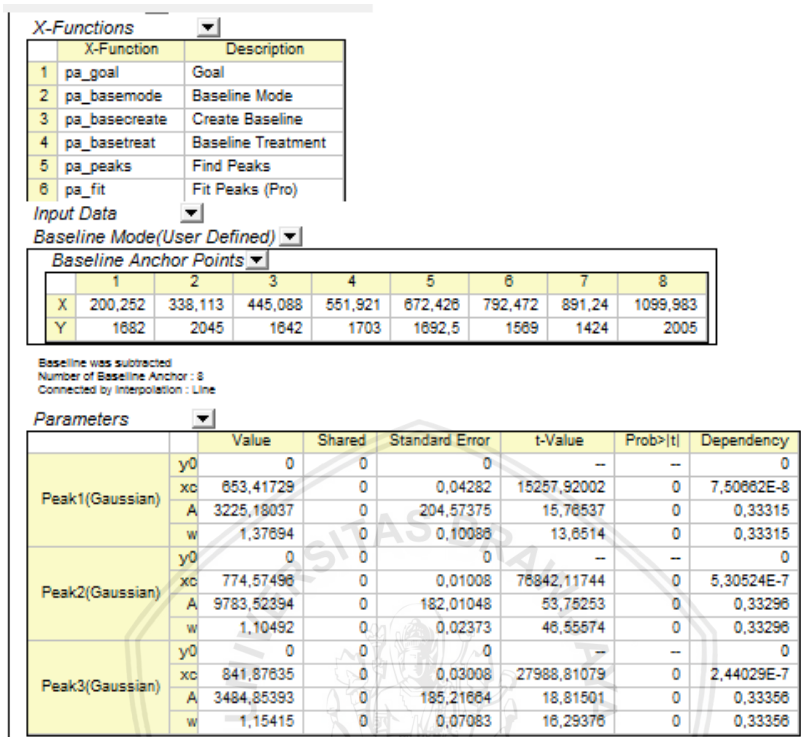


**Gambar 3. 11** Jendela pengaturan *Find Peaks*

Setelah itu klik *Next*, maka program akan melakukan *Fitting* data. Setelah selesai, klik *Finish*. Maka akan muncul jendela spektrum hasil *Fitting* dan beberapa *peak* utama yang muncul



**Gambar 3. 12** Spektrum hasil *Fitting* dan data mengenai puncak-puncak dominan



Gambar 3. 13 Hasil Fitting

Menentukan Spesies Plasma dengan *Database* NIST

Berdasarkan Gambar 3.12, diperoleh data mengenai panjang gelombang dan intensitas pada spesies dominan dalam plasma.

Dengan adanya data tersebut, panjang gelombang transisi yang memiliki intensitas tertinggi, diidentifikasi spesiesnya dengan menggunakan acuan *National Institute of Standard and Technology* (NIST) *Atomic Spectral Database*. Beberapa *input* yang harus diatur dalam *database* ini, antara lain:

- Spektrum unsur yang ingin dicari adalah O
- Jangkauan panjang gelombang dari spektrum (*lower and upper wavelength*) adalah 200 – 1100 nm, serta
- Keadaan transisinya, yaitu pada vakum (*Vacuum All Wavelength*).

**Gambar 3. 14** Pengaturan pada *database* NIST

Panjang gelombang yang diperoleh selama penelitian disesuaikan dan dicari nilai panjang gelombang yang sesuai ataupun mendekati pada *database* NIST.

0 II	767.6944	767.6970	4	2.29e+06	D	232 745.981	-	245 768.37
0 I	770.675		100					
0 III		771.095		6.96e+06	C+	350 298.38	-	363 263.38
0 IV		771.452		3.08e+06	B	584 761	-	597 720
0 I	777.194	777.1944	870	3.69e+07	A	73 768.200	-	86 631.454
0 I	777.417	777.4166	810	3.69e+07	A	73 768.200	-	86 627.778
0 I	777.539	777.5388	750	3.69e+07	A	73 768.200	-	86 625.757

**Gambar 3. 15** Data spektrum plasma

### 3.9 Penentuan Karakteristik Spektrum (Temperatur dan Densitas Elektron) dengan OES

Temperatur elektron dari plasma oksigen dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Boltzmann.

$$Te = \frac{1}{k} \frac{E_1 - E_2}{\ln \frac{I_2 A_1 g_1 \lambda_2}{I_1 A_2 g_2 \lambda_1}}$$

Intensitas  $I$  dan panjang gelombang  $\lambda$  diperoleh dari data penelitian,  $k$  merupakan konstanta Boltzmann, jumlah keadaan energi  $g$ , Energi level atas transisi  $E$ , dan probabilitas transisi  $A$  dapat dicari pada *database* NIST.

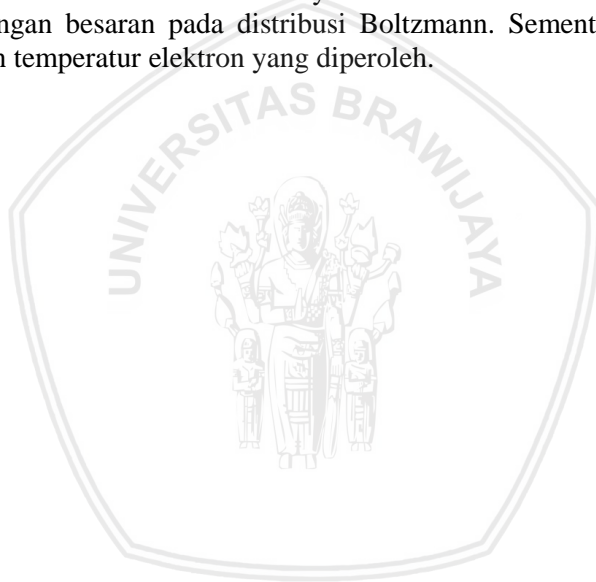
Sementara itu, untuk menentukan densitas elektronnya digunakan distribusi Saha-Boltzmann berikut:

$$n_e = 2 \frac{(2\pi m k T)^{3/2} I_{mn} g_i A_{ij} \lambda_{mn}}{h^3 I_{ij} g_m A_{mn} \lambda_{ij}} e^{-\left(\frac{E_{ionisasi} + E_i - E_m}{kT}\right)}$$

Persamaan tersebut dapat dituliskan:

$$n_e = 4,83 \times 10^{21} T^{3/2} \frac{I_0 g_+ A_+ \lambda_0}{I_+ g_0 A_0 \lambda_+} e^{-\left(\frac{E_{ionisasi} + E_+ - E_0}{kT}\right)}$$

Tanda (0) dan (+) pada persamaan di atas menandakan spesies atom netral dan ion dari ionisasi berikutnya. Besaran-besaran di atas sama halnya dengan besaran pada distribusi Boltzmann. Sementara itu,  $T$  merupakan temperatur elektron yang diperoleh.



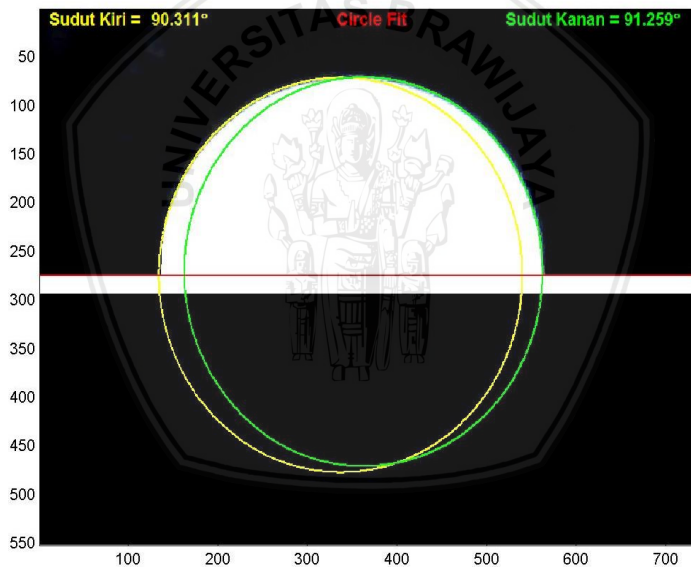
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



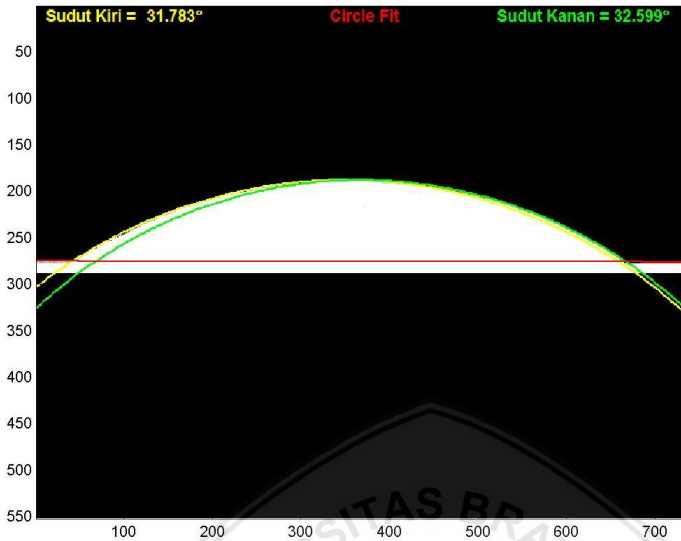
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengaruh Plasma terhadap Sifat Hidrofobisitas Polistiren

Dalam aplikasinya sebagai biokompatibiliti, permukaan polistiren dapat dimodifikasi sifat hidrofobisitasnya dengan perlakuan plasma oksigen. Pengukuran sudut kontak permukaan polistiren yang terdeposisi di atas QCM, diukur sebelum dan setelah perlakuan. Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran sudut kontak polistiren sebelum dan setelah perlakuan plasma. Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bagaimana interaksi antara air dengan permukaan polistiren sebelum dan setelah perlakuan. Terlihat bahwa penurunan sudut kontak polistiren terjadi setelah diberi perlakuan. Plasma oksigen mengubah permukaan hidrofobik polistiren menjadi hidrofilik.



**Gambar 4. 1** Salah satu sudut kontak permukaan polistiren sebelum perlakuan plasma oksigen



**Gambar 4. 2** Salah satu sudut kontak permukaan polistiren setelah perlakuan plasma oksigen

Tegangan permukaan sangat memengaruhi kemampuan keterbasahan (*wettability*). Tegangan permukaan disebabkan oleh adanya gaya tarik-menarik permukaan dengan molekul air (adhesi). Permukaan hidrofilik disebabkan oleh gaya tarik-menarik yang besar, dan sebaliknya. Setelah perlakuan plasma oksigen, penetes air di atas permukaan polistiren sangat sulit dilakukan karena tegangan permukaannya dengan molekul air berubah menjadi besar. Dengan tegangan yang besar, energi untuk memperluas permukaan akan semakin besar dan air akan mudah menyebar.

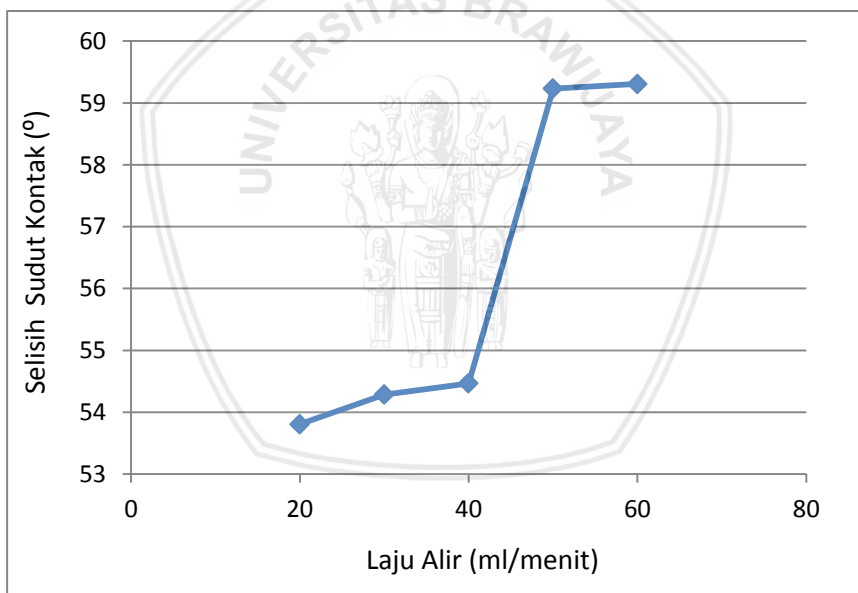
Permukaan polistiren yang halus setelah perlakuan plasma oksigen memengaruhi perubahan sifat hidrofobik menjadi hidrofilik. Plasma terdiri dari partikel bermuatan dan berenergi tinggi yang saling bertumbukkan. Secara umum, energi permukaan dari polimer akan meningkat dengan adanya perlakuan plasma, akibatnya akan menurunkan sudut kontak (Ebnesajjad, 2014). Ketika polistiren diberi perlakuan plasma, partikel bermuatan dan berenergi tinggi akan menumbuk permukaan secara terus-menerus. Karena tumbukkan yang



terus menerus inilah membuat energi kinetiknya besar dan menyebabkan permukaan polistiren terkikis dan semakin halus.

**Tabel 4. 1** Sudut kontak permukaan polistiren sebelum dan setelah perlakuan plasma oksigen

Laju Alir (ml/menit)	Sudut kontak sebelum perlakuan ( $^{\circ}$ )	Sudut kontak setelah perlakuan ( $^{\circ}$ )	Selisih ( $^{\circ}$ )
20	$86,21 \pm 0,76$	$32,41 \pm 1,84$	53,80
30	$85,08 \pm 0,69$	$30,79 \pm 0,69$	54,29
40	$85,08 \pm 0,74$	$30,62 \pm 1,13$	54,46
50	$83,94 \pm 0,08$	$24,70 \pm 2,99$	59,24
60	$85,86 \pm 0,60$	$26,55 \pm 3,20$	59,31



**Gambar 4. 3** Pengaruh laju alir oksigen terhadap perubahan sifat hidrofobisitas polistiren

repository.ub.ac.id

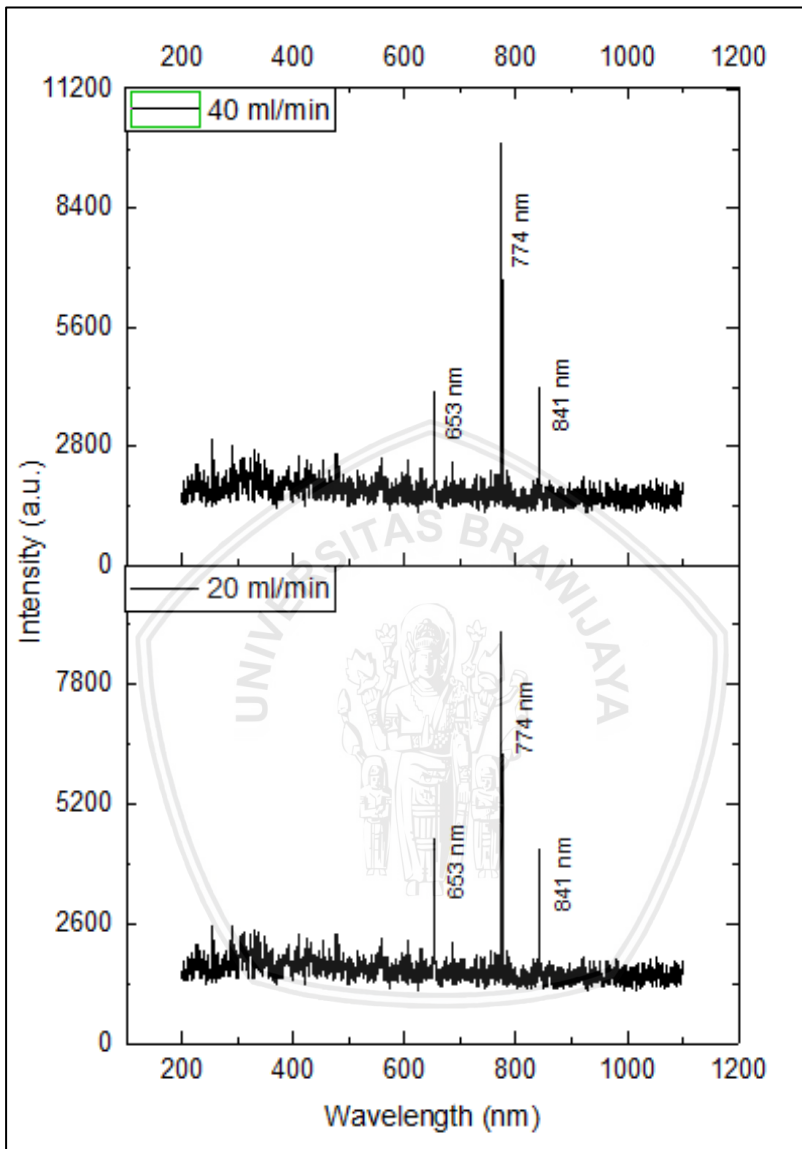
Pengaruh laju alir terhadap perubahan sifat hidrofobisitas ditunjukkan oleh Gambar 4.3 terlihat bahwa semakin tinggi laju alir oksigen, maka selisih sudut kontak polistiren sebelum dengan setelah perlakuan semakin besar. Artinya, semakin tinggi laju alir gas oksigen, maka permukaan akan semakin bersifat hidrofilik. Hal ini terjadi karena semakin banyak jumlah gas oksigen yang dialirkan, maka spesies aktif yang menumbuk permukaan polistiren juga akan semakin banyak sehingga permukaan akan lebih sering mengalami *bombardment*.

## 4.2 Pengaruh Laju Alir terhadap Plasma

Plasma merupakan gas terionisasi yang keadaannya ialah *quasi neutral*, yakni jumlah muatan positif dan negatifnya dapat didekati hampir sama. Namun, walaupun secara makroskopis bersifat netral, plasma sebenarnya terdiri dari berbagai jenis spesies atau partikel penyusunnya, antara lain ion positif dan negatif, elektron, atom atau molekul netral dalam keadaan dasar maupun tereksitasi, dan radikal bebas.

Plasma merupakan wujud zat ke-empat selain padat, cair, dan gas. Adapun perubahan fase zat dari gas menjadi plasma ialah dengan memberikan energi yang setara atau lebih besar dari energi ionisasi atom atau molekul gas tersebut. Sehingga plasma juga umum dikenal sebagai gas yang terionisasi. Plasma dapat dibangkitkan dengan sumber RF, DC, atau *microwave*. Dengan memberikan energi tersebut, elektron atom atau molekul akan terlepas dari ikatannya. Gas oksigen dalam penelitian ini digunakan sebagai sumber gasnya. Sementara itu, pembangkit RF digunakan sebagai pemasok energi untuk membangkitkan plasma oksigen dalam *vacuum chamber*.

Intensitas emisi dari plasma diketahui dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES). Kemudian spektrum yang telah diperoleh diolah dan dianalisis menggunakan program *OriginPro*. Program tersebut mengolah data spektrum sehingga diperoleh data berupa panjang gelombang pada sumbu X dan intensitasnya pada sumbu Y. Gambar 4.4 merupakan contoh bentuk intensitas pada plasma oksigen. Pada gambar tersebut, terlihat beberapa intensitas yang tinggi muncul pada panjang gelombang tertentu, yaitu 774, 841, dan 653 nm.



**Gambar 4.4** Bentuk intensitas spektrum plasma oksigen pada laju alir 20 ml/min (bawah) dan 40 ml/menit (atas)

Intensitas emisi dari plasma oksigen dalam penelitian ini diamati berdasarkan variasi laju alirnya. Tabel 4.2 menunjukkan perubahan intensitas dari plasma tanpa polistiren sebagai fungsi dari laju alir oksigen. Terlihat bahwa pada panjang gelombang 774 dan 841 nm pada laju air oksigen sebesar 20 mL/min menuju 60 mL/min, intensitasnya mengalami peningkatan. Intensitas beberapa spesies cenderung meningkat dengan meningkatnya laju alir karena volume debit plasma meningkat dengan meningkatnya laju aliran gas. Peningkatan intensitas ini terjadi karena dengan semakin banyaknya gas oksigen yang dialirkan ke *vacuum chamber*, maka partikel-partikel dari plasma oksigen akan semakin banyak dan menyebabkan proses tumbukkan antar partikel semakin besar pula. Menurut teori kinetik gas, semakin banyak jumlah partikel yang tersedia dalam suatu wadah, maka probabilitas partikel-partikel bertumbukkan akan semakin tinggi. Sementara itu, pada panjang gelombang 653 nm untuk kondisi tanpa perlakuan, intensitas emisinya menurun. Hal ini disebabkan karena spesies pada panjang gelombang 653 nm ketika bertumbukkan membentuk partikel baru sehingga intensitasnya menurun.

Adapun grafik intensitas emisi plasma pada kondisi ada atau tidaknya sampel polistiren dalam *vacuum chamber* (tanpa dan dengan perlakuan) sebagai fungsi dari laju alir ditunjukkan oleh Gambar 4.5, 4.6, dan 4.7. Pada Gambar 4.5 dan 4.6, dapat dilihat bahwa intensitas kedua kondisi tersebut cenderung naik seiring dengan meningkatnya laju alir oksigen. Baik intensitas untuk garis emisi pada panjang gelombang 774 maupun 841 nm. Namun perbedaannya ialah pada kondisi plasma dengan sampel (perlakuan), intensitasnya lebih tinggi dibandingkan plasma dengan kondisi tanpa sampel. Hal tersebut terjadi karena sebelum perlakuan, polistiren terpapar udara dan berinteraksi dengan  $O_2$  dari udara. Dengan demikian, saat diberi perlakuan plasma, permukaan polistiren yang mengandung  $O_2$  di-*bombardment* oleh spesies aktif plasma dan terlepas. Adapun intensitas emisi pada panjang gelombang 653 nm yang ditunjukkan oleh Gambar 4.7. Pada saat plasma tanpa sampel (tanpa perlakuan), intensitas emisi semakin menurun dengan meningkatnya laju alir gas. Hal ini terjadi karena ketika proses menumbuk, spesies pada panjang gelombang tersebut mengalami reaksi rekombinasi membentuk partikel (spesies) baru sehingga intensitasnya menurun. Sementara saat perlakuan (terdapat sampel polistiren), intensitas emisi cenderung meningkat dengan

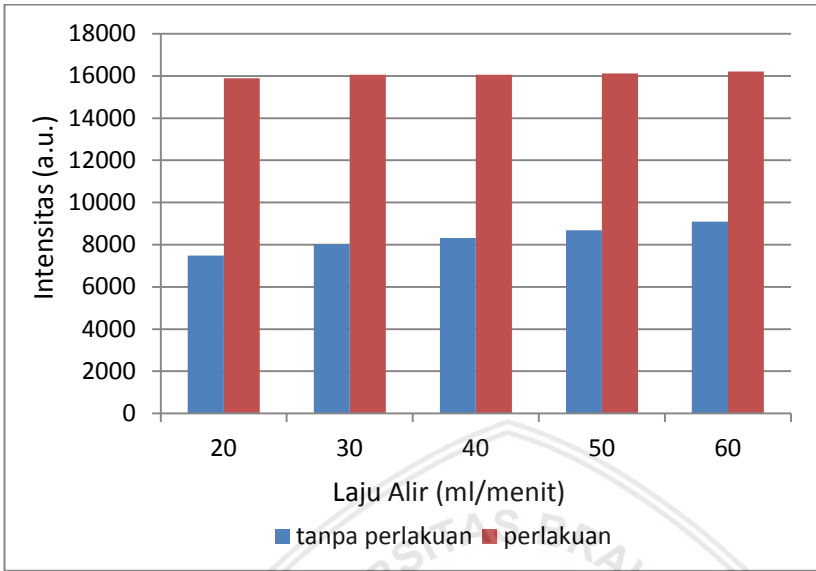
meningkatnya laju alir gas oksigen. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa permukaan polistiren sebelum perlakuan terpapar oksigen dari udara. Ketika diberi perlakuan plasma, permukaan tersebut di-bombardment dan partikel di permukaan terionisasi, sehingga intensitasnya meningkat.

**Tabel 4. 2** Intensitas emisi plasma oksigen tanpa polistiren (tanpa perlakuan)

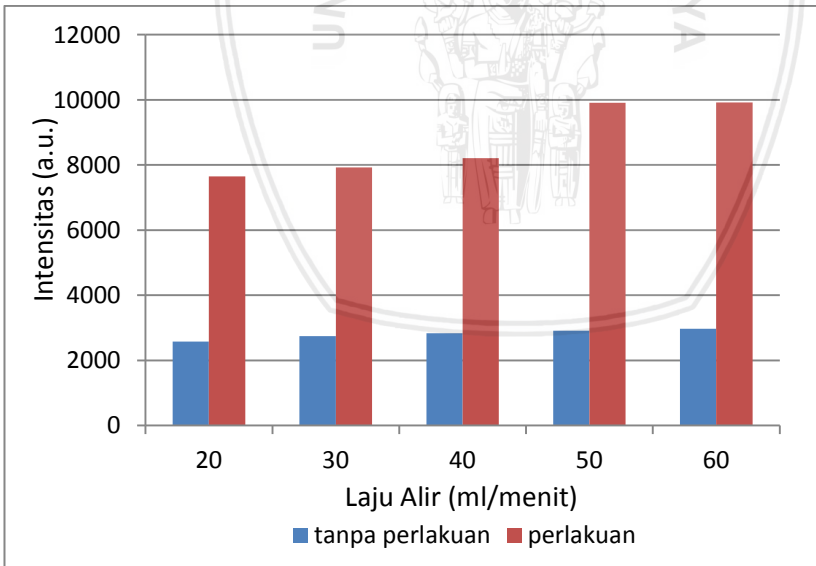
Laju Alir (ml/min)	Intensitas Emisi (a.u.)		
	$\lambda= 774$ nm	$\lambda= 841$ nm	$\lambda= 653$ nm
20	7487,10	2580,53	2505,49
30	8014,51	2742,24	2492,41
40	8318,34	2836,71	2200,11
50	8684,14	2910,04	2105,36
60	9099,87	2973,39	2098,77

**Tabel 4. 3** Intensitas emisi plasma oksigen saat perlakuan pada permukaan polistiren

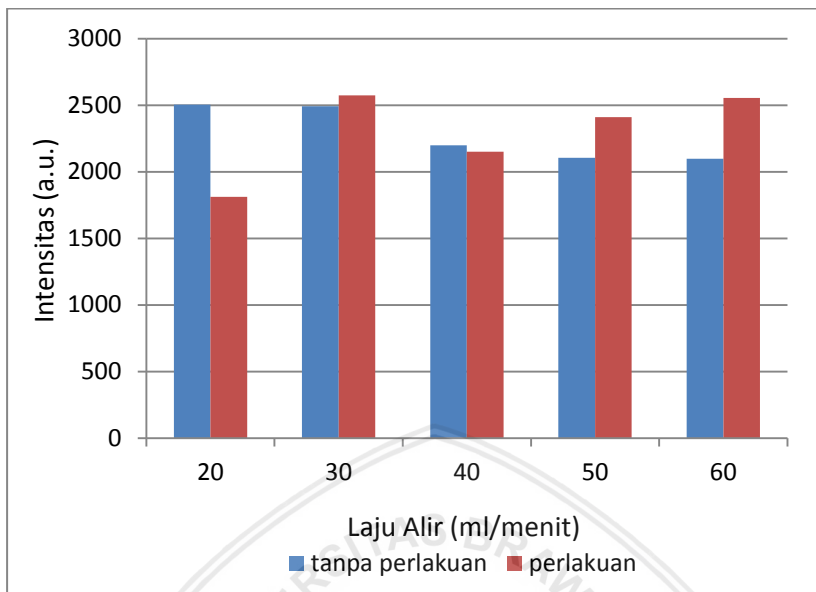
Laju Alir (ml/min)	Intensitas Emisi (a.u.)		
	$\lambda= 774$ nm	$\lambda= 841$ nm	$\lambda= 653$ nm
20	15886,95	7648,13	1812,82
30	16054,72	7928,76	2575,61
40	16063,02	8210,17	2150,89
50	16119,31	9911,88	2412,58
60	16211,91	9915,44	2556,86



**Gambar 4. 5** Grafik pengaruh laju alir terhadap intensitas emisi plasma oksigen pada  $\lambda= 774$  nm



**Gambar 4. 6** Grafik pengaruh laju alir terhadap intensitas emisi plasma oksigen pada  $\lambda= 841$  nm



**Gambar 4. 7** Grafik pengaruh laju alir terhadap intensitas emisi plasma oksigen pada  $\lambda = 653 \text{ nm}$

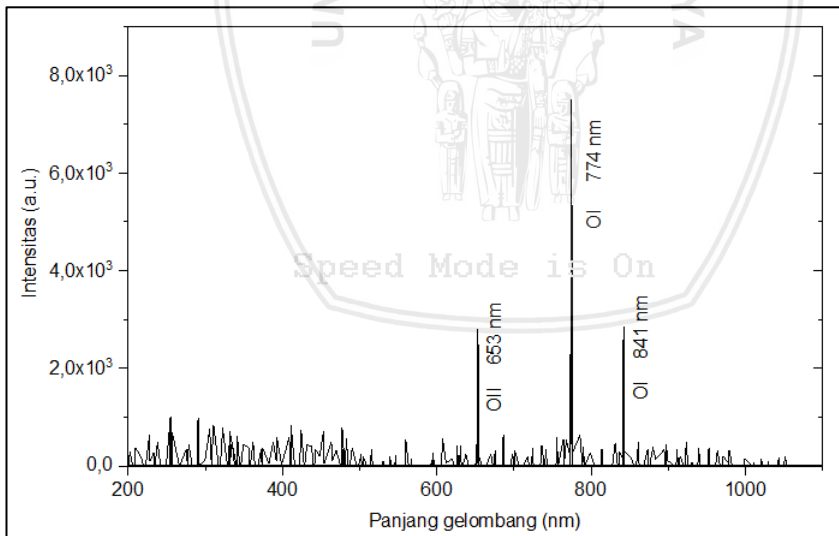
### 4.3 Pengaruh Laju Alir terhadap Spesies Plasma

Spektrum emisi plasma oksigen terdiri atas beberapa garis emisi atom sesuai dengan transisi atom netral atau ion dari spesies atom yang berkontribusi pada plasma. Garis spektral dapat berupa garis atom atau ion. Garis spektral berasal dari transisi antara dua keadaan elektronik dalam atom atau ion. Baik intensitas dan pelebarannya bergantung pada karakteristik plasma. Garis atom diperluas dengan beberapa mekanisme, seperti pelebaran Doppler dan Stark. Pelebaran Doppler disebabkan oleh pergerakan termal pada emisi foton. Pelebaran ini sangat relatif dan bergantung pada kondisi pengamatan. Sedangkan efek Stark dipengaruhi oleh interaksi medan listrik sehingga akan memengaruhi pelebaran dan pergeseran garis spektral (Zellner, 2008). Pelebaran Stark ini dapat digunakan untuk mengetahui densitas elektron dalam plasma.

Pada plasma oksigen, spesies dominan yang muncul ialah pada panjang gelombang 774 dan 841 nm. Spesies tersebut kemudian diidentifikasi dengan *database* NIST dan literatur. Berdasarkan data

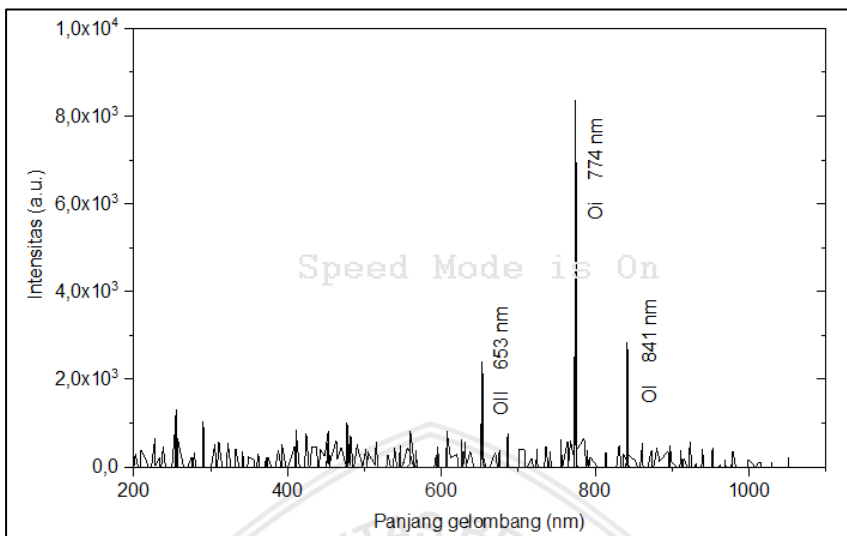
NIST, diperoleh jenis spesies OI pada panjang gelombang 774 dan 841 nm, serta spesies OII pada panjang gelombang 653 nm. Spesies OI merupakan spesies atom oksigen netral sementara OII merupakan spesies ion. Jika dibandingkan dengan spesies OII, intensitas OI diketahui sangat besar, hal tersebut terjadi karena OI merupakan spesies plasma oksigen yang sangat reaktif (Alves *et al.*, 1998).

Variasi laju alir dalam penelitian ini tidak memberikan perubahan pada spesies utama plasma. Terlihat pada Gambar 4.4 dan 4.5, bahwa beberapa intensitas tertinggi pada plasma sebagai konsekuensi dari spesies utama tersebut tetap pada panjang gelombang 774 nm, 841 nm, dan 653 nm. Spesies dominan OI berada pada panjang gelombang 777 nm dan 844 (Rezaei and Shokri, 2015). Sehingga dapat ditarik sebuah asumsi bahwa pergeseran garis spektral sebesar 3 nm berturut-turut selalu terjadi dalam penelitian ini. Asumsi tersebut didukung oleh adanya kesesuaian spesies yang ditemukan berdasarkan *database* NIST dengan literatur, yaitu OI pada panjang gelombang yang telah disebutkan sebelumnya. Adapun transisi yang terjadi pada plasma sehingga muncul spesies tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.



**Gambar 4. 8** Spesies utama dari spektrum emisi oksigen pada laju alir 20 ml/min, tegangan RF 100 volt, dan tekanan 40 Pa

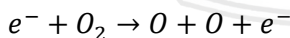




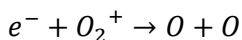
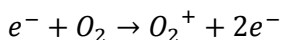
**Gambar 4. 9** Spesies dominan dari spektrum emisi oksigen pada laju alir 40 ml/min, tegangan RF 100 volt, dan tekanan 40 Pa

Menurut Roy dkk. (2014), garis emisi OI pada panjang gelombang 777 dan 844 nm terjadi akibat adanya emisi dari eksitasi atom oksigen. Dalam hal ini, karena adanya pergeseran sebesar 3 nm, spesies di panjang gelombang tersebut sama halnya dengan spesies di panjang gelombang 774 nm. Intensitas tinggi spesies OI dan OII pada panjang gelombang 774, 841, dan 653 nm dalam daerah tampak ini disebabkan oleh adanya reaksi disosiasi dan eksitasi (Fricke dkk., 2011). Berdasarkan spesies yang telah diketahui tersebut, kemungkinan reaksi yang terjadi dalam plasma oksigen, antara lain:

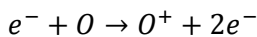
1) Reaksi disosiasi



2) Pembentukan radikal<sup>1</sup>

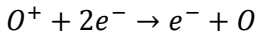


3) Reaksi ionisasi

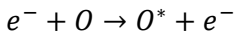


<sup>1</sup> Roy, 2014

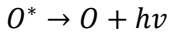
4) Reaksi rekombinasi



5) Eksitasi atom netral OI



6) Reaksi deeksitasi



#### 4.4 Parameter Plasma

*Optical Emission Spectroscopy* (OES) adalah teknik diagnosis secara optik yang dapat digunakan untuk menentukan parameter plasma berdasarkan spektrum emisinya, seperti temperatur elektron ( $T_e$ ) dan densitas elektron ( $n_e$ ). Spektrum diukur secara kontinu selama perlakuan plasma. Jenis spektrum yang diamati berada pada rentang panjang gelombang 200 – 1100 nm dalam daerah plasma. Rentang panjang gelombang tersebut merupakan spesifikasi dari spektrometer Aurora 4000 yang mampu mengamati spektrum pada daerah UV-NIR. Parameter plasma (temperatur dan densitas elektron) ditentukan pada parameter pembangkitan sebagai berikut: Tegangan RF 100 volt dan DC 0 volt; Tekanan 40 Pa ; Variasi laju alir oksigen 20, 30, 40, 50, dan 60 ml/menit.

##### 4.3.1 Temperatur elektron

Distribusi Boltzmann pada persamaan (2.1) digunakan dalam menghitung temperatur elektron. Selain menggunakan persamaan Boltzmann,  $T_e$  dapat dicari dengan plot Boltzmann antara beberapa garis spektral hasil emisi yang sama. Pada plasma oksigen,  $T_e$  ditentukan oleh dua garis spektral OI, yaitu pada panjang gelombang 774 dan 841 nm. Dalam penelitian ini,  $T_e$  lebih mudah ditentukan dengan persamaan Boltzmann karena hanya terdapat dua garis spektral hasil emisi. Sedangkan jika spesies emisi yang sama jumlahnya lebih dari dua maka proses penghitungan akan lebih rumit, sehingga  $T_e$  lebih mudah ditentukan dengan menggunakan plot Boltzmann.

**Tabel 4. 4** Data spektroskopik garis atom (OI) dan ion (OII) oksigen

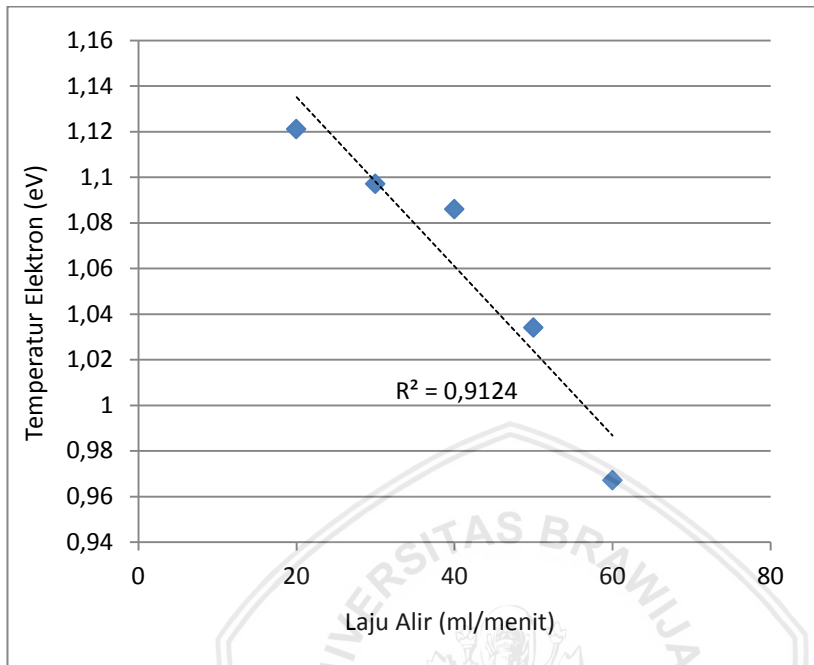
Panjang gelombang $\lambda$ (nm)	Spesies	Energi transisi (eV)	Probabilitas transisi $A$ ( $s^{-1}$ )	Jumlah keadaan $g$
774	O I	9,15	$3,69 \times 10^7$	5
841	O I	9,52	$3,22 \times 10^7$	3
653	O II	28,89	$2,86 \times 10^7$	8

Sumber: *database* NIST

Parameter transisi pada persamaan Boltzmann diperoleh dari *database* NIST seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4. 4. Dengan menggunakan intensitas spesies OI pada masing-masing garis emisi dan nilai konstanta Boltzmann  $k = 8,617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$  , temperatur elektron dari plasma oksigen dapat ditentukan. Temperatur elektron yang diperoleh pada penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 4.5, yaitu sebesar 0,97 – 1,12 eV.

**Tabel 4. 5** Pengaruh laju alir oksigen terhadap temperatur elektron

Laju Alir (ml/menit)	Temperatur Elektron (eV)
20	1,121
30	1,097
40	1,086
50	1,034
60	0,967

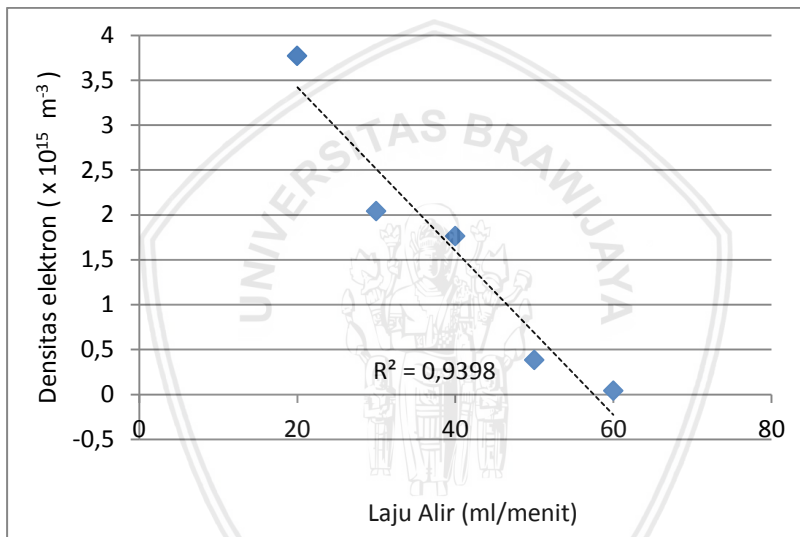


**Gambar 4. 10** Pengaruh laju alir oksigen terhadap temperatur elektron

Berdasarkan Gambar 4.10 terlihat bahwa temperatur elektron semakin menurun dengan meningkatnya laju alir. Karena dalam plasma yang dihasilkan pada penelitian ini mengandung spesies dominan OI dan OII, maka kemungkinan tumbukkan yang lebih sering terjadi adalah tumbukkan antara dua spesies tersebut (atom netral OI dan ion OII). Apabila tumbukkan yang terjadi antara partikel netral dengan partikel bermuatan lebih dominan, maka dalam plasma ini terjadi ionisasi lemah (Nur, 2011). Intensitas spesies netral OI semakin meningkat dengan meningkatnya laju alir, sehingga semakin besar pula tumbukkan antara spesies netral dengan ionnya. Dengan demikian, derajat ionisasi yang dihasilkan akan semakin menurun. Derajat ionisasi sebanding dengan temperatur, sehingga mekanisme tersebut menyebabkan temperatur elektron dalam plasma oksigen menurun.

### 4.3.2 Densitas elektron

Densitas elektron didefinisikan sebagai kerapatan elektron per satuan volume. Penentuan densitas elektron pada penelitian ini menggunakan persamaan Saha-Boltzmann seperti yang telah ditunjukkan oleh persamaan (2.6). Dua garis emisi OI pada 774 nm dan 841 nm yang sebelumnya digunakan untuk menentukan plot Boltzmann dan garis ion OII pada 653 nm, digunakan untuk menentukan densitas elektron. Dengan menggunakan bantuan data NIST pada Tabel 4.4, densitas elektron pada variasi laju alir dapat ditentukan. Pengaruh laju alir terhadap densitas elektron ditunjukkan oleh Tabel 4.6.

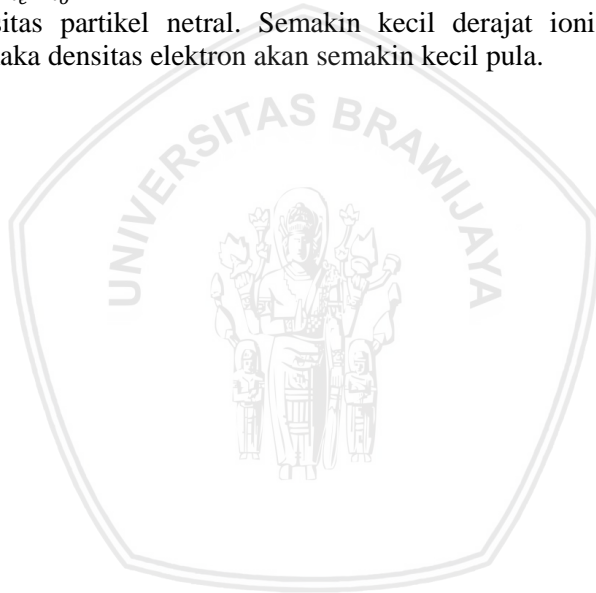


**Gambar 4. 11** Pengaruh laju alir terhadap densitas elektron

**Tabel 4. 6** Pengaruh laju alir oksigen terhadap densitas elektron

Laju Alir (ml/menit)	Densitas Elektron ( $\text{m}^{-3}$ )
20	$3,77 \times 10^{15}$
30	$2,04 \times 10^{15}$
40	$1,76 \times 10^{15}$
50	$3,76 \times 10^{14}$
60	$3,79 \times 10^{13}$

Jumlah densitas elektron yang diperoleh dari penelitian ini ialah  $(0,04 - 3,77) \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$  pada laju alir 20 ml/menit sampai dengan 60 mL/menit. Berdasarkan Gambar 4.11 terlihat bahwa densitas elektron menurun dengan meningkatnya laju alir. Dengan menggunakan persamaan Saha-Boltzmann dapat diketahui bahwa temperatur elektron sebanding dengan densitas elektronnya. Telah dipaparkan dalam pembahasan sebelumnya mengenai temperatur elektron, bahwa semakin meningkatnya laju alir gas oksigen, derajat ionisasi semakin menurun. Derajat ionisasi sendiri merupakan rasio antara jumlah partikel terionisasi dengan jumlah partikel mula-mula. Derajat ionisasi dirumuskan  $\alpha = \frac{n_e}{n_e + n_o}$  dimana  $n_e$  merupakan densitas elektron dan  $n_o$  merupakan densitas partikel netral. Semakin kecil derajat ionisasi dalam plasma, maka densitas elektron akan semakin kecil pula.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa laju alir dapat memengaruhi intensitas dan spesies plasma, temperatur dan densitas elektron, serta hidrofobisitas suatu bahan.

1. Pada kondisi *vacuum chamber* tanpa polistiren, dengan menggunakan *Optical Emission Spectrometer* (OES) diketahui intensitas emisi plasma oksigen pada spesies OI meningkat dan pada spesies OII menurun seiring dengan peningkatan laju alir gas oksigen. Sementara itu, saat terdapat polistiren (perlakuan), intensitas emisi plasma pada spesies OI dan OII cenderung meningkat dengan peningkatan laju alir gas oksigen.
2. Karakterisasi plasma oksigen menggunakan OES memberikan informasi mengenai parameter plasma ( $T_e$  dan  $n_e$ ). Temperatur elektron plasma berkisar antara 0,97 – 1,12 eV dan densitasnya antara  $(0,04 - 3,77) \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$ . Peningkatan laju alir gas oksigen menyebabkan temperatur dan densitas elektron menurun.
3. Sifat hidrofobisitas polistiren menurun saat diberi perlakuan plasma dari hidrofobik menjadi hidrofilik. Sudut kontak semakin menurun seiring dengan meningkatnya laju alir gas oksigen. Spesies OI memegang peranan utama dalam penurunan sifat hidrofobisitas polistiren. Namun mekanismenya tidak dijelaskan dalam penelitian ini karena terkait dengan mikrostruktur lapisan polistiren.

### 5.2 Saran

Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut mengenai mikrostruktur permukaan polistiren sebelum dan setelah perlakuan dengan menggunakan FTIR, TMS, dan SEM.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



**DAFTAR PUSTAKA**

- Achhammer, B. G., M. J. Reiney, dan F. W. Reinhart. 1951. Study of Degradation of Polystyrene, Using Infrared Spectrophotometry. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 47(2): 116–125.
- Alves, M. A. R., E. S. Braga, A. Fissore, dan L. Cescato. 1998. Optical Emission End Point Detecting for Monitoring Oxygen Plasma a-C:H Stripping. *Vacuu.*, 49(3): 213–215.
- Avram, M., A. M. Avram, A. Bragaru, A. Ghiu, dan C. Iliescu. 2008. Plasma Surface Modification for Selective Hydrophobic Control. *Romanian Journal of Information Science and Technology*, 11(4): 409–422.
- Balu, B., A. D. Berry, K. T. Patel, V. Breedveld, dan D. W. Hess. 2011. Directional Mobility and Adhesion of Water Drops on Patterned Superhydrophobic Surfaces. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 25(6-7): 627-642.
- Burton, Z. dan B. Bhushan. 2005. Hydrophobicity, Adhesion, and Friction Properties of Nanopatterned Polymers and Scale Dependence for Micro- and Nanoelectromechanical Systems. *Nano Letters*, 5(8): 1607–1613.
- Conrads, H. dan M. Schmidt. 2000. Plasma Generation and Plasma Sources. *Plasma Sources Science and Technology*, 9(4): 441–454.
- Ebnesajjad, S. 2014. *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding*. Edisi ke-2. William Andrew Publishing. Oxford.
- Fricke, K., H. Tresp, R. Bussiahn, K. Schroder, K. D. Weltmann, dan Th. von Woedtke. 2011. Modification of The Physicochemical Surface Properties of Polymers During The Plasma-Based Decontamination. *Isp.*, 20(1): 4–8.
- Halid, N. S. T., R. Zainal, dan Y. M. Daud. 2016. Estimation of Temperature and Electron Density in Stainless Steel Plasma Using Laser Induced Breakdown Spectroscopy. *Jurnal Teknologi*, 78(3): 99–103.
- Hidayat, A. S., M. Rokhmat, dan A. Qurthobi. 2014. Pengaruh Suhu dan Kecepatan Putar Spin Coating Terhadap Kinerja Sel Surya Organik Berbahan Dasar TiO<sub>2</sub>. *e-Proceeding of Engineering*, 1(1): 497–510.

- Kramida, A., Y. Ralchenko, J. Reader, dan NIST ASD Team. (2018). NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.5.6), [Online]. Available <https://physics.nist.gov/asd>, tanggal akses: 5 April 2018
- Langmur, I. 1928. Oscillations In Ionized Gases. *PHYSICS*, 14(1): 627–637.
- Li, X., F. Lu, M. Cocca, K. Vega, A. Fleisher, A. Bailey, M. Toro, S. Sachdev, T. Debies, M. Mehan, S. K. Gupta, dan G. A. Takacs. 2018. Surface Modification of Polystyrene with O Atoms Produced Downstream from an Ar/O<sub>2</sub> Microwave Plasma. *Technologies*, 6(1): 21–29.
- Lieberman, M. A. dan A. J. Lichtenberg. 2005. *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing: Second Edition, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*. Edisi ke-2. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Nam, S. H. dan Y. Jo Kim. 2001. Excitation Temperature and Electron Number Density Measured for End-on-View Inductively Coupled Plasma Discharge. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 22(8): 827–832.
- Nayan, N., R. A. M. Ali, M. H. Mamat, dan M. R. Mahmood. 2012. Influence of The Oxygen Flow Rate on The Plasma Parameters in Reactive Magnetron Sputtering Plasma Using Zn Target. *International Conference on Enabling Science and Nanotechnology*, 1–2.
- Ngo, V. K. T., D. G. Nguyen, H. P. U. Nguyen, V. M. Tran, T. K. M. Nguyen, T. P. Huynh, Q. V. Lam, T. D. Huynh, dan T. N. L. Truong. 2014. Quartz Crystal Microbalance (QCM) as Biosensor For The Detecting of Escherichia Coli O157:H7. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, IOP Publishing, 5(4): 45004–45012.
- Nur, M. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.
- Pease, J. 2016. A Step Change in Wall. *American Society of Mechanical Engineers*, 5(3): 1–3.
- Piel, A. 2010. *Plasma Physics: An Introduction to Laboratory, Space, and Fusion Plasmas*. Springer-Verlag. Kiel.
- Prisma, A., D. H. Santjojo, dan Masrurroh. 2012. Pengaruh Konsentrasi dan Viskositas Larutan Polistiren Terhadap Morfologi

- Permukaan dan Ketebalan Lapisan ZnPc Pada Permukaan QCM. *Natural B*, 4–7.
- Rahayu, S. Masruroh, D. H. Santjojo, E. Rahmawati, L. A. Didik, F. Robiandi, dan S. P. Sakti. 2014. Pengaruh Perbedaan Pelarut Polistiren Terhadap Morfologi Lapisan Polistiren dan Sifat Viskoelastik QCM Biosensor. *Natural B*, 2(4): 343–348.
- Rezaei, F. dan B. Shokri. 2015. Analysis of Energetic Oxygen Species Effect on In Vitro Biological Responses of RF Plasma-Treated Polymer. *22nd International Symposium on Plasma Chemistry*, 2–5.
- Roy, N. C., M. R. Talukder, dan B. K. Pramanik. 2014. Diagnostics of Atmospheric Pressure Capillary DBD Oxygen Plasma Jet. *Icpsa2014*, 5(52).
- Ruhendi, S. dan T. Sucipto. 2013. Pengembangan Perekat Likuid dan Papan Partikel dari Limbah Tandan Kosong Sawit (Development of Wood Liquid and Particleboard from Oil Palm Empty Fruit Bunches). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 18(2): 115–124.
- Sakti, S. P. dan D. H. Santjojo. 2012. Improvement of Biomolecule Immobilization on Polystyrene Surface by Increasing Surface Roughness. *Journal of Biosensors & Bioelectronics*, 3(3): 3–7.
- Sakti, S. P., N. F. Khusnah, D. J. D. H. Santjojo, Masruroh, dan A. Sabarudin. 2017. Surface Modification of Polystyrene Coating on QCM Sensor using Ambient Air Plasma at Low Pressure. *Materials Today: Proceedings*, 208, 5(7): 15139-15144.
- Ukhtary, M. S., Abdurrouf, dan Masruroh. 2013. Karakterisasi Temperatur Elektron (Te) dari Spektroskopi Emisi Optik untuk Plasma Gas Argon yang Dihasilkan dari Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PE CVD). *Physics Student Journal*, 1(1): 3–6.
- Wahyuni, F., S. P. Sakti, U. P. Juswono, F. Irawati, dan N. Chabibah. 2012. Desain Konstruksi Sel Untuk Immunosensor Berbasis Quartz Crystal Microbalance (QCM). *Jurnal Lingkungan dan Kesehatan*, 1(4): 305–311.
- Wang, Z., Y. Huang, S. Li, H. Xu, M. B. Linder, dan M. Qiao. 2010. Hydrophilic Modification of Polystyrene With Hydrophobin for Time-Resolved Immunofluorometric Assay. *Biosensors and Bioelectronics*. Elsevier B.V., 26(3): 1074–1079.

- Yuan, Y. dan T. R. Lee. 2013. Contact Angle and Wetting Properties. *Surface Science Techniques*, 3-33.
- Zellner, M. 2008. *Comparison of Stark Broadening and Doppler Broadening of Spectral Lines in Dense Hot Plasmas*. Millersville University.
- Zhang, S., A. Sobota, E. M. van Veldhuizen, dan P. J. Bruggeman. 2015. Gas Flow Characteristics of A Time Modulated APPJ: The Effect of Gas Heating on Flow Dynamics. *Journal of Physics D: Applied Physics*. IOP Publishing, 48(1): 15203–15217.
- Zhou, X. C., L. Q. Huang, dan S. F. Y. Li. 2001. Microgravimetric DNA Sensor Based on Quartz Crystal Microbalance: Comparison of Oligonucleotide Immobilization Methods and The Application in Genetic Diagnosis. *Biosensors and Bioelectronics*, 16(1–2): 85–95.

