

PENGARUH VARIASI TEGANGAN LISTRIK RF(*RADIO FREQUENCY*) AC TERHADAP NILAI TEMPERATUR DAN DENSITAS ELEKTRON PADA DIAGNOSTIK PLASMA NITROGEN MENGGUNAKAN SPEKTROSKOPI EMISI OPTIK

SKRIPSI

Oleh:

MOCH. RIZKY WIJAYA

155090301111011



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

PENGARUH VARIASI TEGANGAN LISTRIK RF(*RADIO FREQUENCY*) AC TERHADAP NILAI TEMPERATUR DAN DENSITAS ELEKTRON PADA DIAGNOSTIK PLASMA NITROGEN MENGGUNAKAN SPEKTROSKOPI EMISI OPTIK

SKRIPSI

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

Oleh:

MOCH. RIZKY WIJAYA

155090301111011



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH VARIASI TEGANGAN LISTRIK RF(*RADIO FREQUENCY*) AC TERHADAP NILAI TEMPERATUR DAN DENSITAS ELEKTRON PADA DIAGNOSTIK PLASMA NITROGEN MENGGUNAKAN SPEKTROSKOPI EMISI OPTIK

oleh:

MOCH RIZKY WIJAYA

155090301111011

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal21.DEC.2018
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I



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

NIP 197512312002122002

Pembimbing II



(Ir. D.J.Djoko H. S.,M.Phil,Ph.D)

NIP 196601311990021001



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 : Moch. Rizky Wijaya
NIM : 155090301111011
Program Studi : Fisika
Penulis skripsi berjudul :

PENGARUH VARIASI TEGANGAN LISTRIK RF(*RADIO FREQUENCY*) AC TERHADAP NILAI TEMPERATUR DAN DENSITAS ELEKTRON PADA DIAGNOSTIK PLASMA NITROGEN MENGGUNAKAN SPEKTROSKOPI EMISI OPTIK

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, 26 Desember 2018

Yang menyatakan,



Moch. Rizky Wijaya
NIM. 155090301111011



PENGARUH VARIASI TEGANGAN LISTRIK RF(*RADIO FREQUENCY*) AC TERHADAP NILAI TEMPERATUR DAN DENSITAS ELEKTRON PADA DIAGNOSTIK PLASMA NITROGEN MENGGUNAKAN SPEKTROSKOPI EMISI OPTIK

ABSTRAK

Perlakuan plasma nitrogen terhadap lapisan tipis polistirena pada kaca telah dilakukan. Lapisan polistirena dideposisi pada kaca dengan metode *spin coating*. Lapisan polistirena tersebut kemudian diberikan perlakuan plasma nitrogen dengan variasi tegangan listrik RF. Plasma nitrogen dibangkitkan dengan variasi tegangan listrik RF 60,70,80,90, dan 100 Volt. Variabel tetap yaitu tegangan DC 0 Volt, tekanan 40 Pa, laju alir gas nitrogen 40 ml/menit, dan perlakuan plasma selama 2 menit. Spektrum emisi plasma dikarakterisasi dengan *Optical Emission Spectroscopy* (Aurora 4000) dengan batas panjang gelombang 200 – 1100 nm dalam daerah plasma. Data spektrum emisi plasma kemudian dibandingkan dengan data acuan NIST. Spesies plasma nitrogen yang mendominasi adalah ion N II pada panjang gelombang 385,715 nm. Tegangan listrik RF meningkatkan nilai intensitas spesies plasma. Berdasarkan referensi, spesies plasma N II dengan intensitas tinggi dapat menurunkan hidrofobisitas permukaan lapisan polistirena. Penambahan tegangan RF pada plasma nitrogen menyebabkan bertambahnya temperatur elektron dan densitas elektron.

Kata kunci : plasma nitrogen, spektrum emisi, temperatur elektron, densitas elektron



THE EFFECT OF RADIO FREQUENCY VOLTAGE AC ON TEMPERATUR AND DENSITY OF ELECTRON IN DIAGNOSTIC OF NITROGEN PLASMA USING OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY

ABSTRACT

Research about nitrogen plasma treatment on polystyrene thin film in glass has been investigated. Thin film of polystyrene was deposited on the glass using the spin coating method with xylene solvent. Nitrogen plasma treatment is generated with variation radio frequency AC voltage 60, 70, 80, 90, dan 100 Volt. Fixed variabel is 0 Volt DC voltage, pressure 40 Pa, flow rate of nitrogen gas is 40 ml/minutes, and plasma treatment for 2 minutes. Emission spectrum of nitrogen plasma is characterized by Optical Emission Spectroscopy (OES) Aurora 4000 with wavelength limit of 200 – 1100 nm. Data emission spectrum of plasma is compared with NIST database to identify spesies of plasma nitrogen. Dominant plasma nitrogen species are N II ions at wavelength 385,715 nm. RF voltage increases the intensity value of plasma species. RF voltage also increases electron temperatur and electron density.

Keywords : nitrogen plasma, emission spectrum, electron temperatur, electron density



KATA PENGANTAR

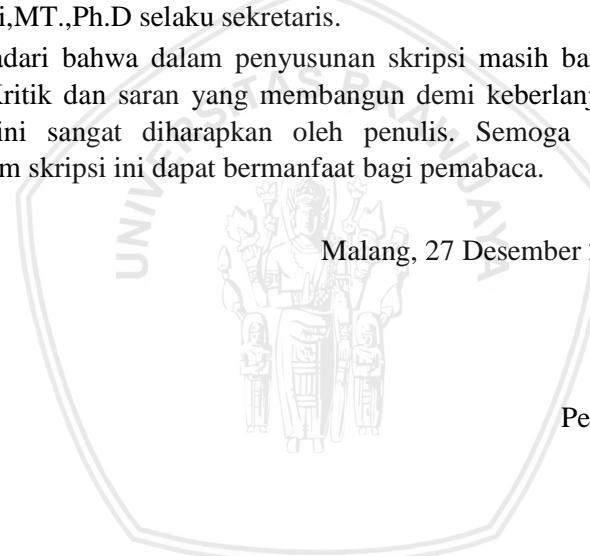
Penulis berterimakasih dan bersyukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Tegangan Listrik RF (*Radio Frequency*) AC terhadap Nilai Temperatur dan Densitas Elektron pada diagnostik Plasma Nitrogen Menggunakan Spektroskopi Emisi Optik.

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, penulis mendapatkan bantuan baik secara moral dan materi dari berbagai pihak. Tanpa doa dan bantuan tersebut, penyusunan skripsi dapat berjalan dengan baik dan lancar. Oleh karena itu, penulis menyampaikan termakasih kepada :

1. Orang tua saya tercinta (Djadjuli dan Wiji Haryani) yang telah memberikan bantuan material, nasihat, dukungan, dan doa sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi saya.
2. Sahabat saya, Gigih Satriyo Wibowo yang telah berjuang bersama-sama sejak mahasiswa baru dan berbagi ilmunya dalam penyusunan skripsi
3. Sahabat saya, Agung Makdani, Ariefurahman, Sobri Sudrajat Pane, dan M. Fauzy Pradana yang telah berjuang bersama-sama.
4. Ibu Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, saran, kritik, nasihat, dan motivasi dari awal penelitian PKM (Program Kreativitas Mahasiswa) sampai 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 maupunpenulisan skripsi.
6. Senior saya, Shoufi, Heraniawati, dan M. Adib Abdillah M, karena berkat skripsi yang ditulis meraka, saya dapat memahami spesies plasma
7. Prof. Dr. rer.nat Muhammad Nurhuda, Dr. rer. nat. Abdurrouf, S. Si, M. Si, Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si., dan Ir. D.J. Djoko H.S., M.Phil. Ph.D yang menginspirasi

- saya tentang arti semangat dan totalitas dalam mengerjakan segala hal.
8. Grup riset karbon, mas Bintang, mas Yopi, mas Rifky, mas Febrian, dan mas Kris
 9. Mahasiswa S2 Jurusan Fisika, yaitu mas Dika yang telah memberikan ilmunya dalam analisis dan karakterisasi material
 10. Adik saya, Febriansyah Akbar Wijaya yang telah menghibur saya ketika kesulitan dalam proses penyusunan skripsi
 11. Prof. Dr. rer.nat Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Brawijaya dan Ahmad Nadhir, S.Si,MT.,Ph.D selaku sekretaris.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi masih banyak kekurangan. Kritik dan saran yang membangun demi keberlanjutan riset skripsi ini sangat diharapkan oleh penulis. Semoga hasil penelitian dalam skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.



Malang, 27 Desember 2018

Penulis

DAFTAR PUSTAKA

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR PUSTAKA	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kaca.....	5
2.2 Polistirena.....	6
2.3 Plasma	7
2.3.1 Proses Terbentuknya Plasma	8
2.3.1 Pengaruh Tegangan RF pada Plasma.....	9
2.3.2 Fungsionalisasi Lapisan Polistirena dengan Plasma Nitrogen	11
2.4 Pengaruh Pelarut terhadap Lapisan Polistirena.....	15

2.5	Karakterisasi Spektrum Emisi Plasma.....	16
2.6	Temperatur dan Densitas Elektron	16
2.7	Metode Rasio	20
2.8	Persamaan Saha-Boltzman	21
BAB III METODOLOGI.....		24
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	24
3.2	Peralatan dan Bahan	24
3.3	Metode Penelitian	24
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	25
3.4.1	Pembuatan Larutan Polistirena.....	26
3.4.2	Proses Deposisi Lapisan Tipis.....	27
3.4.3	Perlakuan Plasma Nitrogen	28
3.5	Preparasi Sampel	29
3.5.1	Pemotongan dan Pembersihan Kaca	29
3.5.2	Pembuatan Larutan Polistirena.....	29
3.5.3	Pembentukan Lapisan Tipis Polistirena	29
3.5.4	Perlakuan Plasma Nitrogen pada Lapisan Polistirena	30
3.6	Penentuan Spesies Plasma Nitrogen.....	32
3.7	Analisis Parameter Plasma	47
3.7.1	Penentuan Temperatur Elektron	47
3.7.2	Penentuan Densitas Elektron.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		50
4.1	Pengaruh Variasi Tegangan Listrik AC terhadap Spesies Plasma.....	50

4.2 Pengaruh Variasi Tegangan Listrik AC terhadap Intensitas Plasma Nitrogen	53
4.3 Parameter Plasma Nitrogen	61
4.3.1 Temperatur Elektron	61
4.3.2 Densitas Elektron	64
BAB V PENUTUP	69
5.1 Simpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	74





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Stuktur amorf SiO ₂ pada kaca	5
Gambar 2. 2 Struktur kimia polistirena (Alkaim & Dillert, 2016)	6
Gambar 2. 3 Fase plasma untuk gas hidrogen	7
Gambar 2. 4 Grafik pengaruh tegangan RF terhadap intensitas spektrum emisi plasma oksigen.....	10
Gambar 2. 5 Hubungan sudut kontak dengan variasi berat molekul pada lapisan polistirena dengan perlakuan dan tanpa perlakuan plasma nitrogen (Masruroh & Dionysius, 2018).....	12
Gambar 2. 6 Pengaruh variasi berat molekul pada spektrum emisi optik plasma selama perlakuan (Masruroh & Dionysius, 2018)	13
Gambar 2. 7 Gugus fungsi C ≡ N (nitril) yang muncul setelah diberi perlakuan plasma nitrogen (Masruroh & Dionysius, 2018)	13
Gambar 2. 8 Gugus fungsional bersifat polar (NH ₂ dan N-H) pada lapisan polistirena (Wibowo, et al., 2018).....	15
Gambar 2. 9 Pengaruh tekanan uap pelarut terhadap kekasaran permukaan (Masruroh & Dionysius, 2018).....	16
Gambar 2. 10 Gradien (m) dari plot Boltzman	18
Gambar 2. 11 Pengaruh intensitas arus dengan temperatur elektron eksitasi (Zhang, et al., 2011)	19
Gambar 2. 12 Hubungan densitas elektron dengan daya AC pada plasma gas Hidrogen	22
Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian	25
Gambar 3. 2 Diagram alir tahapan pembuatan larutan polistirena	26
Gambar 3. 3 Diagram alir tahapan deposisi lapisan tipis	27
Gambar 3. 4 Diagram alir tahapan perlakuan dengan plasma nitrogen.....	28
Gambar 3. 5 Sistem Plasma RF (<i>Radio Frequency</i>)	30
Gambar 3. 6 Pengaturan <i>integral time</i> dan <i>average count</i> pada software <i>Spectral Analysis</i>	32
Gambar 3. 7 Menu <i>save continuous data</i>	32

Gambar 3. 8 Pengaturan waktu pengambilan data OES	33
Gambar 3. 9 Tampilan data intensitas dan panjang gelombang spektrum emisi plasma pada software <i>Spectral Analysis</i>	34
Gambar 3. 10 Data hasil pengukuran OES dalam bentuk txt	35
Gambar 3. 11 Data OES di Microsoft excel	36
Gambar 3. 12 Penginputan data hasil OES ke <i>OriginPro</i>	37
Gambar 3. 13 Menu plot grafik dari data hasil OES	38
Gambar 3. 14 Hasil plot data hasil OES dengan grafik intensitas dan panjang gelombang	38
Gambar 3. 15 Menu <i>quick peaks</i> pada OriginPro 2017 64 bit...	39
Gambar 3. 16 Pengaturan menu <i>quick peaks</i> sebagai pencari puncak spektrum	39
Gambar 3. 17 Hasil pencarian puncak spektrum emisi optic dengan menu <i>quick peaks</i>	40
Gambar 3. 18 Menu <i>peak analyzer</i>	41
Gambar 3. 19 Pemilihan <i>fit peaks (pro)</i>	42
Gambar 3. 20 Jendela pengaturan <i>Baseline Mode</i>	43
Gambar 3. 21 Pemilihan <i>fitting pro</i>	44
Gambar 3. 22 Jendela pengaturan <i>find peaks</i>	45
Gambar 3. 23 Hasil <i>fitting</i> puncak -puncak spektrum emisi plasma	46
Gambar 3. 24 Pengaturan jenis spektrum dan batas panjang gelombang.....	47
Gambar 3. 25 Data referensi NIST pada spektrum Nitrogen	47
Gambar 4. 1 Hasil identifikasi spesies spektrum plasma nitrogen dengan sampel pada tegangan RF 80 Volt	51
Gambar 4. 2 Spesies plasma nitrogen yang terbentuk dari modifikasi permukaan polistirena.....	52
Gambar 4. 3 Hamburan ion pada penampang lintang	54
Gambar 4. 4 Sistem plasma RF -DC (Saeeda, et al., 2014).....	55
Gambar 4. 5 Proses deeksitasi	55
Gambar 4. 6 Proses eksitasi ion nitrogen.....	56
Gambar 4. 7 Model molekul reaksi spesies plasma nitrogen dengan lapisan polsitirena (Masruroh & Dionysius, 2018)	57

Gambar 4. 8 Mekanisme pergerakan radikal dan ion pada plasma RF- DC (Saeeda, et al., 2014)	57
Gambar 4. 9 Grafik pengaruh tegangan RF terhadap intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda = 331$ nm.....	59
Gambar 4. 10 Grafik pengaruh tegangan RF terhadap intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda = 385$ nm.....	60
Gambar 4. 11 Grafik pengaruh tegangan RF terhadap intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda = 385$ nm.....	60
Gambar 4. 12 Grafik hubungan tegangan RF terhadap temperatur elektron pada plasma nitrogen tanpa sampel.....	62
Gambar 4. 13 Grafik hubungan tegangan RF terhadap temperatur elektron pada plasma nitrogen dengan sampel.....	63
Gambar 4. 14 Hubungan tegangan RF terhadap densitas elektron pada perlakuan plasma nitrogen tanpa sampel	66
Gambar L2. 1 Referensi spektrum plasma nitrogen pada panjang gelombang 300 – 380 nm (Saeeda, et al., 2014)	75
Gambar L2. 2 Referensi spektrum plasma nitrogen pada panjang gelombang 350 – 427 nm (Saeeda, et al., 2014)	75
Gambar L2. 3 Referensi spesies plasma nitrogen pada panjang gelombang 3370 – 427 nm (Saeeda, et al., 2014)	76
Gambar L3. 1 Grafik intensitas dengan panjang gelombang analisis speseis plasma nitrogen pada tegangan RF 60 Volt	77
Gambar L3. 2 Grafik intensitas dengan panjang gelombang analisis speseis plasma nitrogen pada tegangan RF 70 Volt	78
Gambar L3. 3 Grafik intensitas dengan panjang gelombang analisis speseis plasma nitrogen pada tegangan RF 80 Volt	78
Gambar L3. 4 Grafik intensitas dengan panjang gelombang analisis speseis plasma nitrogen pada tegangan RF 90 Volt	79
Gambar L3. 5 Grafik intensitas dengan panjang gelombang analisis speseis plasma nitrogen pada tegangan RF 100 Volt	79
Gambar L4. 1 Plot Blotzman 60 Volt	80
Gambar L4. 2 Plot Blotzman 70 Volt	80
Gambar L4. 3 Plot Blotzman 80 Volt	81
Gambar L4. 4 Plot Blotzman 90 Volt	81

Gambar L4. 5 Plot Blotzman 100 Volt.....	82
Gambar L5. 1 Plot Blotzman 60 Volt	82
Gambar L5. 2 Plot Blotzman 70 Volt.....	83
Gambar L5. 3 Plot Blotzman 80 Volt.....	83
Gambar L5. 4 Plot Blotzman 90 Volt.....	84
Gambar L5. 5 Plot Blotzman 100 Volt.....	84



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Proses ionisasi dan rekombinasi (Piel, 2010).....	8
Tabel 2. 2 Reaksi eksitasi, deeksitasi, dan disosiasi (Nur, 2011).9	
Tabel 2. 3 Pengaruh tegangan RF terhadap temperatur elektron pada plasma argon – metana	11
Tabel 2. 4 Pengaruh tegangan RF terhadap densitas elektron pada plasma argon – metana	11
Tabel 2. 5 Perbedaan sudut kontak masing-masing berat molekul polistirena sebelum dan sesudah perlakuan plasma	14
Tabel 4. 1 Proses atomik yang mungkin terjadi dalam plasma nitrogen.....	52
Tabel 4. 2 Intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda = 423$ nm ..	58
Tabel 4. 3 Intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda = 385$ nm ..	58
Tabel 4. 4 Intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda = 331$ nm ..	58
Tabel 4. 5 Data spektroskopik garis atom ion (N II) nitrogen dari NIST	61
Tabel 4. 6 Pengaruh tegangan RF terhadap temperatur elektron plasma nitrogen tanpa sampel	62
Tabel 4. 7 Pengaruh tegangan RF terhadap temperatur elektron plasma nitrogen dengan sampel	63
Tabel 4. 8 Nilai syarat minimum densitas elektron.....	65
Tabel 4. 9 Hubungan tegangan RF dengan nilai densitas elektron	66



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Informasi Database NIST atom Nitrogen	74
Lampiran 2. Referensi spektrum plasma nitrogen.....	75
Lampiran 4. Plot Boltzman pada variasi tegangan RF dengan perlakuan plasma nitrogen tanpa sampel.....	80
Lampiran 5. Plot Boltzman pada variasi tegangan RF dengan perlakuan plasma nitrogen dengan sampel.....	82





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polistirena merupakan salah satu polimer yang banyak dikembangkan sebagai lapisan tipis pada substrat. Salah satu faktor yang mempengaruhi properti polistirena sebagai lapisan tipis adalah morfologi permukaan. Morfologi permukaan lapisan tipis polistirena dipengaruhi oleh jenis pelarut yang digunakan berdasarkan tekanan uap dan kelarutan pelarut. Pelarut yang memiliki tekanan uap dan kelarutan pelarut yang tinggi akan membentuk permukaan lapisan yang semakin kasar. Sebaliknya bila pelarut memiliki tekanan uap dan kelarutan pelarut yang rendah akan membentuk permukaan lapisan yang semakin halus (Rahayu, 2014). Semakin kasar permukaan maka sifat hidrofobisitas akan meningkat (Masruroh, et al., 2014). Berat molekul juga menentukan hidrofobisitas lapisan. Semakin rendah berat molekul maka akan menghasilkan permukaan dengan hidrofobisitas yang lebih rendah (Sakti S.P, 2017). Berdasarkan pengaruh tekanan uap pelarut, kelarutan pelarut, dan berat molekul, maka pada penelitian ini dipilih polistirena dengan berat molekul 35.000 g/mol dengan pelarut xilen.

Plasma adalah fase materi keempat setelah fase padat, cair, dan gas (Nur, 2011). Plasma terbentuk karena gas yang terionisasi akibat pertambahan energi atau temperatur gas (Chen J, 2002). Molekul gas terionisasi akan menjadi elektron dan ion positif yang bergerak bebas dan berjarak renggang antar ion (Nur, 2011). Perkembangan teknologi plasma telah banyak diaplikasikan untuk modifikasi sifat hidrofobisitas lapisan diatas substrat berdasarkan interaksi gas terionisasi dengan lapisan. Plasma nitrogen dapat digunakan untuk menurunkan sifat hidrofobisitas lapisan polistirena diatas substrat (Alkaim A.F, 2015). Wibowo, et al (2018) telah melakukan perlakuan plasma nitrogen dengan variasi daya tegangan RF pada lapisan polistirena pada kaca. Hasil pada penelitian tersebut didapatkan sifat kebasahan yang tinggi karena perlakuan plasma nitrogen dengan variasi daya tegangan RF. Namun pada penelitian tersebut belum dibahas spesies plasma nitrogen yang terindifikasi

dan parameter internal plasma yaitu temperatur dan densitas elektron.

Pembentukan plasma nitrogen dipengaruhi oleh tegangan RF. Tegangan RF berperan penting dalam terbentuknya spesies plasma. Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Masruroh & Dionysius (2018) dengan melakukan modifikasi permukaan polistirena dengan plasma nitrogen menggunakan reaktor plasma berfrekuensi 40 kHz dengan daya 40 Watt selama 2 menit. Spesies plasma telah diidentifikasi dengan menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*). Berdasarkan hasil OES didapatkan grafik berupa puncak-puncak spektrum emisi plasma pada panjang gelombang 310 nm sampai 424,1 nm yang kemudian diidentifikasi sebagai spesies plasma berupa NH, N₂, dan N₂⁺. Namun penelitian tersebut belum membahas mengenai parameter internal plasma yaitu temperatur elektron (Te) dan densitas elektron (ne) (Masruroh & Dionysius, 2018).

Temperatur elektron dan densitas elektron dapat ditentukan berdasarkan spesies yang terbentuk pada plasma. Penelitian mengenai studi pengaruh tegangan RF terhadap spesies plasma oksigen telah dilakukan oleh Abdillah (2018). Berdasarkan penelitian tersebut, temperatur elektron dan densitas elektron plasma oksigen meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan RF yang diberikan. (Abdillah, 2018).

Pada penelitian ini dilakukan perlakuan plasma dengan gas yang berbeda yaitu plasma nitrogen dengan variasi tegangan RF pada lapisan tipis polistirena pada kaca. Plasma nitrogen dibangkitkan dengan tegangan RF dengan variasi 60 Volt, 70 Volt, 80 Volt, 90 Volt, dan 100 Volt dengan variabel tetap tegangan listrik DC, waktu perlakuan, laju alir, dan tekanan. Variasi tegangan RF dilakukan untuk mengetahui jenis spesies, temperatur elektron, dan densitas elektron pada permukaan lapisan polistirena.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi tegangan RF pada perlakuan plasma nitrogen terhadap intensitas dan spesies plasma nitrogen ?

2. Bagaimana pengaruh variasi tegangan RF pada perlakuan plasma nitrogen terhadap parameter temperatur elektron dan densitas elektron ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh variasi tegangan RF pada perlakuan plasma nitrogen terhadap spesies plasma nitrogen.
2. Mengetahui pengaruh variasi tegangan RF pada perlakuan plasma nitrogen terhadap parameter temperatur elektron dan densitas elektron

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan pengetahuan kepada pembaca mengenai pengaruh variasi tegangan RF plasma nitrogen terhadap spesies plasma nitrogen, parameter temperatur elektron dan densitas elektron.

1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian antara lain :

1. Deposi larutan polistirena pada substrat kaca menggunakan metode *spin coating*. Berat molekul polistirena yang digunakan adalah 35.000 g/mol dengan pelarut xilen.
2. Parameter tetap penelitian yaitu laju alir gas, tekanan gas, dan waktu perlakuan plasma nitrogen. Laju alir gas nitrogen 40 ml/menit, tekanan gas nitrogen 40 Pa, dan waktu perlakuan plasma selama 2 menit.
3. Parameter tegangan RF dilakukan hanya pada variasi 60 Volt, 70 Volt, 80 Volt, 90 Volt, dan 100 Volt dengan tegangan DC 0 Volt pada generator plasma RF-DC.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

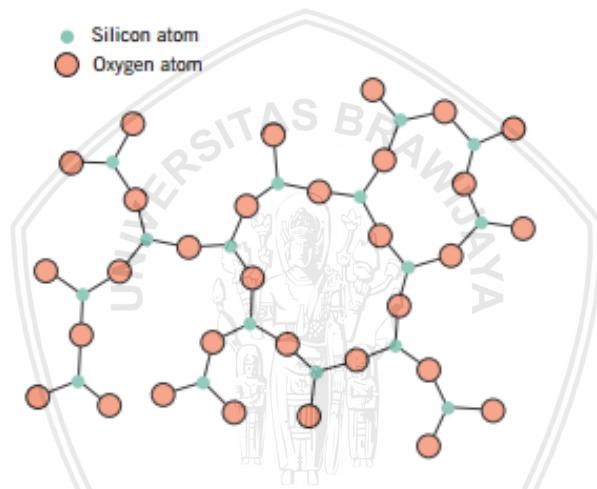


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kaca

Kaca merupakan material padat amorf yang terbuat dengan menggabungkan silika dan oksigen. Struktur amorf kaca dapat dilihat pada gambar 2.1. Kaca dikatakan amorf karena tidak padat ataupun cair tetapi ada dalam keadaan vitreous. Kaca tergolong material keramik, karena merupakan paduan logam dan non logam dengan ikatan mayoritas ionik. Atom logam dalam kaca akan menjadi kation sedangkan atom non logam menjadi anion (Callister & Rethwisch, 2010).



Gambar 2. 1 Stuktur amorf SiO_2 pada kaca

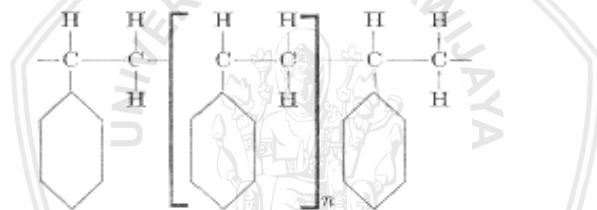
Kaca memiliki sifat non polar dan polistirena mempunyai sifat non polar, sehingga berdasarkan gaya adesi antara kaca dengan polistirena dapat terjadi ikatan. Kaca juga memiliki struktur SiO_2 sama dengan QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) namun SiO_2 pada kaca memiliki bentuk amorf sedangkan SiO_2 pada QCM memiliki bentuk *single crystal* (kristal tunggal) (Neal & Jeffrey, 2006).

Pemilihan substrat kaca sebagai lapisan polistirena berutujuan agar lapisan polistirena dapat menempel pada substrat karena gaya adesi yang terjadi, sehingga lapisan polistirena dapat tersebar merata pada permukaan kaca (Neal & Jeffrey, 2006). Hal tersebut menyebabkan

polistirena yang terdeposisi pada kaca dapat berinteraksi dengan spesies plasma nitrogen dalam *chamber* plasma RF. Selain itu dengan melakukan penelitian mengenai perlakuan plasma nitrogen pada lapisan polistirena pada kaca. Hasil penelitian tersebut dapat dijadikan referensi untuk melakukan perlakuan plasma nitrogen terhadap lapisan polistirena pada QCM, karena QCM dengan kaca memiliki struktur SiO₂.

2.2 Polistirena

Polistirena (C₈H₈)_n merupakan polimer bersifat non-polar yang telah banyak dimanfaatkan sebagai lapisan fungsionalisasi untuk merubah kebasahan permukaan (Garcia, 2009). Struktur kimia polistirena ditunjukkan pada gambar 2.2. Polistirena memiliki energi permukaan (γ_s) dengan nilai 30×10^3 N/m. Energi permukaan polistirena mempengaruhi hidrofobisitas permukaan. Semakin besar energi permukaan, kecenderungan memiliki sifat hidrofilik (Wenten & Himma, 2014)



Gambar 2. 2 Struktur kimia polistirena (Alkaim & Dillert, 2016)

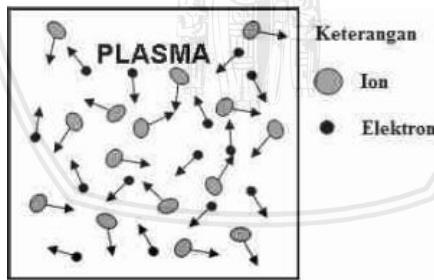
Berat molekul polistirena mempengaruhi kekasaran permukaan lapisan polistirena. Semakin besar nilai berat molekul polistirena maka akan semakin kasar permukaannya. Gambar 2.7 menunjukkan variasi berat molekul polistirena 35.000, 192.00, dan 280.000 g/mol terhadap sudut kontak. Semakin besar berat molekul polistirena maka makin panjang rantai ikatan molekul. Hal ini mempengaruhi nilai kekasaran polistirena.

Pada penelitian ini digunakan polistirena dengan berat molekul 35.000 g/mol sebagai lapisan polistirena di atas substrat kaca. Pemilihan berat molekul 35.000 g/mol karena berat molekul polistirena yang semakin kecil mengindikasikan bahwa lapisan polistirena memiliki permukaan dengan nilai kekasaran dan nilai sudut kontak yang lebih rendah. Semakin kecil nilai sudut kontak maka akan semakin bersifat

polar permukaan lapisan polistirena. Lapisan yang bersifat polar akan berikatan dengan benda lain yang bersifat polar. Sehingga, pemilihan berat molekul 35.000 g/mol pada penelitian ini diharapkan membentuk lapisan yang bersifat lebih polar jika dibandingkan berat molekul lain. Hal tersebut sesuai dengan gambar 2.4 yang menunjukkan hubungan berat molekul dengan nilai sudut kontak.

2.3 Plasma

Plasma merupakan fase keempat materi yang terbentuk karena gas yang terionisasi. Fase materi padat dapat membentuk plasma jika diberi energi secara terus menerus. Ketika padatan dipanaskan terjadi gerakan termal atom yang memecah struktur kisi kristal secara terpisah yang menyebabkan perubahan fase menjadi fase cairan. Fase cairan ketika diberi energi panas yang cukup menyebabkan atom menguap sehingga gas terbentuk. Ketika gas diberikan energi panas yang cukup menyebabkan atom-atom bertabrakan satu sama lain dan gas terionisasi sehingga terbentuk plasma. Pada plasma pemisahan muatan antara ion dan elektron menimbulkan medan listrik dan aliran partikel bermuatan menimbulkan arus dan medan magnet. (Rutherford & Paul, 1995). Keadaan plasma merupakan campuran gas yang terdiri dari ion positif dan elektron seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Fase plasma untuk gas hidrogen

Plasma dapat terionisasi sebagai dan terionisasi secara menyeluruh. Gas netral yang akan diionisasi memiliki karakteristik densitas elektron (n_e), densitas ion (n_i), temperatur elektron (T_e) dan temperatur ion (T_i). Densitas elektron merupakan jumlah partikel per satuan volume. Satuan densitas elektron adalah m^{-3} . Temperatur elektron dan ion menyatakan besarnya pergerakan partikel (elektron dan ion) pada kondisi

kesetimbangan termodinamika. Dalam kondisi gas ideal , densitas dan temperatur berhubungan dengan tekanan gas (Piel, 2010). Tekanan pada gas ideal dapat ditentukan dengan persamaan (2.1). Pada penelitian ini akan dikaji parameter intenal plasma nitrogen yaitu temperatur dan densitas elektron terhadap pengaruh tegangan RF.

$$P = n k_B T \quad (2.1)$$

2.3.1 Proses Terbentuknya Plasma

Terdapat beberapa proses terbentuknya plasma yaitu proses ionisasi, rekombinasi, eksitasi, deeksitasi, dan dissosiasi. Ionisasi merupakan proses terlepasnya elektron pada suatu atom maupun molekul dari orbital terluarnya. Proses ionisasi terbagi menjadi 2 yaitu ionisasi tumbukan dan fotoionisasi. Ionisasi tumbukan merupakan proses terlepasnya elektron dari orbital terluar atom karena tumbukan dari elektron luar Fotoionisasi merupakan proses ionisasi yang terjadi karena pemberian energi foton (E_f). Energi foton dinyatakan secara matematis yaitu $h\nu$. Fotoionisasi pada plasma ditemukan pada keadaan dimana densitas elektron dan atom rendah namun memiliki foton ultraviolet yang besar. Proses rekombinasi merupakan proses dimana elektron keluar dari orbital terluar atom sehingga terbentuk hole. Selanjutnya elektron bebas kembali lagi ke hole sehingga terjadi proses rekombinasi. Rekombinasi kedua maupun ketiga ditentukan oleh jumlah elektron bebas yang kembali beraksi dengan *hole* (Piel, 2010). Proses ionisasi dan rekombinasi ditunjukkan pada tabel 2.1 sebagai berikut :

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

Reaksi	Jenis proses
$e + N \rightarrow N^+ + 2e$	Ionisasi tumbukan elektron
$h\nu + N \rightarrow N^+ + e$	Fotoionisasi
$N^+ + 2e \rightarrow N + e$	Rekombinasi ketiga
$N^+ + e \rightarrow N$	Rekombinasi kedua

Eksitasi merupakan peristiwa dimana elektron berpindah dari orbital yang memiliki tingkat energi yang lebih rendah ke orbital tingkat energi yang lebih tinggi. Peristiwa ini disertai dengan penyerapan energi tumbukan dengan elektron. Deeksitasi merupakan peristiwa yang berbanding terbalik dengan eksitasi, dimana elektron dari orbital dengan tingkat energi yang lebih tinggi berpindah ke orbital dengan tingkat

energi yang lebih rendah dengan adanya pemancaran foton. Sedangkan dissosiasi adalah proses dimana atom-atom penyusun molekul dipisah (Nur, 2011). Reaksi eksitasi, deeksitasi, dan disosiasi ditunjukkan pada tabel 2.2. Berdasarkan tabel 2.1 dan tabel 2.2 merupakan reaksi yang mungkin terjadi selama proses perlakuan plasma nitrogen dengan variasi tegangan RF pada penelitian ini.

Tabel 2. 2 Reaksi eksitasi, deeksitasi, dan disosiasi (Nur, 2011)

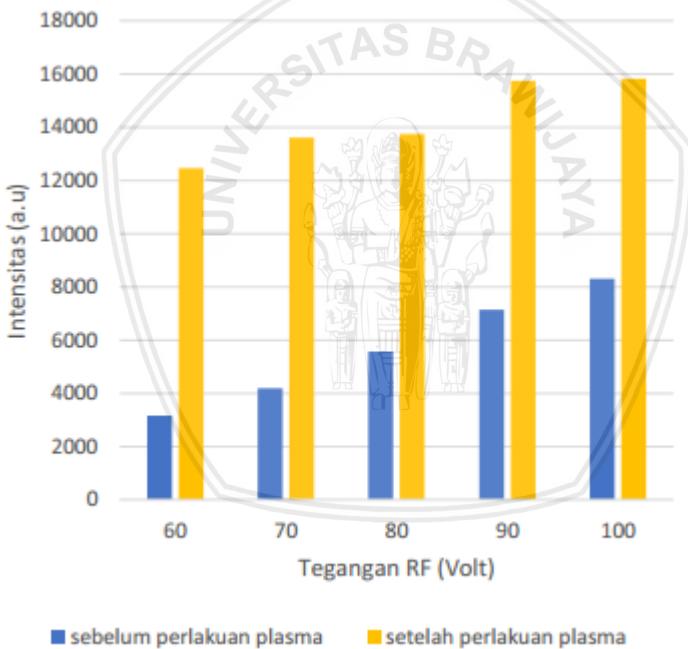
Reaksi	Jenis proses
$e + N \rightarrow N^* + e$	Eksitasi atom N netral
$e + N^* \rightarrow N + e$	Deeksitasi akibat tumbukan
$e + N \rightarrow 2N + e$	Disosiasi atom N netral

2.3.1 Pengaruh Tegangan RF pada Plasma

Tegangan AC RF yang diberlakukan pada plasma berfungsi untuk mempertahankan terbentuknya plasma. Tegangan RF menimbulkan medan listrik bolak balik dengan arah yang berubah dengan cepat. Medan listrik tersebut yang menyebabkan ion dan elektron terionisasi maupun eksitasi. Jika pada kondisi energi dari medan listrik diberikan pada ion dan elektron pada jumlah yang sama, dapat diperkirakan ion akan bergerak lebih lamban daripada elektron. Hal ini dikarenakan massa ion lebih besar daripada massa elektron. Ukuran ion yang lebih besar memiliki penampang lintang (*cross section*) yang lebih besar jika dibandingkan elektron, sehingga probabilitas ion untuk terjadi tumbukan lebih besar dari elektron. Secara teori semakin tinggi tegangan AC RF yang diberikan maka akan semakin besar energi yang diterima oleh elektron dan ion. Medan listrik dari tegangan AC RF akan mentransfer energi melalui tumbukan antara atom netral dengan elektron. Semakin besar tumbukan elektron dengan atom netral maka akan semakin besar nilai temperatur elektron. Tingginya temperatur elektron menyebabkan probabilitas tumbukan elektron terhadap atom netral makin tinggi sehingga akan banyak terbentuk *hole* pada atom netral karena ionisasi atom. Hal tersebut menyebabkan densitas elektron akan semakin bertambah besar.

Penelitian serupa sebelumnya telah dilakukan oleh Abdillah (2018) tentang pengaruh tegangan RF (*Radio Frequency*) listrik AC pada plasma oksigen terhadap jenis spesies plasma dan sifat hidrofobisitas permukaan

polistirena dengan OES (*Optical Emission Spectroscopy*). Bertambahnya tegangan RF pada plasma oksigen menyebabkan temperatur dan densitas elektron meningkat (Abdillah, 2018). Hubungan variasi tegangan RF dengan intensitas plasma oksigen pada peak 774 nm yang diberikan dapat dilihat pada gambar 2.4. Berdasarkan gambar 2.4 menunjukkan bahwa semakin meningkat tegangan RF yang diberikan maka intensitas plasma oksigen akan semakin besar. Hal tersebut disebabkan karena pemberian tegangan RF yang meningkat membuat medan listrik juga semakin meningkat, sehingga elektron akan mengionisasi atom oksigen netral lebih banyak lagi. Ionisasi yang semakin besar menyebabkan nyala plasma akan semakin besar pula. Hal tersebut menyebabkan nilai intensitas spektrum emisi semakin besar seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2. 4 Grafik pengaruh tegangan RF terhadap intensitas spektrum emisi plasma oksigen

Penelitian serupa dengan gas plasma yang berbeda telah dilakukan oleh Ukhary (2013) mengenai karakterisasi temperatur elektron (T_e) dan densitas elektron (n_e) dari spektroskopi emisi optik

untuk gas campuran argon dan metana yang dihasilkan dari plasma *enhanced chemical vapor deposition* (PE CVD). Peningkatan tegangan RF menyebabkan meningkatnya temperatur elektron dan densitas elektron seperti pada tabel 2.3 dan 2.4

Tabel 2. 3 Pengaruh tegangan RF terhadap temperatur elektron pada plasma argon – metana

Tegangan (V)	Temperatur elektron (eV)
200	2,005616
225	2,140869
250	2,346867

Tabel 2. 4 Pengaruh tegangan RF terhadap densitas elektron pada plasma argon – metana

Tegangan (V)	Densitas elektron (m^{-3})
200	$1,92 \times 10^{23}$
225	$4,79 \times 10^{23}$
250	$1,54 \times 10^{24}$

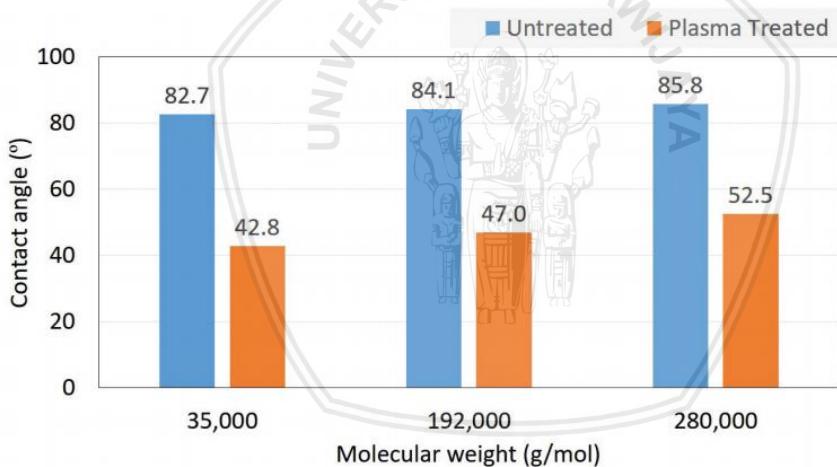
Penelitian mengenai variasi tegangan RF pada plasma nitrogen dilakukan guna untuk mengetahui hubungan densitas elektron dan temperatur elektron dengan gas yang berbeda dengan penelitian sebelumnya. Gambar 2.4, tabel 2.2, dan tabel 2.3 merupakan data referensi untuk memprediksi hubungan tegangan RF pada plasma nitrogen dengan densitas dan temperatur elektron.

2.3.2 Fungsionalisasi Lapisan Polistirena dengan Plasma Nitrogen

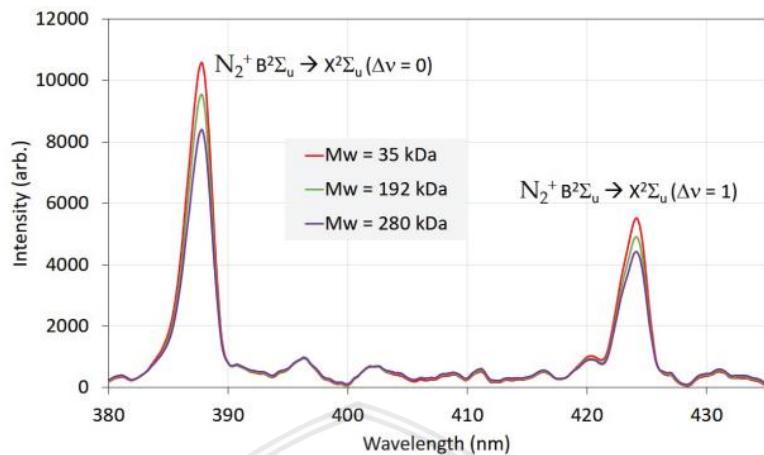
Fungsionalisasi lapisan polistirena dapat dilakukan dengan teknik perlakuan plasma. Salah satu plasma yang digunakan adalah plasma nitrogen. Perlakuan plasma nitrogen pada lapisan polistirena dapat meningkatkan sifat kebasahan permukaan lapisan. Hal tersebut karena spesies ion N_2^+ mendominasi menyebabkan terjadinya reaksi ion

N_2^+ dengan lapisan polistirena. Reaksi ion ion N_2^+ menyebabkan terbentuk gugus fungsi $C \equiv N$ (nitril) yang bersifat polar (Masruroh & Dionysius, 2018). Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 2.7. dan gambar 2.8. Air yang bersifat polar ketika berinteraksi dengan gugus fungsi polar, maka akan terjadi gaya adesi, sehingga menyebabkan sifat kebahasan yang tinggi (Tyas, 2017).

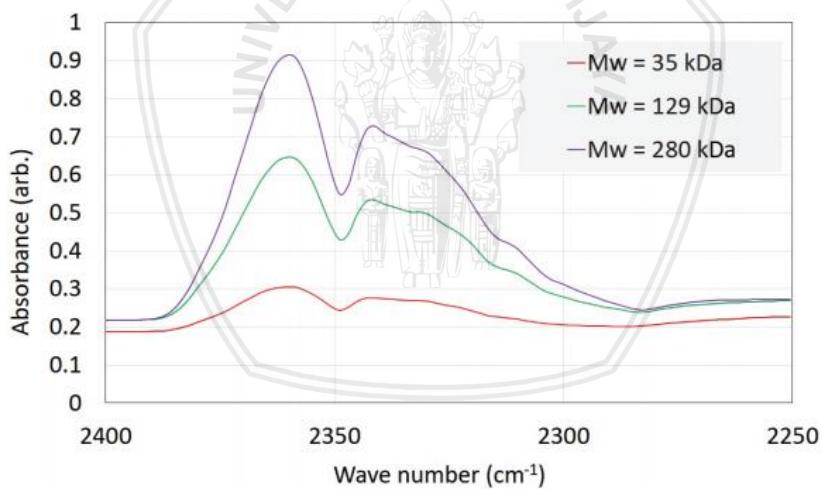
Ketika lapisan polistirena diberi perlakuan plasma nitrogen dengan daya 40 Watt selama 2 menit pada generator plasma berfrekuensi 40 kHz sumber daya AC, maka terjadi reaksi ion N_2^+ dengan lapisan polistirena. Semakin besar berat molekul polistirena maka akan semakin banyak ion nitrogen yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan lapisan polistirena (Masruroh & Dionysius, 2018). Hal tersebut menyebabkan konsentrasi ion N_2^+ berkurang dengan bertambahnya berat molekul polistirena seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2. 5 Hubungan sudut kontak dengan variasi berat molekul pada lapisan polistirena dengan perlakuan dan tanpa perlakuan plasma nitrogen (Masruroh & Dionysius, 2018)



Gambar 2. 6 Pengaruh variasi berat molekul pada spektrum emisi optik plasma selama perlakuan (Masruroh & Dionysius, 2018)



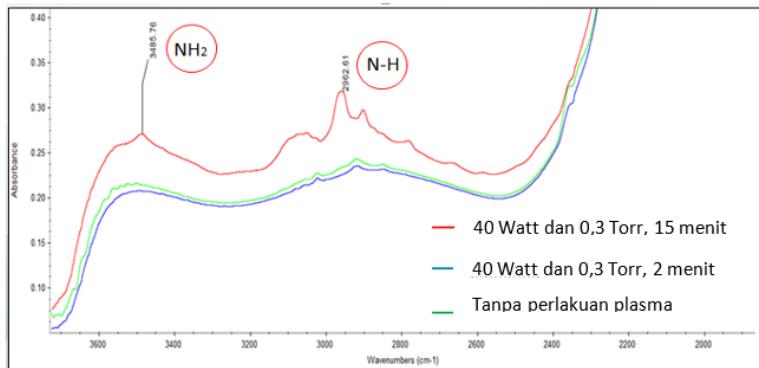
Gambar 2. 7 Gugus fungsi $C \equiv N$ (nitril) yang muncul setelah diberi perlakuan plasma nitrogen (Masruroh & Dionysius, 2018)

Berdasarkan gambar 2.7 menunjukkan bahwa semakin kecil nilai berat molekul yang digunakan maka intensitas gugus fungsi nitril yang terbentuk semakin kecil. Hal tersebut disebabkan karena pemutusan rantai polistirena yang paling kecil adalah berat molekul 35.000 g/mol. Pemutusan rantai polistirena menyebabkan rantai terluar polimer berikatan dengan ion nitrogen untuk mencapai keadaan stabil. Semakin sedikit ion nitrogen yang berhasil diikat maka intensitas absorbsi dari gugus nitril akan mengalami penurunan (Masruroh & Dionysius, 2018).

Tabel 2.5 yang menunjukkan berbedaan nilai sudut kontak lapisan polistirena dengan perlakuan maupun tanpa perlakuan plasma nitrogen. Sudut kontak lapisan polistirena meningkat karena penambahan berat molekul. Setelah perlakuan plasma nitrogen terjadi penurunan sudut kontak. Hal ini disebabkan karena perubahan morfologi permukaan dan struktur kimia permukaan polistirena sesuai pada gambar 2.2. Ketika lapisan polistirena diatas kaca berinteraksi dengan spesies plasma nitrogen memungkinkan terbentuk gugus fungsional bersifat polar (NH_2 dan N-H) seperti pada gambar 2.8

Tabel 2. 5 Perbedaan sudut kontak masing-masing berat molekul polistirena sebelum dan sesudah perlakuan plasma

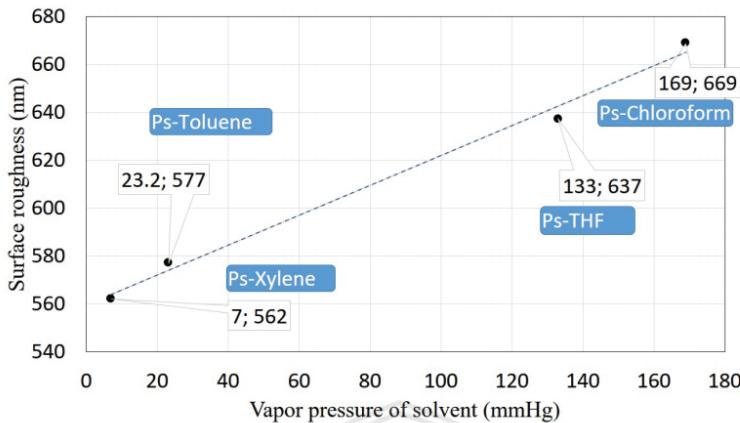
Berat molekul (g/mol)	Sudut kontak (°)		Selisih
	Tanpa plasma	Setelah plasma	
35.000	82,639	42,808	39,831
192.000	84,122	46,966	37,156
280.000	85,835	52,535	33,301



Gambar 2. 8 Gugus fungsional bersifat polar (NH₂ dan N-H) pada lapisan polistirena (Wibowo, et al., 2018)

2.4 Pengaruh Pelarut terhadap Lapisan Polistirena

Masing-masing pelarut memiliki tekanan uap berbeda yang mempengaruhi nilai kekasaran dan sudut kontak permukaan. Berdasarkan gambar 2.4 menunjukkan bahwa pelarut toluene, xilen, THF, dan kloroform yang memiliki tekanan uap yang berbeda mempunyai nilai kekasaran dan sudut kontak yang berbeda pula. Pelarut xilen digunakan dalam penelitian ini karena memiliki tekanan uap (6,72 mmHg) yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pelarut yang lain. Larutan dengan energi uap yang lebih rendah akan menguap lebih lama sehingga menyebabkan lapisan tipis yang terbentuk dengan proses *spin coating* lebih rata, homogen dan tipis akibat gaya sentrifugal ke arah luar dari pusat putaran (Walsh C.B, 2003). Berdasarkan gambar 2.4 larutan dengan energi uap paling rendah menunjukkan nilai kekasaran yang lebih kecil dibandingkan dengan jenis pelarut yang lain. Nilai kekasaran lapisan polistirena mempengaruhi immobilisasi sensor QCM. Sehingga perlu pemilihan pelarut yang sesuai dengan kebutuhan sensor .



Gambar 2. 9 Pengaruh tekanan uap pelarut terhadap kekasaran permukaan (Masruroh & Dionysius, 2018)

2.5 Karakterisasi Spektrum Emisi Plasma

Plasma yang dihasilkan dalam chamber plasma dapat diukur spektrum emisi plasma yang ditampilkan dalam grafik nilai intensitas dan panjang gelombang dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES) (Zlatko, 2012). OES yang digunakan pada penelitian ini yaitu spectrometer Aurora 4000 yang hanya mampu mengamati spektrum pada daerah UV – NIR (*Near Infrared*) (Changchun, 2012). Karakterisasi spektrum emisi plasma dengan OES yang lebih sederhana daripada *probe Langmuir*, sehingga hasil dari intensitas dan panjang gelombang yang didapatkan dari plasma yang diamati perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan metode rasio, persamaan saha, dan pesamaan saha boltzman untuk menentukan temperatur elektron dan densitas elektron (Harry, 2010).

2.6 Temperatur dan Densitas Elektron

Parameter internal plasma adalah temperatur dan densitas elektron. Parameter internal plasma dapat dipengaruhi oleh parameter eksternal plasma yaitu tegangan listrik AC, tegangan listrik DC, tekanan, dan laju alir gas (Nur, 2011). Ketika diberikan parameter eksternal berupa tegangan listrik AC maka terjadi spesies plasma yang memancarkan

foton. Spesies plasma yang berpindah tingkat energi menyebabkan foton diemisikan. Foton yang diemisikan menandakan bahwa terjadi perpindahan spesies plasma dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah. Temperatur dan densitas elektron dapat ditentukan berdasarkan panjang gelombang transisi yang didapatkan dari hasil eksperimen dibandingkan dengan panjang gelombang transisi *database NIST* (Ukhtary, 2013).

Metode plot Boltzman dapat menentukan temperatur elektron namun hanya pada kondisi plasma berada pada keadaan kesetimbangan termodinamika Persamaan untuk menghitung plot Boltzman dapat dituliskan sesuai dengan persamaan 2.2.3:

$$\left(\frac{I_{kl} \lambda_{kl}}{hc \lambda_{kl} g_l} \right) = \frac{n}{U(T)} e^{-\left(\frac{El}{kT}\right)} \quad (2.2.1)$$

$$\ln \left(\frac{I_{kl} \lambda_{kl}}{hc \lambda_{kl} g_l} \right) = \ln \frac{n}{U(T)} e^{-\left(\frac{El}{kT}\right)} \quad (2.2.2)$$

$$\ln \left(\frac{I_{kl} \lambda_{kl}}{hc \lambda_{kl} g_l} \right) = - \frac{1}{kT} (El) + \left(\frac{n}{U(T)} \right) \quad (2.2.3)$$

Penentuan plot Boltzman dilakukan untuk meninjau parameter intensitas emisi spektrum (I), panjang gelombang (λ), bobot statistic (g), probabilitas transisi (A), energi konstanta boltzman (E_l) dan temperatur elektron (T_e). Persamaan 2.2.1 dilakukan logaritma natural (\ln) seperti pada persamaan 2.2.2. Selanjutnya didapatkan persamaan 2.2.3 yang digunakan untuk menentukan plot Boltzman. Grafik boltzman pada persamaan 2.2.3 disamakan dengan persamaan linier $y = mx + c$. Dimana variabel y merupakan $\ln \left(\frac{I_{kl} \lambda_{kl}}{hc \lambda_{kl} g_l} \right)$ dan variabel x merupakan energi kosntanta bolzman (E_l). Berdasarkan variabel tersebut dapat dicari nilai gradien (m) dengan melakukan pembagian perubahan variabel y dengan perubahan variabel sumbu x (Zhang, et al., 2011). Sehingga dapat dituliskan persamaan 2.3.1

$$y = -\frac{x}{kT} + C \quad (2.3.1)$$

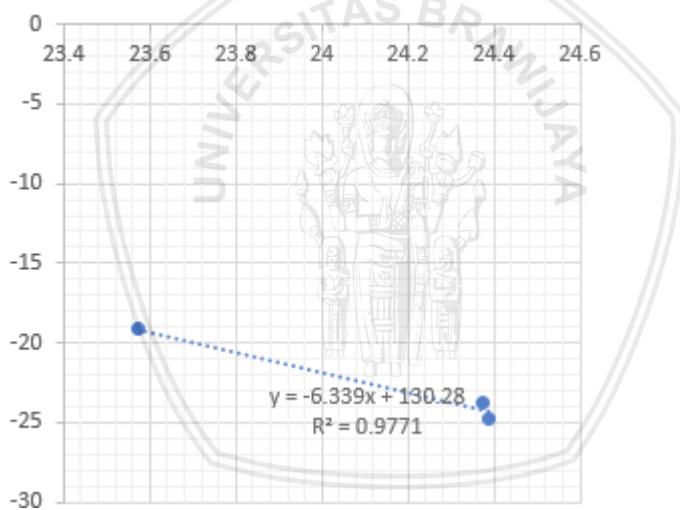
Dimana C merupakan konstanta. Konstanta pada persamaan (2.3.1) nilainya tidak berubah atau konstan. Sehingga bila nilai konstanta (C) dianggap nol, maka didapatkan gradien seperti persamaan (2.3.2)

$$y = -\frac{x}{kT} \quad (2.3.2)$$

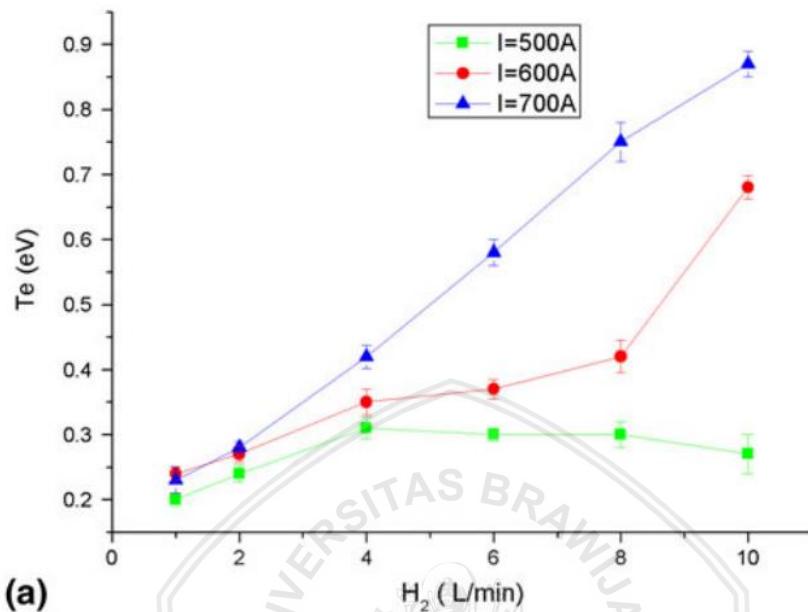
$$\frac{y}{x} = -\frac{1}{kT} \quad (2.3.3)$$

$$m = -\frac{1}{kT} \quad (2.3.4)$$

Gradien (m) atau nilai kemiringan garis grafik dapat digunakan untuk menentukan temperatur elektron seperti pada gambar 2.10. Gradien pada gambar 2.10 adalah -6.339. Selanjutnya nilai gradien tersebut dijadikan pembagi dengan -1.



Gambar 2. 10 Gradien (m) dari plot Boltzman



Gambar 2. 11 Pengaruh intensitas arus dengan temperatur elektron eksitasi (Zhang, et al., 2011)

Berdasarkan gambar 2.11 temperatur elektron plasma Hidrogen semakin meningkat bila arus listrik AC dinaikkan. Nilai arus listrik AC sebanding dengan tegangan yang dihasilkan. Tegangan listrik AC yang semakin meningkat memberikan medan listrik yang semakin besar. Medan listrik tersebut memberikan gaya dorong terhadap elektron, sehingga elektron akan bergerak lebih cepat bila tegangan yang diberikan semakin besar pula (Zhang, et al., 2011). Hal tersebut menyebabkan arus yang dihasilkan semakin besar. Data pada gambar 2.11 dapat dijadikan referensi untuk membahas pengaruh tegangan RF. Temperatur elektron yang didapatkan dalam penelitian ini dalam satuan elektron volt. Satu elektron volt setara dengan 11604,525 Kelvin. Berdasarkan temperturnya plasma dikelompokkan menjadi plasma dingin, plasma termik, dan plasma panas yang ditunjukkan pada tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Jenis plasma berdasarkan nilai temperatur elektron
(Nehra, et al., 2008)

Jenis plasma	Keadaan	Temperatur elektron
Plasma dingin (<i>non - thermal plasma</i>)	Ketidaksetimbangan termal	300 - 10^3 K
Plasma termik (<i>thermal plasma</i>)	Ketidaksetimbangan termal	$\leq 2 \times 10^4$ K
Plasma panas (<i>high temperature plasma</i>)	Ketidaksetimbangan termal	10^6 - 10^8 K

Densitas atau kerapatan merupakan rasio massa terhadap volume yang ditempatinya. Densitas berhubungan dengan distribusi massa dalam volume yang ditempati. Kepadatan secara makro dapat ditentukan dengan mudah karena dapat dilakukan pengukuran dengan tepat. Namun dalam menentukan densitas dari partikel sub-atomik tentu berbeda dengan densitas materi makro. Pada keadaan sub-atomik seperti elektron, dapat ditentukan massa elektron namun ketika berbicara volume yang ditempati elektron, maka hanya dapat ditentukan probabilitas atau kemungkinan yang sering terjadi saja. Hal ini berdasarkan prinsip ketidakpastian Heisenberg yang tidak pasti dalam menempatkan Batasan instrinsik pada pengukuran yang akurat pada posisi dan kecepatan elektron pada saat yang bersamaan. Sehingga, densitas elektron didefinisikan sebagai ukuran probabilitas suatu elektron pada suatu volume yang berada dalam wilayah tertentu juga (Piel, 2010).

2.7 Metode Rasio

Metode rasio merupakan metode perbandingan intensitas emisi dua panjang gelombang dari plasma dengan level eksitasi yang berbeda untuk mencapai keakuratan. Batasan pada metode rasio yaitu kondisi plasma tipis (*optical thin*) dan berada pada kesetimbangan termal (LTE), maka temperatur elektron dapat ditentukan dengan membandingkan intensitas dari kedua emisi dari ionisasi yang sama. Sehingga metode rasio untuk mencari temperatur elektron dapat dituliskan pada persamaan 2.4.3.

$$I_{kl} = \frac{hcA_{kl}g_ln}{\lambda_{kl}U(T)} e^{\frac{E_l}{kT}} \quad (2.4.1)$$

$$\frac{I_k}{I_l} = \frac{\frac{hcA_k g_k n}{\lambda_k U(T)} e^{\frac{E_k}{kT}}}{\frac{hcA_l g_l n}{\lambda_l U(T)} e^{\frac{E_l}{kT}}} \quad (2.4.2)$$

$$\frac{I_k}{I_l} = \frac{g_k A_k \lambda_k}{g_l A_l \lambda_l} e^{-(\frac{E_k - E_l}{kT})} \quad (2.4.3)$$

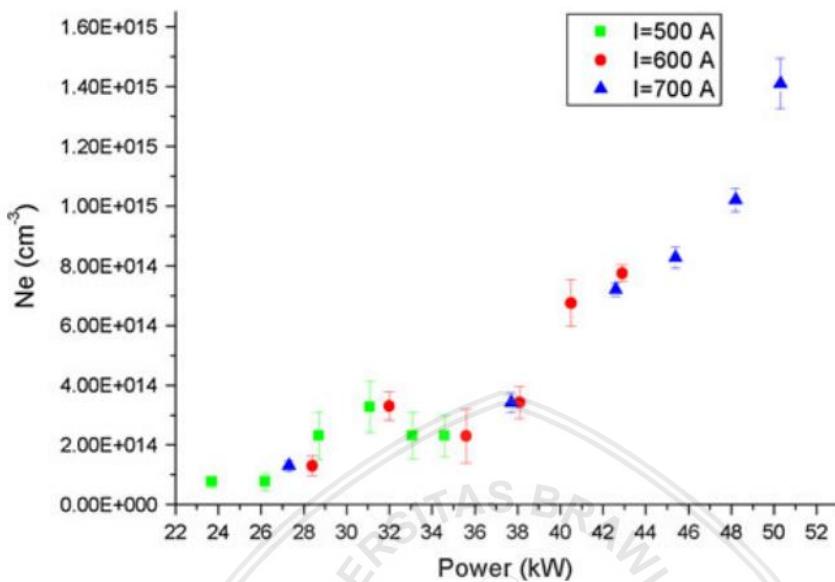
E_k merupakan transisi atom-atom dari level energi tinggi ke level energi rendah. Konstanta pada persamaan ini adalah konstanta planck (h) dan kecepatan cahaya (c). Metode rasio ditentukan dengan membandingkan intensitas emisi spektrum (I) dari level energi tinggi dengan level energi yang rendah. Persamaan 2.4.1 dilakukan perbandingan intensitas emisi spektrum (I) energi rendah dengan energi tinggi seperti persamaan 2.4.2. Sehingga metode rasio dapat dituliskan seperti persamaan 2.4.3.

2.8 Persamaan Saha-Boltzman

Penentuan densitas elektron dapat ditentukan dengan persamaan Saha-Boltzman dan temperatur elektron yang sudah diperoleh. Saha menjelaskan mengenai kesetimbangan antara ion dengan elektron pada plasma. Persamaan saha berlaku ketika terjadi keseimbangan termodinamika total dimana densitas elektron (n_e) sebanding dengan densitas ion (n_i). Persamaan saha-boltzman berlaku pada atom netral maupun ion. Persamaan saha-boltzman yaitu

$$n_e = 4.83 \times 10^{21} T^{3/2} \frac{l_0 g_+ A_+ \lambda_0}{l_+ g_0 A_0 \lambda_+} e^{-\frac{(E_{ionisasi} + E_+ - E_0)}{kT}} \quad (2.5)$$

Tanda (0) dan (+) menunjukkan spesies atom netral dan ion. T (Temperatur) yang didapatkan dari plot Boltzman dimasukkan pada persamaan 2.5. Hubungan densitas elektron (n_e) dengan daya pada plasma Hidrogen dapat dilihat pada gambar 2.12. Gambar 2.12 menunjukkan bahwa semakin besar daya AC yang diberikan pada plasma Hidrogen maka densitas elektron memiliki kecenderungan meningkat. Daya akan meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan dan arus listrik. Sehingga data pada gambar 2.12 dapat dijadikan referensi untuk menentukan hubungan pengaruh tegangan listrik AC terhadap densitas elektron pada plasma nitrogen.



Gambar 2. 12 Hubungan densitas elektron dengan daya AC pada plasma gas Hidrogen



BAB III

METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan September 2018 sampai bulan Desember 2018. Penelitian bertempat di Laboratorium Plasma dan Laboratorium Sensor Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Brawijaya.

3.2 Peralatan dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem plasma RF-DC, Optical Emission Spectroscopy (OES) Aurora 4000, *personal computer* (PC), *spin coater*, mikro pipet, gelas ukur, cawan petri, software *spectral analysis* serta *origin Pro*, *Contact Angle Measusrement* (CAM), *ultrasonic cleaner*, oven, gelas kimia, yellow tip, cotton tip, pinset, tisu, dan *alumunium foil*.

Adapun bahan yang digunakan antara lain kaca preparat, polistireana dengan berat molekul 35.000 g/mol, 2 mL xilen, gas nitrogen, alkohol teknis, dan akuades.

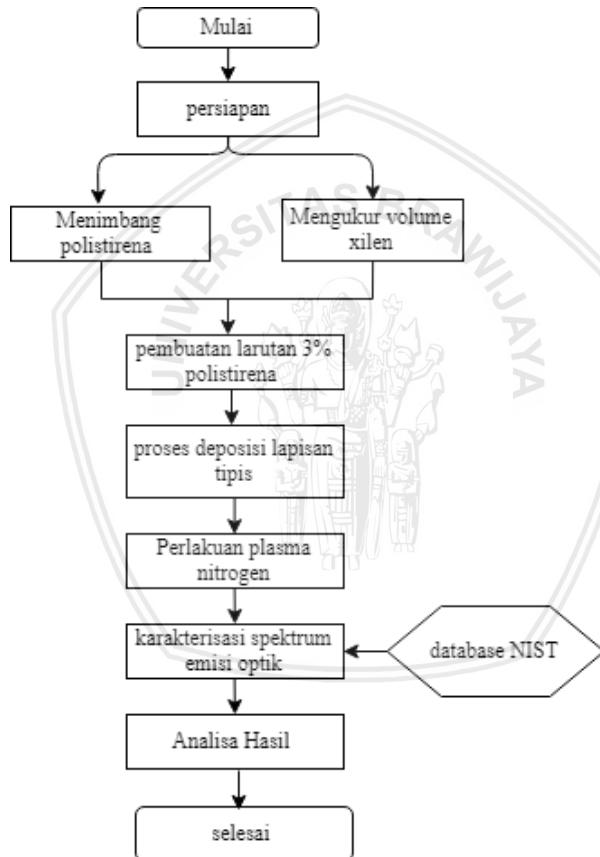
3.3 Metode Penelitian

Tahapan dalam penelitian yaitu sebagai berikut

1. Pembuatan larutan polistirena dengan pelarut xilen
2. Pelapisan (deposisi) larutan polistirena pada substrat kaca preparat dengan metode *spin coating*
3. Pengukuran nilai sudut kontak air permukaan polistirena dengan substrat kaca preparat tanpa perlakuan plasma nitrogen dan kaca preparat tanpa lapisan polistirena dengan CAM (*Contact Angle Measurement*)
4. Perlakuan plasma nitrogen terhadap lapisan polistirena pada kaca preparat dengan parameter tegangan RF 60, 70, 80, 90, dan 100 Volt, tegangan DC 0 Volt, tekanan saat pembangkit plasma 40 Pa, tekanan *base* 3 Pa, waktu perlakuan 2 menit, dan laju alir gas 40 ml/menit

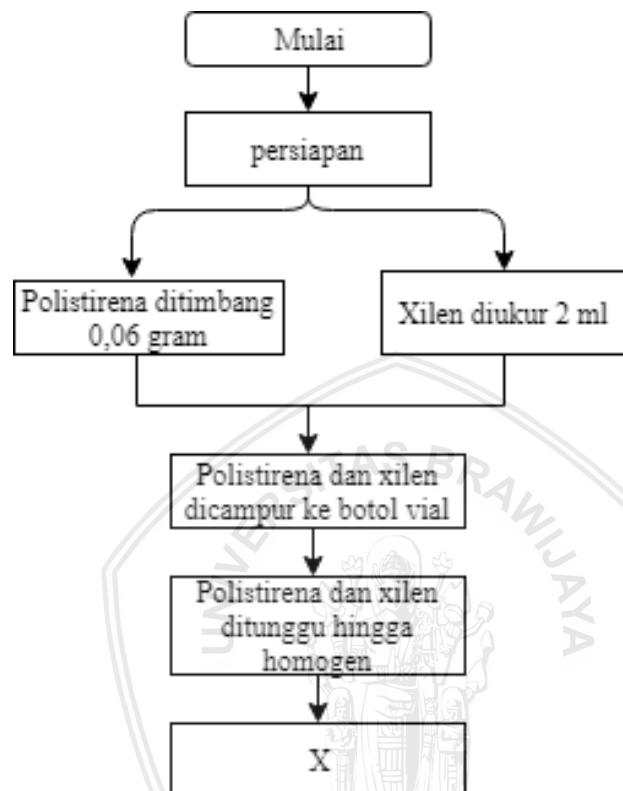
5. Pengukuran emisi optic plasma nitrogen pada parameter yang sudah ditetapkan dengan spektroskopi emisi optik
6. Penentuan spesies plasma nitrogen (temperatur dan densitas elektron) menggunakan referensi spektral NIST
7. Analisis hasil

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian

3.4.1 Pembuatan Larutan Polistirena



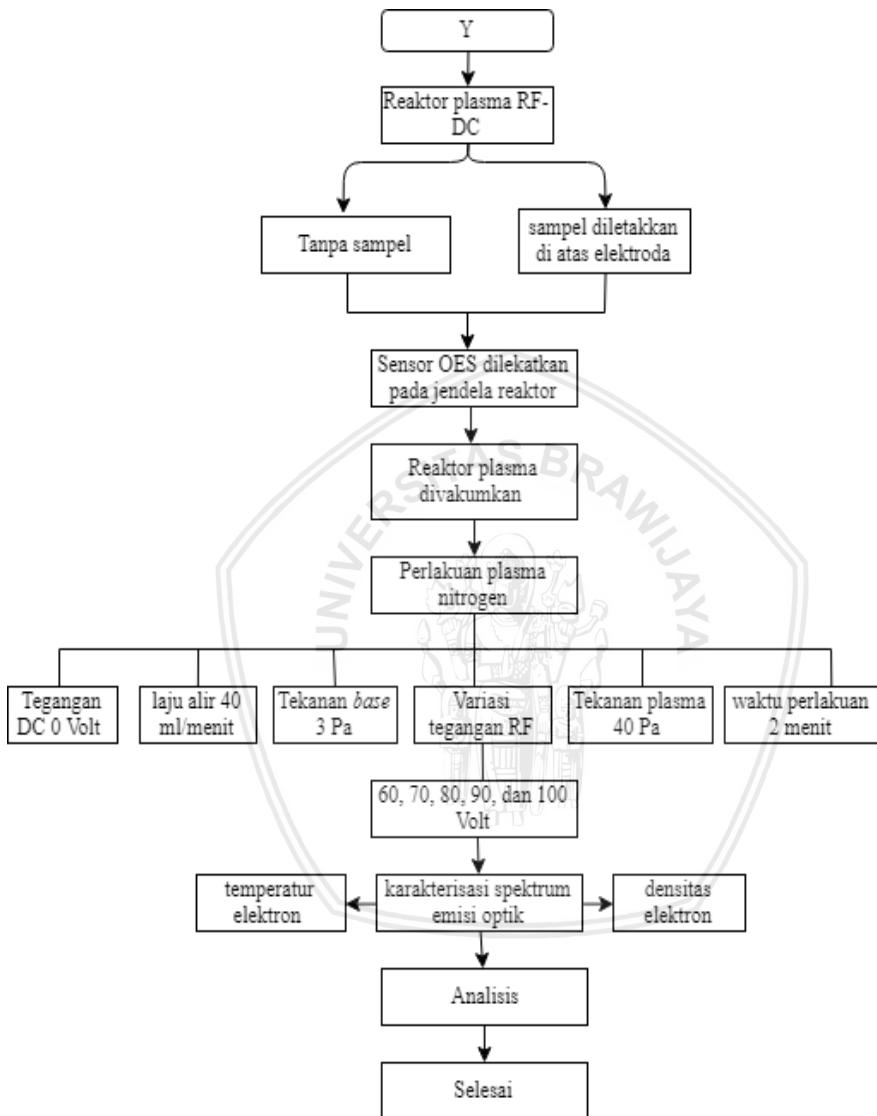
Gambar 3. 2 Diagram alir tahapan pembuatan larutan polistirena

3.4.2 Proses Deposisi Lapisan Tipis



Gambar 3. 3 Diagram alir tahapan deposisi lapisan tipis

3.4.3 Perlakuan Plasma Nitrogen



Gambar 3. 4 Diagram alir tahapan perlakuan dengan plasma nitrogen

3.5 Preparasi Sampel

3.5.1 Pemotongan dan Pembersihan Kaca

Kaca dipotong dengan menyesuaikan ukuran atau wadah sampel pada alat *spin coater*. Kaca dipotong dengan menggunakan *diamond cutting tool* dengan ukuran 2 x 2 cm. Kaca yang telah dipotong dibersihkan dengan akuades menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 180 detik. Kaca yang telah dibersihkan kemudian di oven pada suhu 100° C selama 15 menit untuk menghilangkan sisa akuades pada kaca.

3.5.2 Pembuatan Larutan Polistirena

Pembuatan larutan polistirena dapat dilihat seperti pada gambar 3.2. Pembuatan 3% larutan polistirena diawali dengan mengukur pelarut xilen sebanyak 2 ml dengan menggunakan gelas ukur. Polistirena padatan kemudian ditimbang dengan timbangan digital sebanyak 0,06 gram. Larutan polistirena 3 % dihitung sesuai dengan persamaan 3.1 sebagai berikut :

$$\text{konsentrasi polistirena (\%)} = \frac{\frac{m_t (g)}{\rho_t (ml)}}{\frac{m_t (g)}{\rho_t (ml)} + V_p (ml)} \quad (3.1)$$

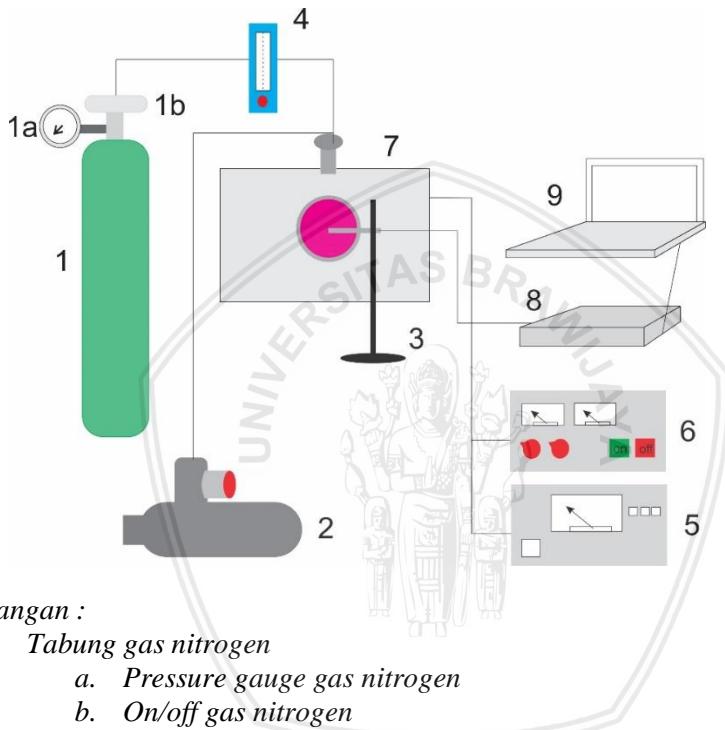
Berdasarkan persamaan 3.1 ρ_t adalah massa jenis polistirena dengan satuan **ml**, m_t adalah massa polistirena dengan satuan gram, dan V_p merupakan volume pelarut (volume xilen) dengan satuan ml. Pelarut xilen dan polistirena kemudian dijadikan satu dalam wadah kaca kecil. *Ultrasonic cleaner* digunakan selama 180 detik untuk mempercepat proses pelarutan.

3.5.3 Pembentukan Lapisan Tipis Polistirena

Pembentukan lapisan tipis polistirena dilakukan dengan menggunakan alat *spin coater* seperti pada gambar 3.3. Larutan polistirena diambil sebanyak 50 μ l dengan menggunakan mikropipet. Alat spin coater kemudian diatur dengan pengaturan $t_1=5$ detik, $t_2=60$ detik, $\omega_1=500$ rpm dan $\omega_2=3000$ rpm. Kaca diletakkan pada wadah teflon didalam spin coater. Pompa vakum kemudian dihidupkan dan alat di run, pada saat putaran 500 rpm larutan polistirena pada mikropipet diteteskan pada kaca. Setelah proses pelapisan ini selesai kaca kemudian di *annealing* menggunakan oven pada suhu 100° C selama 1 jam untuk menghilangkan pengaruh pelarut.

3.5.4 Perlakuan Plasma Nitrogen pada Lapisan Polistirena

Perlakuan plasma nitrogen pada lapisan polistirena dengan variabel tegangan listrik AC dapat dilihat pada gambar 3.4. Reaktor plasma yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sistem plasma RF-DC. Pada penelitian ini dilakukan variasi tegangan RF (*Radio Frequency*) dengan tegangan DC yaitu 0 Volt. Berikut merupakan skema sistem plasma RF seperti pada gambar 3.5:



Keterangan :

1. Tabung gas nitrogen
 - a. Pressure gauge gas nitrogen
 - b. On/off gas nitrogen
2. Rotary pump
3. Penyangga sensor Aurora 4000
4. Flowmeter
5. Pressure gauge chamber plasma
6. Sumber tegangan RF
7. Reaktor plasma
8. Optical Emission Spectroscopy (OES) Aurora 4000
9. Personal computer (PC)

Gambar 3. 5 Sistem Plasma RF (*Radio Frequency*)

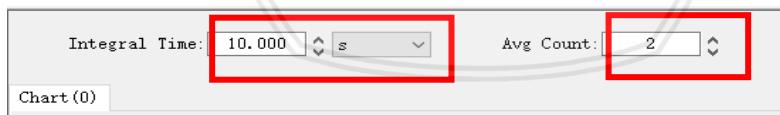
Berikut merupakan tahapan perlakuan plasma nitrogen pada lapisan polistirena pada kaca :

1. Reaktor plasma RF-DC dibersihkan dengan menggunakan tisu yang telah beri alkohol teknis. Hal tersebut bertujuan agar chamber plasma bersih dari partikel lain.
2. Sistem plasma dihubungkan pada reaktor plasma
3. Tegangan listrik AC pada trafo *step down* dicek dengan multimeter. Tegangan keluaran trafo diatur pada tegangan 110 volt AC. Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan dengan kondisi tegangan reaktor plasma RF-DC
4. Reaktor plasma ditutup rapat dan sensor OES dipasang pada jendela reaktor plasma dengan penyangga Selanjutnya dilakukan pemvakuman chamber sampai pada tekanan dasar (*P base*) 4 Pa dengan memutar *rotary pump*. Tekanan dasar yang digunakan bertujuan untuk membuang partikel lain yang berada dalam *chamber* plasma.
5. Gas nitrogen dialirkan dengan memutar *pressure gauge* tabung gas dan *flow meter* pada laju alir 40 ml/menit
6. Rotary pump ditutup bersamaan dengan pengubahan laju alir sehingga tekanan pada *pressure gauge* perlahan naik.
7. Setelah tekanan pada *pressure gauge* menunjukkan nilai 40 Pa. Sumber tegangan RF dinyalakan dengan variasi 60, 70, 80, 90, dan 100 Volt dan tegangan listrik DC yaitu 0 Volt. Pada penelitian ini dibuat variasi tegangan mulai dari 60 sampai 100 V dengan interval tegangan 10 Volt karena berdasarkan data *trial* pada tegangan RF 60 Volt nilai intensitas spektrum emisi optik sudah muncul, sehingga dapat dilakukan karakterisasi intensitas plasma yang dihasilkan.
8. Waktu perlakuan plasma nitrogen yaitu selama 2 menit. Selama proses berlangsung dilakukan karakterisasi optic yaitu sepktrum emisi plasma nitrogen dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES) Aurora 4000. Sensor pada sistem Aurora 4000 hanya dapat melihat intensitas dan panjang gelombang sinar UV – NIR.

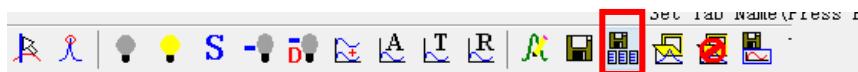
9. Setelah perlakuan plasma nitrogen terhadap lapisan polistirena pada kaca dilakukan. Sumber tegangan RF dimatikan. Aliran gas nitrogen dihentikan dengan memutar pressure gauge tabung nitrogen, flowmeter, dan rotary pump ditutup.
10. Lubang venn dibuka sampai tekanan pada pressure gauge reaktor plasma menunjukkan angka 0 MPa. Reaktor plasma dapat dibuka dan diambil sampel. Terakhir reaktor plasma dilakukan pemvakuman lagi. Penggunaan reaktor plasma dilakukan sebanyak 4 kali perlakuan, kemudian reaktor plasma didinginkan dengan kipas selama 30 menit untuk menghindari overheating pada pompa vakum.

3.6 Penentuan Spesies Plasma Nitrogen

Optical Emission Spectroscopy (OES) digunakan untuk menentukan spesies plasma berdasarkan spektrum emisi optik plasma. Hasil dari pengamatan tersebut ditampilkan dengan grafik berupa intensitas emisi spesies sebagai sumbu y dan panjang gelombang sebagai sumbu x. Setelah sensor Aurora 4000 ditempelkan pada jendela reaktor plasma, dilakukan pengambilan data dengan software *Spectral Analysis*. *Integral time* software *Spectral Analysis* diatur pada 10 sekon dan *average count* 2 seperti pada gambar 3.6. Setiap kali pengubahan baik *integral time* maupun *average count* perlu ditekan “enter” untuk memastikan bahwa pengubahan telah dilakukan. Kemudian dilakukan klik pada *save continuous data* seperti pada gambar 3.7, perintah tersebut untuk melakukan penyimpanan data spektrum emisi optic plasma secara berkelanjutan.

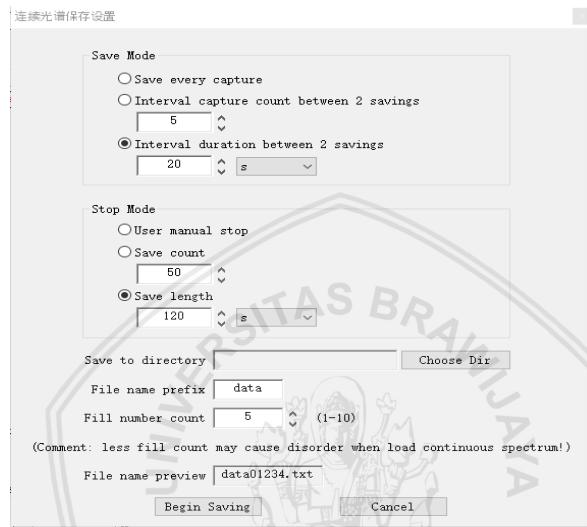


Gambar 3. 6 Pengaturan *integral time* dan *average count* pada software *Spectral Analysis*

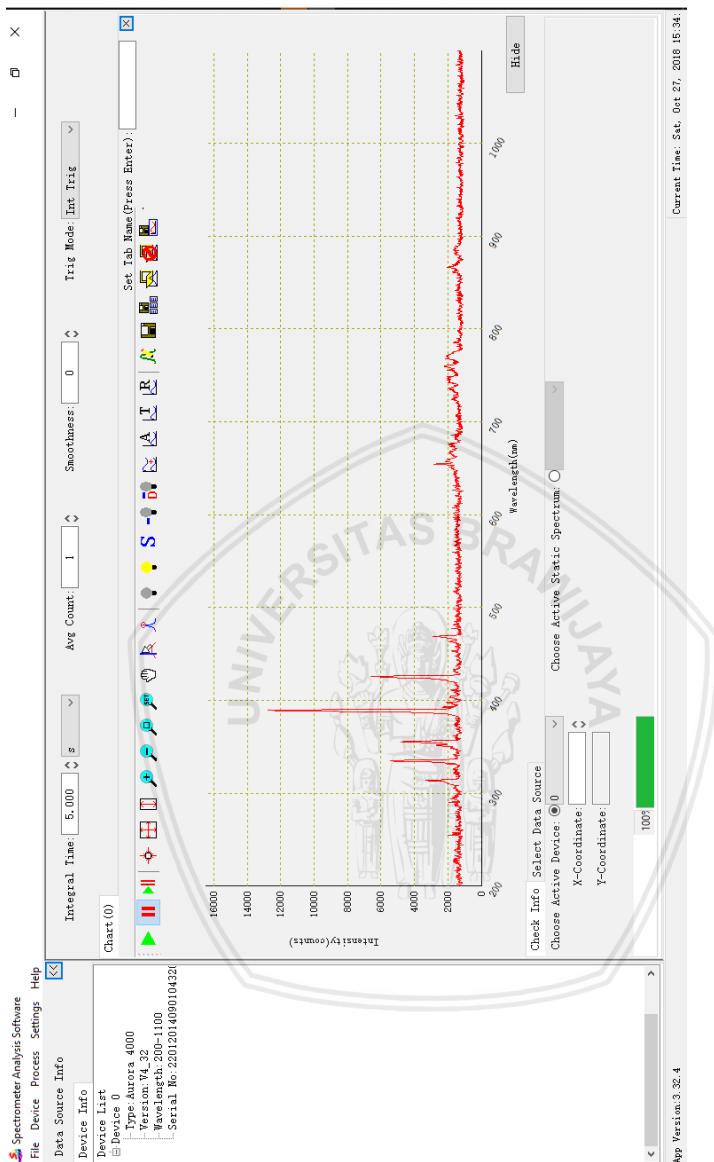


Gambar 3. 7 Menu *save continuous data*

Selanjutnya *interval duration between saving* diatur 20 detik dan *save length* 120 detik seperti pada gambar 3.8. *Save length* merupakan lama waktu penyimpanan, karena perlakuan plasma nitrogen adalah 2 menit atau 120 detik, maka *save length* diatur 120 sekon. Sedangkan *interval durtation between 2 saving* merupakan interval waktu penyimpanan setiap 2 kali simpan.

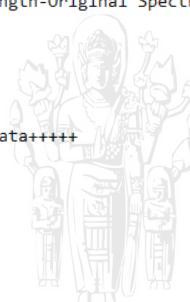


Gambar 3. 8 Pengaturan waktu pengambilan data OES



Gambar 3. 9 Tampilan data intensitas dan panjang gelombang spektrum emisi plasma pada software *Spectral Analysis*

Setiap kali pengambilan data spektrum emisi plasma dengan 1 kali perlakuan plasma nitrogen didapatkan 5 data dalam bentuk file ekstensi txt. Hasil spektrum emisi plasma dapat dilihat pada gambar 3.9 dalam bentuk grafik intesitas dan panjang gelombang (nm) Data dalam bentuk txt pada hasil deteksi OES dapat dilihat pada gambar 3.10. Data dalam bentuk file txt dicopy ke microsoft excel.seperti pada gambar 3.11



```
TEGANGAN- 60 V-00 - Notepad
File Edit Format View Help
Spectrometer Data
EN
-----
Saving Time:Thu, Dec 06, 2018 02:37:11
Device Name:Aurora 4000
Version Info:V4_32
Serial Number:220120140901043202001100
Integral Time(aes):1000000
Avg Count:2
Smoothness:0
Data Type:(0 0)Wavelength-Original Spectreum
X-Axis Unit:nm
Y-Axis Unit:counts
Pixel Count:3481
Reserve0:250
Other Description:
++++Begin Spectral Data++++
200.252 1539.500
200.519 1411.500
200.786 1384.000
201.053 1407.000
201.320 1490.500
201.588 1530.500
201.855 1442.000
```

Gambar 3. 10 Data hasil pengukuran OES dalam bentuk txt

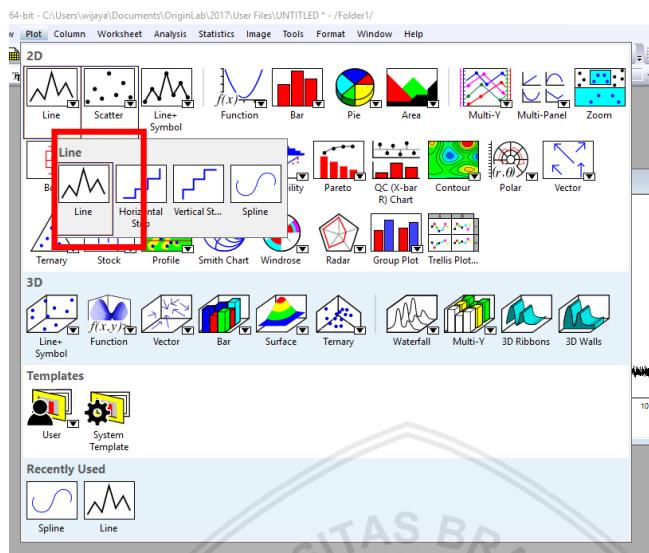
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	TEGANGAN (DATA KE 3)									
3	60	70	80	90	100					
4	200.252	1546	200.252	1546	200.252	1546	200.252	1546	200.252	1546
5	200.519	1415.5	200.519	1415.5	200.519	1415.5	200.519	1415.5	200.519	1415.5
6	200.786	1373.5	200.786	1373.5	200.786	1373.5	200.786	1373.5	200.786	1373.5
7	201.053	1393	201.053	1393	201.053	1393	201.053	1393	201.053	1393
8	201.32	1486.5	201.32	1486.5	201.32	1486.5	201.32	1486.5	201.32	1486.5
9	201.588	1530	201.588	1530	201.588	1530	201.588	1530	201.588	1530
10	201.855	1442	201.855	1442	201.855	1442	201.855	1442	201.855	1442
11	202.122	1712	202.122	1712	202.122	1712	202.122	1712	202.122	1712
12	202.389	1778	202.389	1778	202.389	1778	202.389	1778	202.389	1778
13	202.656	1636	202.656	1636	202.656	1636	202.656	1636	202.656	1636
14	202.923	1578	202.923	1578	202.923	1578	202.923	1578	202.923	1578
15	203.19	1394	203.19	1394	203.19	1394	203.19	1394	203.19	1394
16	203.457	1344.5	203.457	1344.5	203.457	1344.5	203.457	1344.5	203.457	1344.5
17	203.724	1348	203.724	1348	203.724	1348	203.724	1348	203.724	1348
18	203.991	1349	203.991	1349	203.991	1349	203.991	1349	203.991	1349
19	204.258	1476	204.258	1476	204.258	1476	204.258	1476	204.258	1476
20	204.525	1588.5	204.525	1588.5	204.525	1588.5	204.525	1588.5	204.525	1588.5
21	204.792	1612	204.792	1612	204.792	1612	204.792	1612	204.792	1612
22	205.059	1589	205.059	1589	205.059	1589	205.059	1589	205.059	1589
23	205.326	1509.5	205.326	1509.5	205.326	1509.5	205.326	1509.5	205.326	1509.5
24	205.593	1478.5	205.593	1478.5	205.593	1478.5	205.593	1478.5	205.593	1478.5
25	205.86	1496	205.86	1496	205.86	1496	205.86	1496	205.86	1496

Gambar 3. 11 Data OES di Microsoft excel

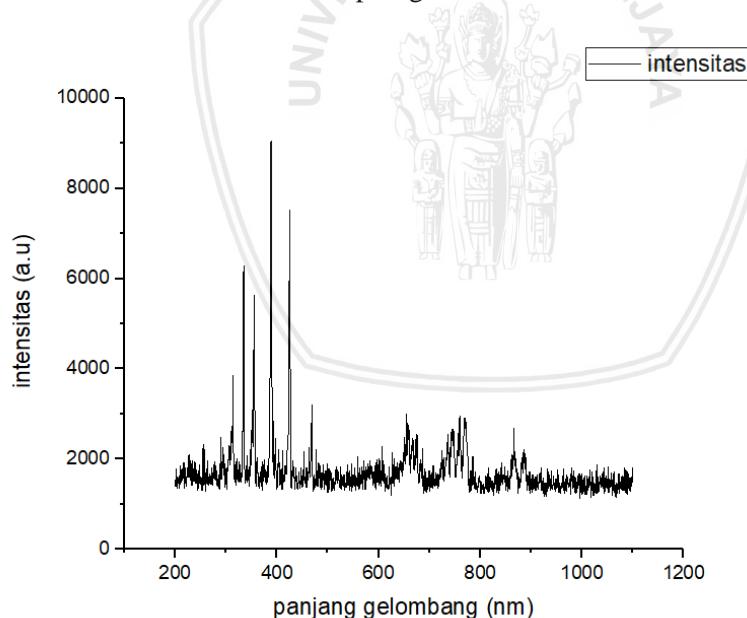
Selanjutnya data OES di excel dimasukkan ke *software OriginPro* 2017 64-bit dengan sumbu x panjang gelombang (nm) dan sumbu y intensitas (a.u) seperti pada gambar 3.12. Data OES selanjutnya diseleksi semua dan diplot dengan menu plot line seperti gambar 3.13. Hasil plot dari software *OriginPro* 2017 64-bit ditunjukkan pada gambar 3.14. Hasil plot data OES kemudian dicari puncak-puncak spektrum emisi plasma dengan menu *quick peaks* seperti pada gambar 3.15. Menu quick peaks diatur dengan batas panjang gelombang minimum dan maksimum yaitu 200 nm sampai 1200 nm, seperti pada gambar 3.16. Setelah teridentifikasi puncak-puncak emisi spektrum plasma seperti pada gambar 3.17.

Book1 *	
	A(X)
Long Name	panjang gelombang
Units	nm
Comments	
F(x)=	
1	200.252
2	200.519
3	200.786
4	201.053
5	201.32
6	201.588
7	201.855
8	202.122
9	202.389
10	202.656
11	202.923
12	203.19
13	203.457
14	203.724
15	203.991
16	204.258
17	204.525
18	204.792
19	205.059
20	205.326

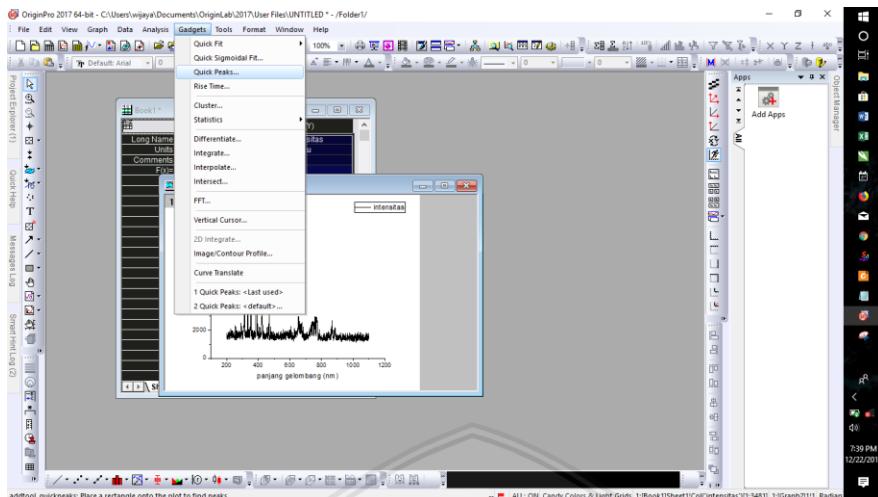
Gambar 3. 12 Penginputan data hasil OES ke *OriginPro*



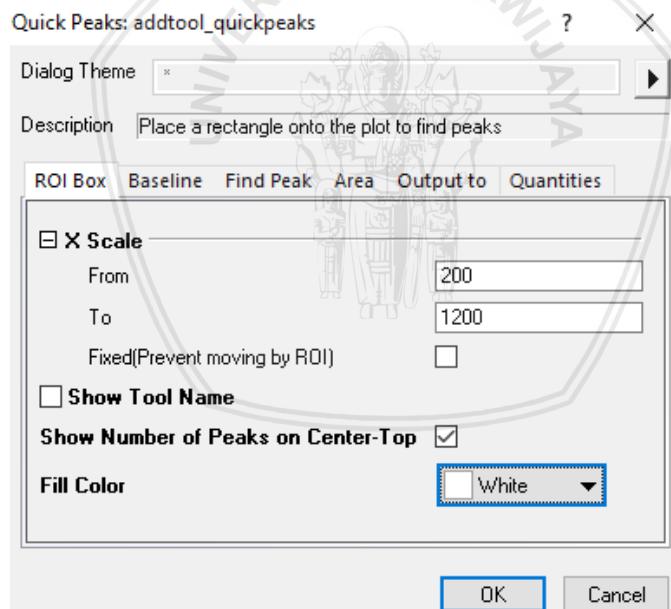
Gambar 3. 13 Menu plot grafik dari data hasil OES



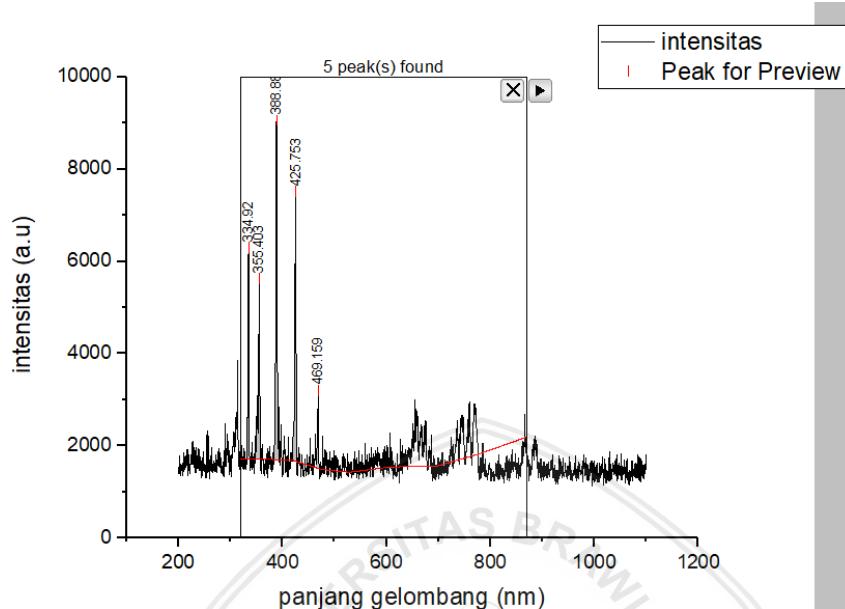
Gambar 3. 14 Hasil plot data hasil OES dengan grafik intensitas dan panjang gelombang



Gambar 3. 15 Menu *quick peaks* pada OriginPro 2017 64 bit

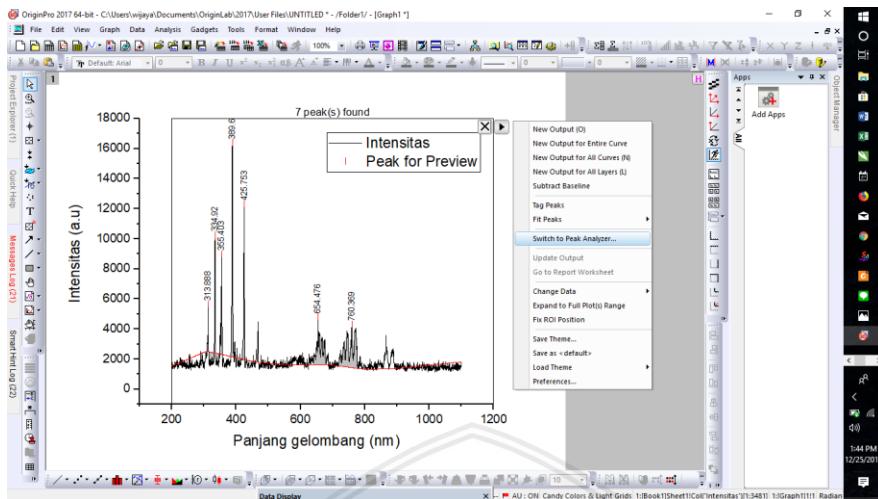


Gambar 3. 16 Pengaturan menu *quick peaks* sebagai pencari puncak spektrum

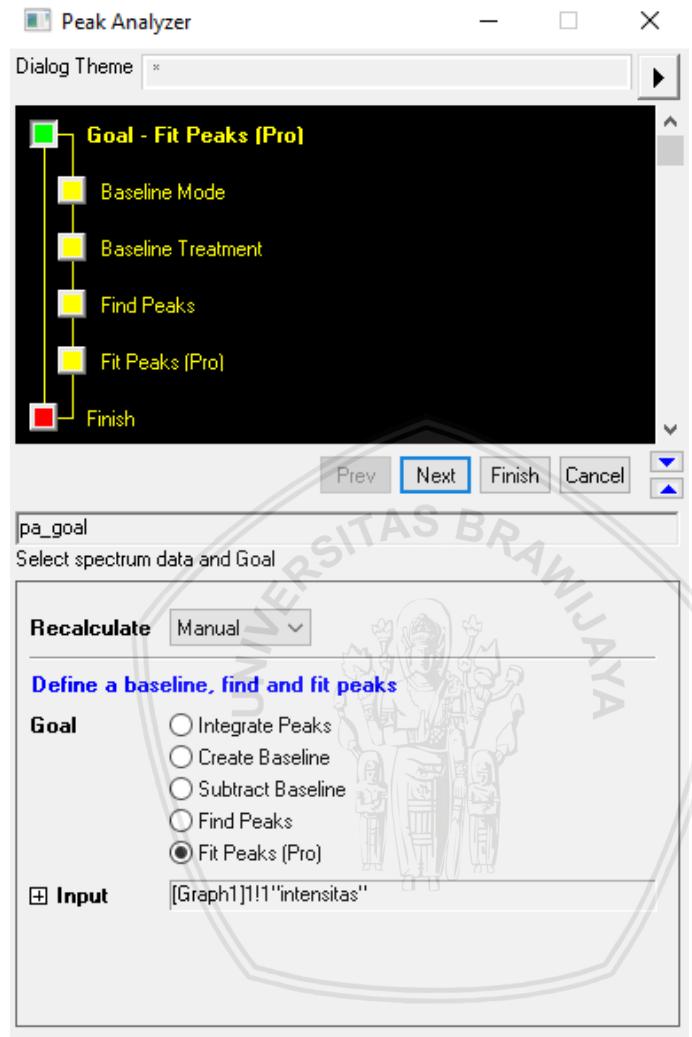


Gambar 3. 17 Hasil pencarian puncak spektrum emisi optic dengan menu *quick peaks*

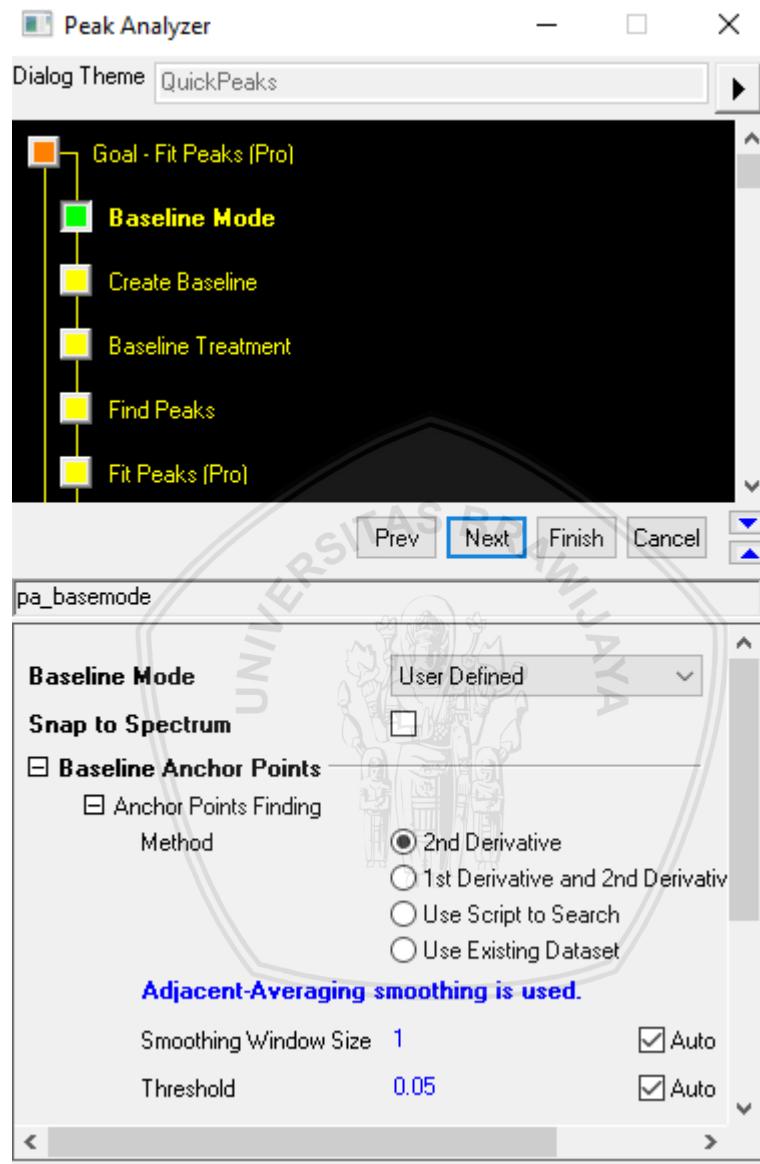
Kemudian masing-masing puncak diidentifikasi dengan mengklik *switch peak analyzer* seperti pada gambar 3.18 dengan tujuan agar intensitas dan panjang gelombang spektrum emisi plasma dapat ditampilkan secara kuantitatif. Pengaturan selanjutnya dilakukan dengan melakukan pengaturan pada jendela *baseline* dan *fitting*. Tahapan pertama dilakukan pemilihan *Fit Peaks (Pro)* yang ditunjukkan pada gambar 3.19, bertujuan untuk mencari nilai secara kuantitatif pada masing -masing puncak spektrum emisi. Selanjutnya, dilakukan pengaturan pada jendela *find peaks* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.20 dengan cara mencentang *2nd Derivative, auto* pada *smoothing windows size*, dan *auto* pada *threshold*. Klik *next* maka akan muncul jendela pengaturan *baseline* mode seperti pada gambar 3.21, dilakukan pemilihan *fitting pro* pada menu *connect by*. Selanjutnya klik *next* sehingga muncul jendela pengaturan *find peaks* seperti pada gambar 3.22. Klik *finish* maka muncul hasil pengolahan fitting data seperti pada gambar 3.23



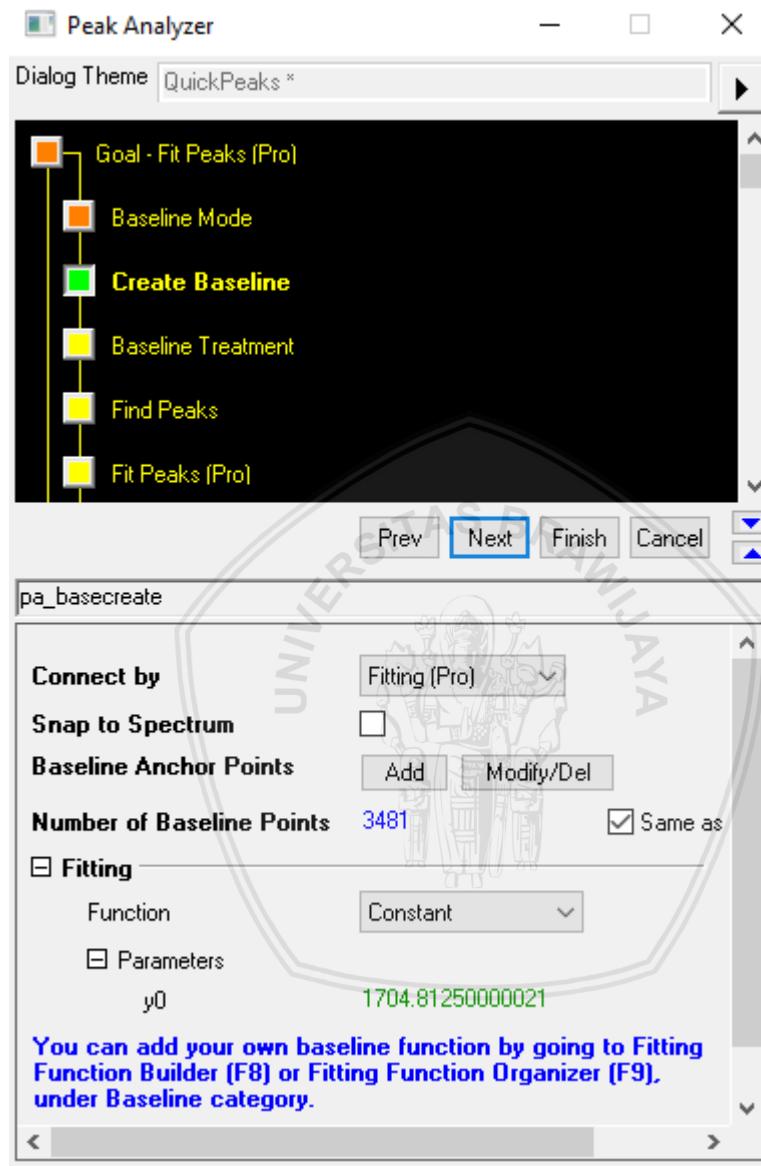
Gambar 3. 18 Menu peak analyzer



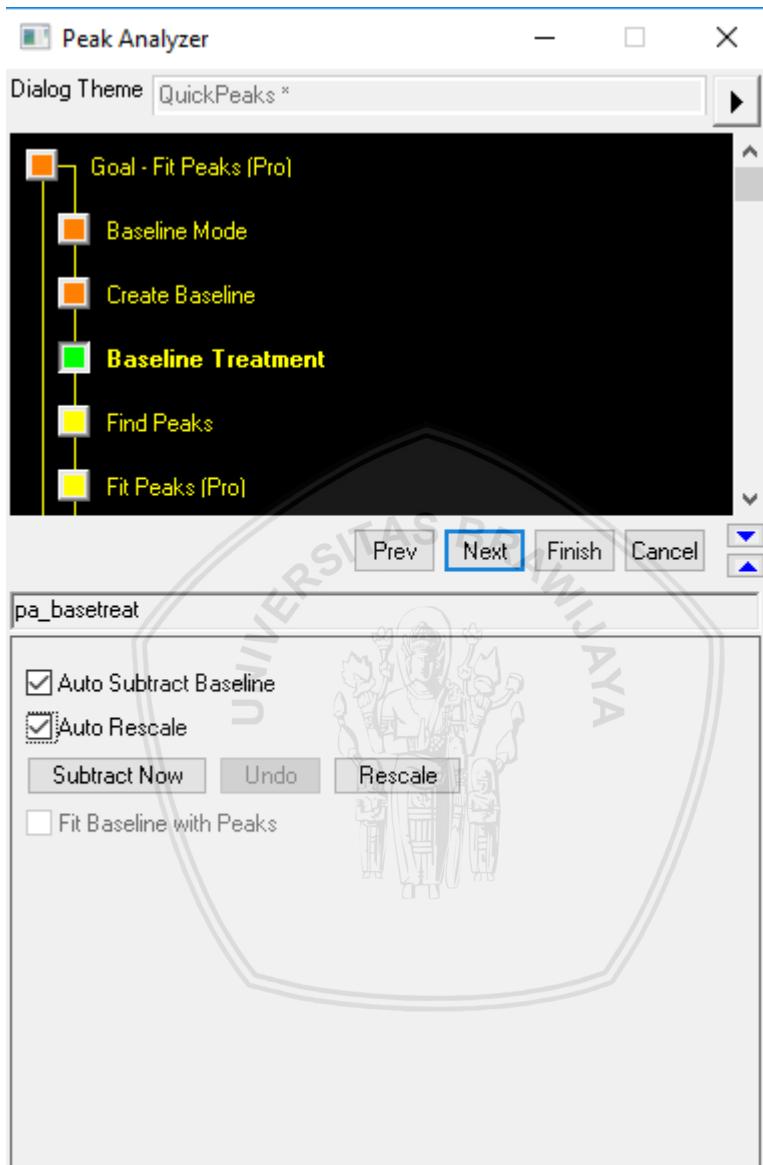
Gambar 3. 19 Pemilihan fit peaks (pro)



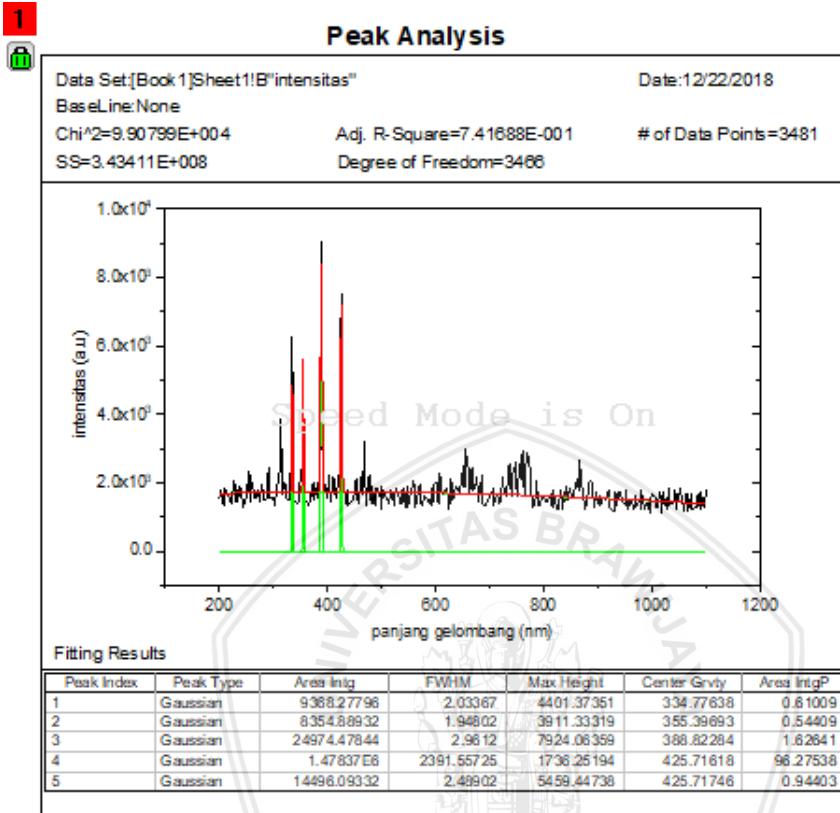
Gambar 3. 20 Jendela pengaturan *Baseline Mode*



Gambar 3. 21 Pemilihan fitting pro



Gambar 3. 22 Jendela pengaturan *find peaks*



Gambar 3. 23 Hasil fitting puncak -puncak spektrum emisi plasma

Data hasil pengolahan data OriginPro berupa panjang gelombang (nm) dan beberapa intensitas puncak dapat digunakan untuk menentukan spesies dari plasma. Data hasil eksperimen dibandingkan dengan pangkalan data *National Institute of Standart and Technology* (NIST) yang merupakan *Atomik Spectral Database* yang diakses pada link (https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html).

Pada NIST Atomik Spectra Database Lines Form ditentukan jenis spektrum yang digunakan berdasarkan jenis gas plasma yang digunakan sesuai pada gambar 3.24. Selain itu ditentukan batasan panjang gelombang sesuai dengan instrument pengukuran spektrum emisi optic plasma Aurora 4000 yang berada pada jangkauan UV sampai NIR dengan panjang gelombang 200 sampai 1100 nm yang

diinput sebagai batas atas dan bawah dengan satuan panjang gelombang (*wavelength units*) yaitu nm. Selanjutnya *retrieve* data diklik untuk menunjukkan energi, transisi, dan lain -lain yang digunakan sebagai referensi untuk menentukan temperatur dan densitas elektron.

NIST Atomic Spectra Database Lines Form

Main Parameters Spectrum N
 Limits for Wavelengths Lower: 200
 Upper: 1200
 Wavelength Units: nm
 Reset input Retrieve Data

Gambar 3. 24 Pengaturan jenis spektrum dan batas panjang gelombang

Ion	Observed Wavelength Vac (nm)	Ritz Wavelength Vac (nm)	Rel. Int. (?)	A_{xi} (s ⁻¹)	Acc.	E_i (eV)	E_k (eV)
N III		330.498		5.51e+07	B	38.64467	- 42.39611
N III		330.758		6.59e+07	B	38.64776	- 42.39625
N III		330.770		1.10e+07	B	38.64776	- 42.39611
N II		331.2372		1.09e+06	B	20.646058	- 24.389122
N III		331.278		4.54e+06	B	47.02722	- 50.76982

Gambar 3. 25 Data referensi NIST pada spektrum Nitrogen

3.7 Analisis Parameter Plasma

3.7.1 Penentuan Temperatur Elektron

Metode plot Boltzman dapat digunakan untuk menentukan temperatur elektron dari plasma nitrogen. Berdasarkan hasil data eksperimen dari OES didapatkan intensitas (I) dan panjang gelombang (λ). Data tersebut kemudian dihitung dengan plot Boltzman seperti persamaan 3.2

$$\ln\left(\frac{I_{kl}\lambda_{kl}}{hc\lambda_{kl}g_l}\right) = -\frac{1}{kT}(El) + \left(\frac{n}{U(T)}\right) \quad (3.2)$$

Jika grafik OES hanya menunjukkan 2 puncak (*peaks*) spektrum emisi optik plasma, maka dapat digunakan persamaan 3.3 sebagai berikut

$$T_e = \frac{1}{k} \frac{E_1 - E_2}{\ln \frac{I_2 A_1 g_1 \lambda_2}{I_1 A_2 g_2 \lambda_1}} \quad (3.3)$$

Berdasarkan persamaan 3.3 nilai k merupakan kosntanta Boltzman, g merupakan jumlah keadaan energi, dan E₁ dan E₂ merupakan energi level atas transisi, dan A merupakan probabilitas transisi pada database NIST. Temperatur elektron dengan satuan eV dapat ditentukan dengan mengalikan temperatur elektron satuan Kelvin (K) dengan kosntanta Boltzman. Berdasarkan hasil plot Boltzman didapatkan nilai gradien (m) grafik seperti pada gambar 2.10. Nilai gradien tersebut dapat menentukan temperatur elektron dengan metode rasio sesuai pada persamaan 3.4.

$$Te = \frac{-1}{m} \quad (3.4)$$

3.7.2 Penentuan Densitas Elektron

Penentuan densitas elektron dilakukan dengan menggunakan persamaan Saha- Boltzman yang telah disubsitusi oleh nilai temperatur elektron (T_e) yang dihitung dengan plot Boltzman. Persamaan Saha-Boltzman telah dituliskan seperti persamaan (2.5) sebagai berikut

$$n_e = 4.83 \times 10^{21} T^{3/2} \frac{l_0 g_+ A_+ \lambda_0}{l_+ g_0 A_0 \lambda_+} e^{\frac{-(E_{ionisasi} + E_+ - E_0)}{kT}} \quad (3.5)$$

Penentuan densitas elektron dapat ditentukan dengan metode pelebaran stark yaitu dengan meninjau lebar suatu puncak spektral (FWHM) dengan menggunakan persamaan

$$Ne = \left(\frac{\Delta \lambda_{1/2} 10^{16}}{2\omega} \right) \text{ cm}^{-3} \quad (3.6)$$

Namun dalam menentukan densitas elektron dengan metode pelebaran stark perlu dipenuhi batas minimum nilai densitas elektron dengan menggunakan persamaan 3.7

$$Ne \geq 1.6 \times 10^{12} T^{\frac{1}{2}} (\Delta E)^3 \text{ cm}^3 \quad (3.7)$$



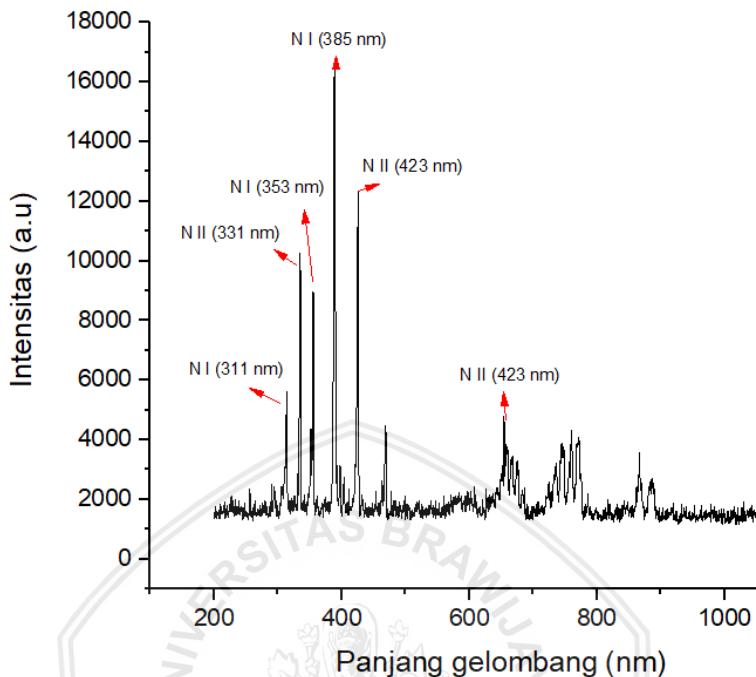
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi Tegangan listrik AC terhadap Spesies Plasma

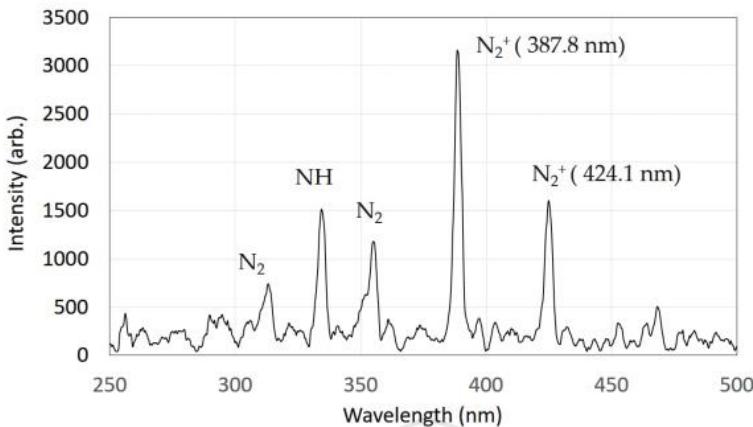
Sebelum menjelaskan hubungan pengaruh tegangan RF sebagai parameter eksternal pembentukan plasma nitrogen yang mempengaruhi parameter internal yaitu densitas dan temperatur elektron. Identifikasi terlebih dahulu perlu dilakukan untuk melihat spesies mayoritas plasma nitrogen yang berpengaruh selama proses pembentukan plasma. Identifikasi dilakukan dengan melihat puncak garis spektral, kemudian dicocokan dengan data NIST. Garis -garis spektral ditunjukkan oleh spektrum OES menunjukkan spesies plasma yang terbentuk. Spektrum OES nitrogen murni merupakan gas monoatomik sehingga spektrum yang teramati berupa garis – garis, namun karena ada pelebaran spektrum, spektral yang teramati berupa puncak-puncak. Puncak – puncak spektrum emisi plasma ini yang menunjukkan spesies plasma yang terbentuk. Spesies plasma tersebut akan berinteraksi dengan lapisan tipis polistirena sehingga akan mempengaruhi properti dari permukaan lapisan polistirena tersebut.

Berdasarkan data OES hasil eksperimen dengan data referensi NIST didapatkan spesies utama yang muncul adalah N I dan N II. Identifikasi spesies plasma nitrogen dapat dilihat pada gambar 4.1 Garis spektral N II cenderung muncul pada panjang gelombang 331 nm, 385 nm, dan 423,754 nm. Panjang gelombang 385 nm memiliki intensitas yang paling tinggi jika dibandingkan dengan panjang gelombang yang lainnya. Hal tersebut mengindikasikan jika spesies N II mendominasi ketika terbentuknya plasma nitrogen. Sedangkan spesies N I terendifikasi pada panjang gelombang 331 nm, 353 nm, dan 657 nm. Berdasarkan nilai panjang gelombang, garis spektral N I (331 dan 353 nm) dan N II (331 nm dan 385 nm) cenderung terbentuk pada spektrum wilayah energi tinggi yaitu berada pada panjang gelombang kurang dari 500 nm.



Gambar 4. 1 Hasil identifikasi spesies spektrum plasma nitrogen dengan sampel pada tegangan RF 80 Volt

Merujuk terhadap referensi penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Masruroh & Santjojo (2018) mengenai modifikasi permukaan polistirena dengan perlakuan plasma nitrogen didapatkan spesies plasma N II pada *range* panjang gelombang 331 nm dan 385 nm seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Terdapat kesamaan spesies plasma yang terbentuk pada gambar 4.1 dengan data referensi sesuai gambar 4.2 spesies N II sama – sama terbentuk. Spesies ini akan bereaksi dengan permukaan polistirena. Hasil reaksi spesies tersebut akan berpengaruh terhadap properti polistirena yang terbentuk. Berdasarkan tabel 4.2, 4.3, dan 4.4 menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan RF yang diberikan maka intensitas spesies plasma nitrogen maka akan semakin besar.



Gambar 4. 2 Spesies plasma nitrogen yang terbentuk dari modifikasi permukaan polistirena

Kemungkinan proses atomik yang terbentuk dalam plasma nitrogen adalah seperti pada tabel 2.1 dan tabel 2.2 sebagai berikut :

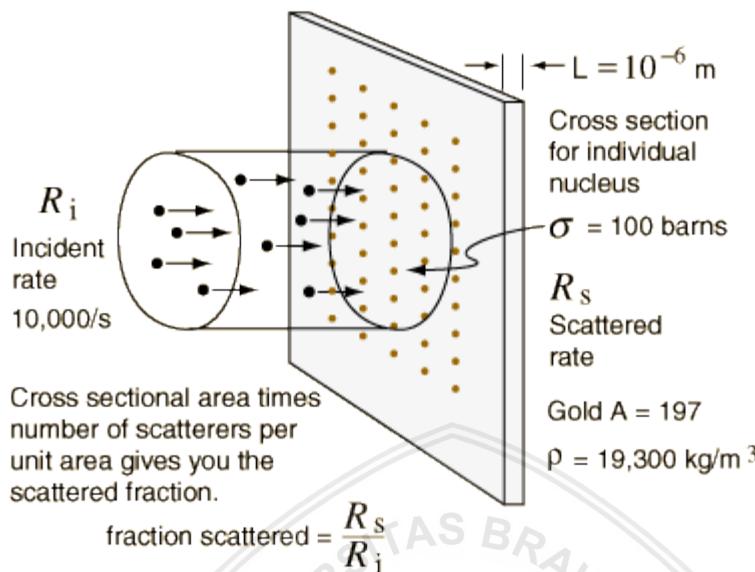
Tabel 4. 1 Proses atomik yang mungkin terjadi dalam plasma nitrogen

Reaksi	Jenis proses
$e + N \rightarrow N^+ + 2e$	Ionisasi
$e + N \rightarrow N^* + e$	Eksitasi atom N netral, N I
$e + N^* \rightarrow N + e$	Deeksitasi akibat tumbukan
$e + N^+ \rightarrow N^{++}$	Eksitasi ion N II
$N^* \rightarrow N + h\nu$	Reaksi deeksitasi
$N^+ + 2e \rightarrow e + N$	Reaksi rekombinasi

Berdasarkan tabel 4.1.terjadi beberapa reaksi yang mungkin yaitu ionisasi, eksitasi atom nitrogen netral, deeksitasi akibat tumbukan dan rekombinasi. Kemungkinan reaksi tersebut mempengaruhi intensitas emisi plasma yang terbentuk. Hal tersebut tentu akan mempengaruhi temperatur elektron dan densitas elektron yang dihasilkan pada perlakuan plasma tanpa sampel dan perlakuan plasma dengan sampel.

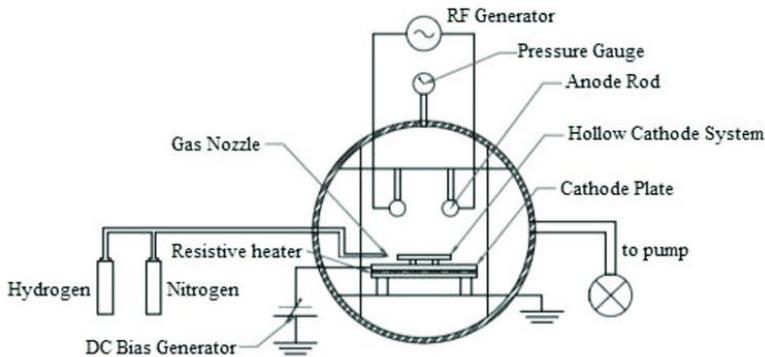
4.2 Pengaruh Variasi Tegangan Listrik AC terhadap Intensitas Plasma Nitrogen

Plasma merupakan keadaan gas yang terionisasi sehingga elektron terlepas dari orbital atom gas terluar. Plasma terdiri dari kumpulan ion, elektron, dan atom. Plasma dapat diproduksi dengan menaikkan temperatur atau energi pada gas sehingga memungkinkan terjadi reaksi tumbukan elektron dengan atom gas yang akan membuat gas tersebut melepaskan elektron-elektron pada keadaan normal mengelilingi inti. Penambahan tegangan listrik AC atau RF dari generator plasma akan mempengaruhi intensitas plasma yang dihasilkan. Tegangan RF berupa tegangan listrik AC berfungsi untuk mempertahankan kondisi plasma dan mengionisasi plasma. Medan listrik yang dihasilkan dari tegangan RF AC akan menyalurkan energi ke elektron yang disebut sebagai *ohmic heating*. Tumbukan elektron dengan atom netral merupakan media medan listrik untuk menyalurkan energinya. Selain itu bila suatu plasma diberikan tegangan RF maka arah medan listrik akan berubah – ubah dengan cepat. Energi dari medan tersebut akan diberikan kepada elektron dan ion. Misalnya energi medan listrik yang diberikan kepada ion maupun elektron sama, maka ion memiliki kecenderungan susah untuk bergerak jika dibandingkan elektron. Hal tersebut dipengaruhi karena pengaruh massa elektron dan ion. Massa elektron lebih ringan dari massa ion. Hal ini pula yang menyebabkan ion lebih lamban bergerak dibandingkan dengan elektron. Ukuran ion yang besar menyebabkan ion lebih mudah mengalami tumbukan dengan partikel lain. Hal ini dipengaruhi karena penampang lintang (*cross section*) ion yang besar. Semakin besar penampang lintang maka probabilitas ion untuk menumbuk akan semakin besar seperti pada gambar 4.1. Dalam plasma nitrogen, ion akan berpengaruh terhadap spesies yang terbentuk serta mempengaruhi rekasi ion nitrogen dengan lapisan polistirena pada kaca.



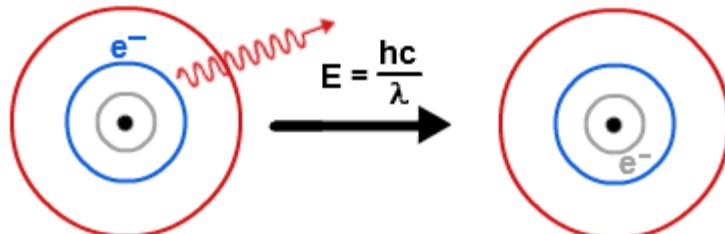
Gambar 4. 3 Hamburan ion pada penampang lintang

Sumber tegangan RF pada reaktor plasma berfrekuensi 2,03 MHz dihasilkan oleh 2 elektroda yaitu elektroda positif dan negatif seperti pada gambar 4.2. Kedua elektroda akan memberikan beda potensial yang memberikan medan listrik. Plasma nitrogen pada penelitian ini dibangkitkan dengan tekanan vakum sebesar 4 Pa. Tekanan vakum yang kecil mempengaruhi pergerakan elektron dan ion. Tekanan yang semakin rendah akan membuat pergerakan elektron dan ion akan semakin cepat, sehingga plasma akan mudah terbentuk pada kedaan tekanan vakum yang rendah. Ketika gas nitrogen dialirkan pada reaktor plasma, gas tersebut akan diionisasi akibat tegangan RF. Ionisasi tersebut menyebabkan meningkatnya nilai intensitas spektrum emisi plasma yang dihasilkan. Hubungan tegangan RF plasma nitrogen tanpa sampel dan sampel terhadap intensitas plasma nitrogen pada panjang gelombang 331 nm, 385 nm, dan 423 nm ditunjukkan pada gambar 4.5, 4.6, dan 4.7.



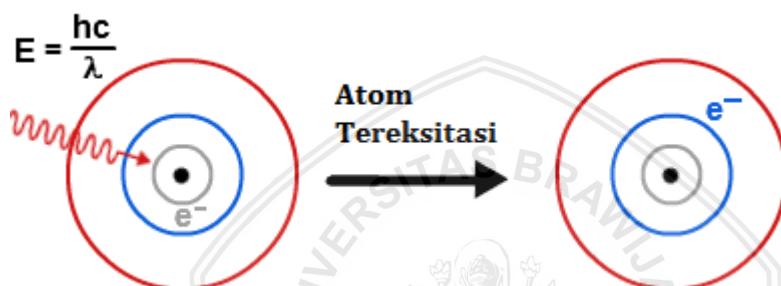
Gambar 4. 4 Sistem plasma RF -DC (Saeeda, et al., 2014)

Berdasarkan gambar 4.7., 4.8, dan 4.9 menunjukkan bahwa intensitas emisi plasma akan meningkat seiring dengan pemberian tegangan RF. Ketika tegangan RF diberikan semakin besar maka menyebabkan gaya dorong medan listrik terhadap elektron akan semakin besar pula. Akibatnya semakin banyak pula molekul atom gas nitrogen yang mengalami beberapa reaksi ionisasi , deeksitasi, eksitasi, dan rekombinasi seperti pada tabel 4.1. Reaksi tersebut berperan penting dalam pembentukan *glow discharge* plasma. Semakin banyak reaksi yang terjadi maka semakin banyak *glow discharge*, hal ini menyebabkan intensitas plasma akan meningkat sesuai dengan spesies yang terbentuk dalam plasma nitrogen. Ketika reaksi deeksitasi terjadi maka terjadi perpindahan transisi energi elektron dari level energi tinggi ke level energi rendah dengan memancarkan energi foton ($E_{foton} = h\nu$). Energi foton tersebut berperan dalam pembentukan *glow discharge* plasma nitrogen.seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.



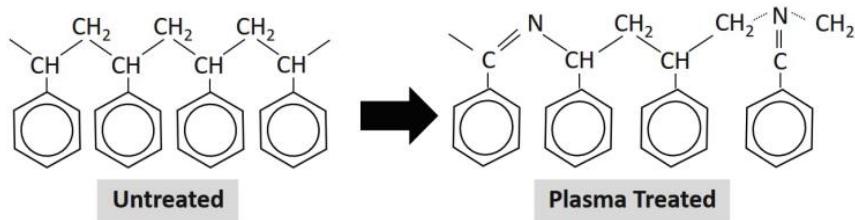
Gambar 4. 5 Proses deeksitasi

Berdasarkan tabel 4.2, 4.3, dan 4.4 menunjukkan bahwa intensitas emisi plasma nitrogen pada panjang gelombang (λ) 385 nm adalah yang paling dominan. Panjang gelombang 385 nm merupakan spesies plasma N II yang menunjukkan eksitasi ion nitrogen seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1. Ion nitrogen yang telah melepas elektron bebas kemudian diberikan energi sehingga terjadi perpindahan elektron dari level energi rendah ke level energi yang lebih tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 Reaksi eksitasi ion nitrogen yang meningkat juga menyebabkan meningkatnya intensitas emisi spektrum plasma yang terjadi.



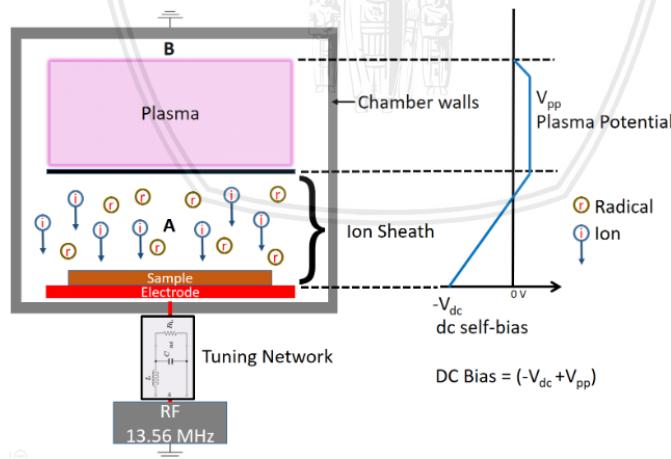
Gambar 4. 6 Proses eksitasi ion nitrogen

Berdasarkan nilai selisih intensitas emisi plasma nitrogen dengan sampel maupun tanpa sampel sesuai dengan tabel 4.2, 4.3, dan 4.4 menunjukkan nilai selisih yang cukup besar. Intensitas emisi plasma nitrogen pada sampel lebih tinggi daripada tanpa sampel hal ini pengaruh karena spesies N II yang terbentuk akan reaksi dengan lapisan polistirena. Reaksi N II dengan lapisan polistirena kemungkinan dapat mengalami eksitasi dan deeksitasi yang menyebabkan *glow discharge* plasma akan semakin tinggi, sehingga intensitas emisi spektrum plasma nitrogen semakin tinggi pula. Reaksi kimia antara spesies plasma nitrogen dengan lapisan polistirena dapat diilustrasikan seperti gambar 4.7. Selain itu intensitas spektrum emisi plasma nitrogen dengan sampel lebih tinggi jika dibandingkan tanpa sampel disebabkan karena sebelum perlakuan plasma nitrogen polistirena berinteraksi dengan gas N₂ di udara. Hal tersebut menyebabkan saat terjadi tumbukan ion dengan lapisan polistirena maka menyebabkan spesies N₂ yang terkandung di lapisan polistirena akan aktif dan terlepas, sehingga meningkatkan intensitas emisi plasma nitrogen.



Gambar 4.7 Model molekul reaksi spesies plasma nitrogen dengan lapisan polsitirena (Masruroh & Dionysius, 2018)

Pada penelitian ini, tegangan listrik DC dimatikan sehingga ion positif yang terbentuk dari plasma akan tidak dipercepat menuju pelat bermuatan negatif. Reaksi permukaan antara ion positif dengan lapisan permukaan polistirena akan lebih sedikit jika tegangan listrik DC dimatikan sehingga menyebabkan intensitas spektrum emisi plasma akan berkurang. Penelitian ini hanya menggunakan tegangan listrik AC yang berfungsi untuk mempertahankan plasma. Berdasarkan gambar 4.8, sistem RF DC, tegangan DC akan menarik ion yang bermuatan positif ke elektroda negative di bawah sampel. Hal ini mempengaruhi reaksi antara ion positif dengan permukaan polistirena, namun karena tidak ada tegangan DC maka pergerakan ion positif akan bergerak secara acak.



Gambar 4.8 Mekanisme pergerakan radikal dan ion pada plasma RF-DC (Saeeda, et al., 2014)

Tabel 4. 2 Intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda = 423$ nm

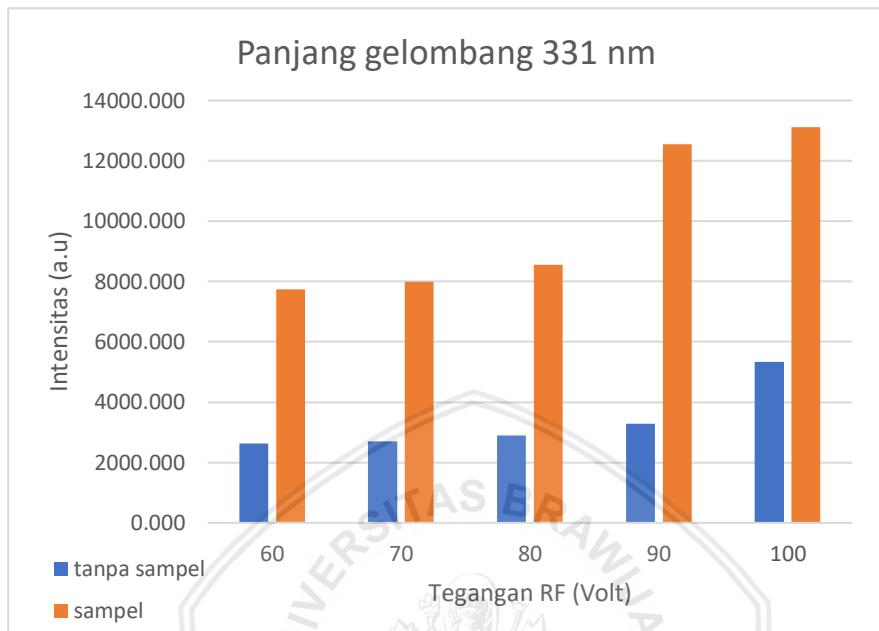
Tegangan RF	Intensitas		
	$\lambda = 423$ nm		
	tanpa sampel	sampel	Selisih
60	2365,715	9680,220	7314,505
70	2599,469	10306,349	7706,881
80	2751,206	11555,839	8804,633
90	3626,013	13414,616	9788,603
100	7537,513	15039,249	7501,736

Tabel 4. 3 Intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda = 385$ nm

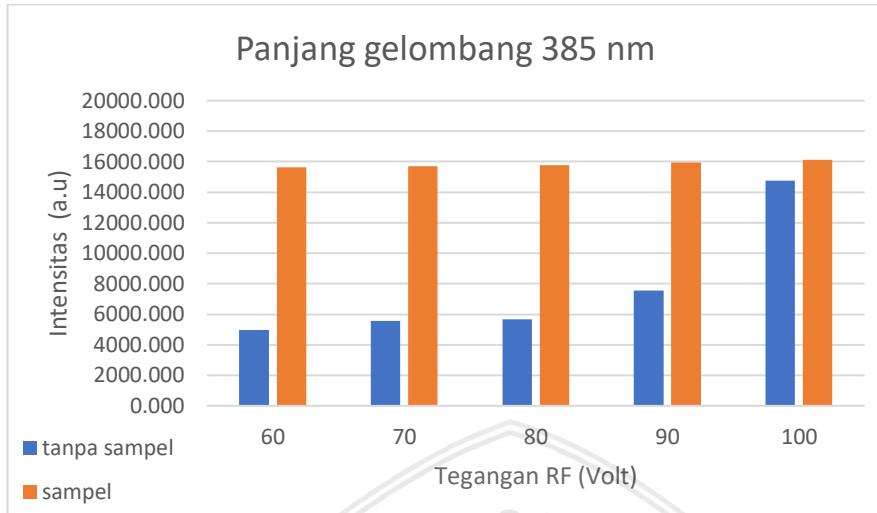
Tegangan RF	Intensitas		
	$\lambda = 385$ nm		
	tanpa sampel	sampel	Selisih
60	4972,181	15644,159	10671,978
70	5556,587	15692,022	10135,435
80	5679,154	15766,025	10086,871
90	7543,185	15930,918	8387,733
100	14741,240	16129,153	1387,913

Tabel 4. 4 Intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda = 331$ nm

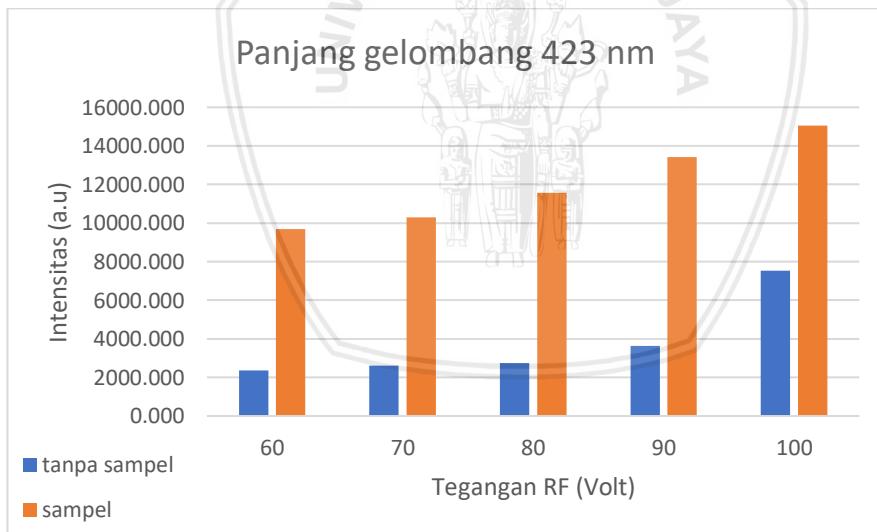
Tegangan RF	Intensitas		
	$\lambda = 331$ nm		
	tanpa sampel	sampel	Selisih
60	2626,635	7748,507	5121,872
70	2698,977	7985,073	5286,096
80	2892,149	8561,387	5669,238
90	3279,775	12551,659	9271,884
100	5339,088	13110,966	7771,878



Gambar 4.9 Grafik pengaruh tegangan RF terhadap intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda = 331$ nm



Gambar 4. 10 Grafik pengaruh tegangan RF terhadap intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda= 385$ nm



Gambar 4. 11 Grafik pengaruh tegangan RF terhadap intensitas emisi plasma nitrogen pada $\lambda= 385$ nm

4.3 Parameter Plasma Nitrogen

4.3.1 Temperatur Elektron

Intensitas spektrum emisi plasma nitrogen dipengaruhi oleh parameter internal plasma yaitu temperatur elektron. Pada penelitian ini nilai temperatur elektron ditentukan dengan plot grafik Boltzman. Penentuan temperatur elektron dengan plot grafik Boltzman mengindikasikan bahwa temperatur elektron ditentukan dengan pendekatan mekanika klasik, artinya sifat partikel diasumsikan dalam keadaan terbedakan dan mau berkadaan sama dan energi partikel kontinyu. Penentuan temperatur elektron hanya menggunakan 3 garis spektral yang mempunyai nilai intensitas yang tinggi. Jika spesies emisi memilih jumlah lebih dari dua maka temperatur elektron dapat ditentukan dengan pendekatan persamaan Boltzman. Kelemahan dari metode plot grafik Boltzman adalah keakuratan penentuan semakin kecil dan *noise* perhitungan banyak karena hanya menentukan nilai 3 titik saja. Berdasarkan persamaan 3.3 dan 3.4 nilai temperatur elektron dapat ditentukan. Terdapat 2 garis spektral yang memiliki intensitas tinggi yaitu pada puncak 331 nm, 385 nm dan 423 nm. Berdasarkan database dari NIST diketahui energi transisi (eV), probabilitas transisi (A), dan jumlah keadaan (g) yang ditunjukkan pada tabel 4.5

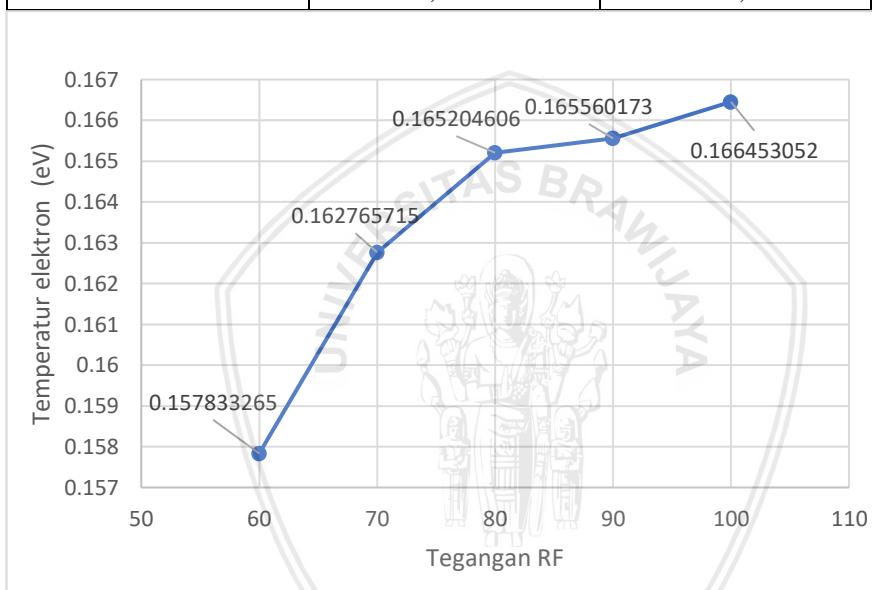
Tabel 4. 5 Data spektroskopik garis atom ion (N II) nitrogen dari NIST

Panjang gelombang (nm)	Spesies	Energi transisi (eV)	Probabilitas transisi A (s^{-1})	Jumlah keadaan (g)
331	N II	24,389	$1,68 \times 10^7$	5
385	N II	24,374	$3,71 \times 10^7$	3
423	N II	23,571	$1,93 \times 10^5$	3

Berdasarkan data yang didapatkan dari NIST seperti pada tabel 4.5 diperoleh hubungan temperatur dengan pengaruh tegangan RF plasma nitrogen yang ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Pengaruh tegangan RF terhadap temperatur elektron plasma nitrogen tanpa sampel

Tegangan RF (Volt)	Temperatur Elektron (eV)	Temperatur elektron (K)
60	0,1578	1831,194
70	0,1627	1888,056
80	0,1652	1917,068
90	0,1655	1920,549
100	0,1664	1907,784

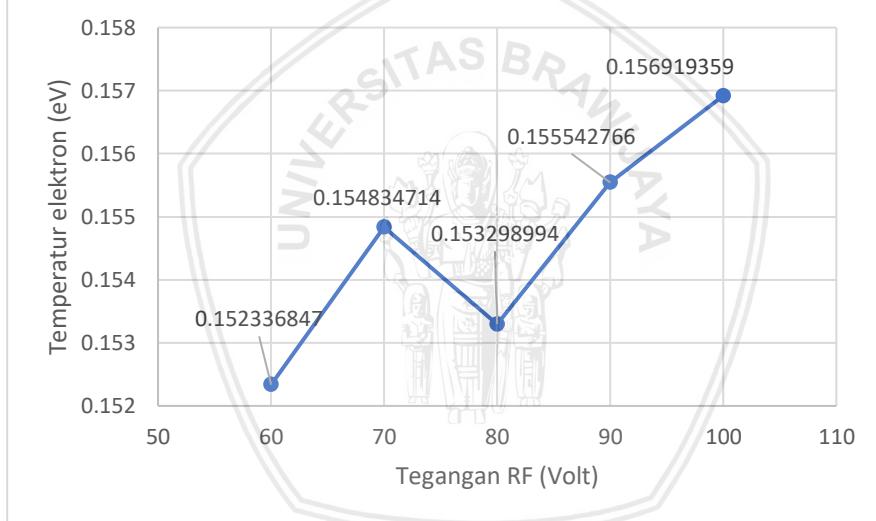
**Gambar 4. 12** Grafik hubungan tegangan RF terhadap temperatur elektron pada plasma nitrogen tanpa sampel

Berdasarkan gambar 4.12 dan tabel 4.6 menunjukkan bahwa tegangan listrik AC meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur elektron. Ketika tegangan AC diberikan semakin tinggi, maka medan listrik akan semakin tinggi pula. Medan listrik ini merupakan gaya pendorong elektron untuk menumbuk atom netral. Ketika tumbukan antara elektron dengan atom netral terjadi transfer energi yang menyebabkan terjadinya ionisasi. Semakin banyak tumbukan elektron dengan atom netral maka energi termal dan ionisasi yang dihasilkan

semakin besar pula, sehingga hal tersebut menyebabkan temperatur elektron meningkat.

Tabel 4. 7 Pengaruh tegangan RF terhadap temperatur elektron plasma nitrogen dengan sampel

Tegangan RF (Volt)	Temperatur Elektron (eV)	Temperatur Elektron (K)
60	0,1523	1767,369
70	0,1548	1796,380
80	0,1532	1777,813
90	0,1555	1804,504
100	0,1569	1820,750



Gambar 4. 13 Grafik hubungan tegangan RF terhadap temperatur elektron pada plasma nitrogen dengan sampel

Nilai temperatur elektron plasma nitrogen tanpa sampel dan dengan sampel menunjukkan pola hubungan yang berbeda. Hal ini dipengaruhi karena spesies plasma nitrogen ($N II$) yang berekasi dengan permukaan lapisan polistirena. Pada tegangan 60 Volt sampai 70 Volt terjadi kenaikan temperatur elektron. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena elektron mengionisasi atom netral nitrogen semakin besar. Tegangan 70 Volt sampai 80 Volt mengalami penurunan temperatur

elektron, kasus tersebut kemungkinan disebabkan karena sampel yang telah terpapar nitrogen telah mengaktifkan spesies plasma nitrogen akibat dari tegangan listrik AC yang diberikan, sehingga jumlah partikel pada chamber plasma akan semakin banyak. Dalam kedaan volume tetap dan energi listrik yang diberikan tetap maka semakin banyak partikel maka akan semakin banyak pula energi listrik yang harus didistribusikan ke semua partikel. Hal tersebut menyebabkan masing-masing partikel hanya memiliki energi sedikit karena energi listrik terbagi merata oleh total partikel yang ada dalam chamber plasma. Pada tegangan 80 Volt sampai 100 Volt mengalami peningkatan temperatur elektron karena kemungkinan sampel tidak perpapar gas nitrogen di udara. Berdasarkan tabel 4.6 dan 4.7 menunjukkan bahwa temperatur elektron dalam satuan Kelvin (K) berada pada kisaran 1767 – 1907 Kelvin. Merujuk parameter jenis plasma berdasarkan temperatur elektron seperti pada tabel 2.6, plasma nitrogen dalam penelitian ini merupakan jenis plasma dingin.

4.3.2 Densitas Elektron

Densitas elektron pada penelitian ini dihitung dengan metode pelebaran garis spektral Stark. Pelebaran stark merupakan pelebaran spektrum emisi yang disebabkan karena partikel bermuatan yang mengganggu atom emisi. Perhitungan densitas elektron dengan menggunakan metode Stark dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

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

$\Delta\lambda_{1/2}$ merupakan selisih nilai FWHM berdasarkan hasil dari pengolahan data *fitting pro* dengan menggunakan software Origin Pro 2017 64 bit. Dalam metode Stark harus ada syarat yang dipenuhi yaitu perhitungan densitas elektron harus memenuhi batas minimum nilai densitas elektron. Batas minimum tersebut merupakan kondisi saat plasma dalam kondisi kesetimbangan termal lokal (LTE) Syarat kondisi LTE dapat dituliskan dengan persamaan 3.7 sebagai berikut :

$$Ne \geq 1,6 \times 10^{12} T^{\frac{1}{2}} (\Delta E)^3 \text{ cm}^{-3}$$

Pada perhitungan densitas elektron tersebut dipilih puncak yang paling dominan terhadap munculnya spesies plasma nitrogen. Panjang gelombang 385 nm yang merupakan spesies plasma N II memiliki intensitas emisi yang paling besar jika dibanding dengan puncak panjang gelombang yang lainnya. Data NIST spesies N II pada panjang gelombang 385,715 nm disajikan pada gambar 4.5. Perhitungan nilai

syarat dari spesies N II dengan panjang gelombang 385,715 nm disajikan dalam tabel 4.8. Penentuan nilai densitas elektron dengan metode garis spektral Stark memiliki kekurangan yaitu bila FWHM yang diolah dengan menu *fitting pro* pada Origin Pro 2017 – 64 bit ditentukan dengan batas panjang gelombang minimum dan maksimum yang berbeda maka akan mempengaruhi FWHM yang dibentuk. Sehingga pengolahan data OES dengan software origin Pro 2017 – 64 bit dilakukan dengan metode yang sama seperti yang disajikan pada subab 3.6. Nilai FWHM berbanding lurus dengan densitas elektron yang dihitung. Metode pelebaran stark mengabaikan temperatur elektron dalam menentukan densitas elektron. Temperatur elektron hanya digunakan untuk menentukan syarat kondisi kesetimbangan termal lokal saja seperti pada persamaan 4.1.

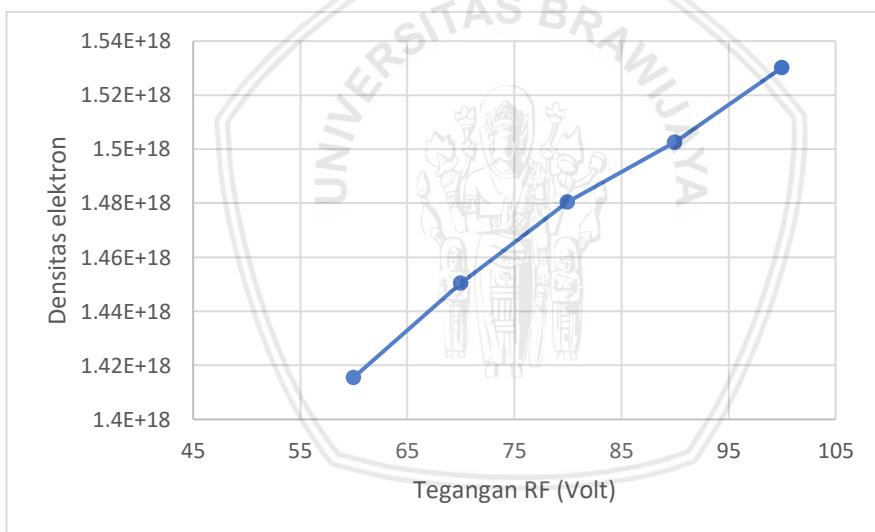
Tabel 4. 8 Nilai syarat minimum densitas elektron

Panjang gelombang (nm)	Tegangan RF (Volt)	Temperatur Elektron (eV)	$(\Delta E)^3$ (eV)	Densitas elektron (cm^{-3})
385,715	60	0,1578	33,3361	$6,319 \times 10^{12}$
385,715	70	0,1627	33,3361	$6,517 \times 10^{12}$
385,715	80	0,1652	33,3361	$6,614 \times 10^{12}$
385,715	90	0,1655	33,3361	$6,629 \times 10^{12}$
385,715	100	0,1664	33,3361	$6,663 \times 10^{12}$

Berdasarkan tabel 4.8, nilai densitas elektron dapat diperoleh dengan persamaan 4.1. Didapatkan hubungan antara nilai tegangan RF dengan densitas elektron yang disajikan pada tabel 4.9

Tabel 4. 9 Hubungan tegangan RF dengan nilai densitas elektron

Panjang gelombang (nm)	Tegangan RF (Volt)	$\Delta\lambda_{1/2}$ (nm)	ω	Densitas elektron (cm^{-3})
385,715	60	2,309	0,01621	$1,45 \times 10^{18}$
385,715	70	2,366		$1,41 \times 10^{18}$
385,715	80	2,415		$1,50 \times 10^{18}$
385,715	90	2,451		$1,48 \times 10^{18}$
385,715	100	2,496		$1,53 \times 10^{18}$

**Gambar 4. 14** Hubungan tegangan RF terhadap densitas elektron pada perlakuan plasma nitrogen tanpa sampel

Berdasarkan gambar 4.14 menunjukkan bahwa temperatur elektron dengan densitas elektron berbanding lurus pada tegangan RF plasma nitrogen. Densitas elektron diartikan sebagai perbandingan kerapatan elektron dengan volume. Ketika tegangan RF listirik AC diberikan maka banyak elektron yang akan mengionisasi atom netral nitrogen, sehingga hal tersebut menyebabkan banyak elektron yang keluar dari orbital

terluarnya. Merujuk pada hal yang telah dibahas pada sub-bab 2.6, densitas elektron merupakan probabilitas elektron yang berada pada suatu volume tertentu. Ketika banyak elektron bebas yang terbentuk karena ionisasi, maka probabilitas elektron yang berada pada suatu volume akan meningkat, sehingga dapat dikatakan densitas elektron akan semakin besar bila terjadi ionisasi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa ;

1. Spesies plasma nitrogen yang mendominasi adalah spesies plasma N II (ion nitrogen yang tereksitasi) dengan panjang gelombang 385,715 nm. Spesies N II meningkat nilai intensitas emisinya seiring dengan mengingkatnya tegangan RF yang diberikan.
2. Penambahan tegangan RF pada plasma nitrogen menyebabkan bertambahnya temperatur elektron dan densitas elektron.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian sudut kontak untuk mengetahui hidrofobisitas permukaan permukaan polistirena pada kaca
2. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan meninjau morfologi permukaan polistirena sebelum dan setelah perlakuan plasma
3. Penggunaan tegangan listrik DC perlu dilakukan agar proses penumbukan ion terhadap lapisan tipis dapat lebih efektif dan terarah

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, A., 2018. *Pengaruh Tegangan RF (Radio Frequency) pada Plasma Oksigen terhadap Jenis Spesies Plasma dan Sifat Hidrofobisitas Permukaan Polistirena Menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Abdillah, M. A., 2018. *Pengaruh Tegangan RF (Radio Frequency) pada Plasma Oksigen terhadap Jenis Spesies Plasma dan Sifat Hidrofobisitas Permukaan Polistirena menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES)*. Malang: Jurusan Fisika Universitas Brawijaya .
- Alkaim A.F, D. B. D., 2015. *Effect of Polar and Movable (OH or NH₂ groups on the photocatalytic H₂ production of alkyl- alkanolamine : a comparative study*. Journal of Environmental Technology, pp. 2190 - 2197.
- Alkaim, A. & Dillert, R., 2016. *Effect of polar and movable (OH or NH₂ groups) on the photocatalytic H₂ production of alkyl- alkanolamine: a comparative study*. Journal Materials Vol 6, p. 6.
- Callister, W. D. & Rethwish, D. G., 2010. *Materials Science and Engineering an Introduction*. New York: Wiley & Sons.
- Changchun, 2012. *Spectral Analysis User Manual*. Shanghai: New Industries Optoelectronic Tech.
- Chen J, D. J., 2002. *Electron Density and Energy Distributions in the Positive DC Corona; Interpretation for Corona- Enhanced Chemical Reaction Plasma Chemistry and Plasma Processing*. pp. 199-224.
- Garcia, M., 2009. *Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process*. Journal of Waste Manag vol 29 no 6, pp. 1814-1818.
- Harry, J., 2010. *Introduction to Plasma Technology*. Weinheim: Wiley- VCH Verlag.

- Masruroh & Dionysius, J. S., 2018. *Surface Modification of Polystyrene by Nitrogen Plasma Treatment*. IntechOpen, pp. 6-15.
- Masruroh, et al., 2014. *Solvent effect on morphology of polystyrene coating and their role to Improvement for biomolecule immobilization in application of QCM based biosensor*. Applied Mechanics and Material, pp. 54-57.
- Masruroh, H. M. A. S. S. P. S. D. J., 2017. *Plasma Power Effect on The Surfaces of Quartz Crystal During Etching using Tetraflourethane Gas*. Malang: Internasional Journal of Technology.
- Neal, C. & Jeffrey, L. A., 2006. *Structure and Composition of Glasses and Amorphous Materials by Vibrational Spectroscopy*. John Wiley and Sons, p. 2695.
- Nehra, V., Kumar, A. & Dwivedi, H. K., 2008. *Atmospheric non-thermal plasma sources*. Int. J. Eng, Volume 2, pp. 53-68.
- Nur, M., 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang: BADAN PENERBIT Universitas Diponegoro Semarang.
- Piel, A., 2010. *Plasma Physics : An Introduction to Laboratory, Space, and Fusion Plasmas*. New York: Springer.
- Rahayu, M. S. D. H. R. E. D. L. A. R. F. S. P. S., 2014. *Pengaruh Perbedaan Pelarut Polistiren Terhadap Morfologi Lapisan Polistiren dan Sifat Viskoelastik QCM Biosensor*. Natural B, p. 4.
- Rutherford, R. J. G. & Paul, H., 1995. *Introduction to Plasma Physics*. London: Institute of Physics Publishing.
- Saeeda, A. et al., 2014. *Pulsed DC Discharge in the Presence of Active Screen for Nitriding of High Carbon Steel*. Material Reserach, 4(17), pp. 857-865.
- Sakti S.P, A. K., 2017. *Effect of UV Radiation Duration and Molecular Weight to Hydrophobicity and Surface Roughness*

- of Polystyrene Coating on QCM Sensor.* Jurnal Teknologi, pp. 61-67.
- Tyas, N., 2017. *Pengaruh Berat Molekul Polistirena terhadap QCM Hasil Modifikasi dengan Teknik Plasma Nitrogen.* Malang: Universitas Brawijaya.
- Ukhtary, M. A. M., 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, pp. 3-6.
- Walsh C.B, F. E., 2003. *Ultra thin PMMA films spin coated form toluene solutions.* Thin Solid Films, pp. 71-76.
- Wenten, I. G. & Himma, N., 2014. *Membran Superhidrofobik.* Bandung: Departemen Teknik Kimia ITB.
- Wibowo, G. S., Wijaya, M. R. & Maulana, M. R., 2018. *Perlakuan Plasma Nitrogen terhadap Hidrofilisitas Polistirena di atas Kaca sebagai Penurun Suhu Gedung.* Journal Kimia UNS (on progress), pp. 1-6.
- Zhang, N. et al., 2011. *Electron Temperature and Density of the Plasma Measured by Optical Emission Spectroscopy in VLPPS Conditions.* Journal of Thermal Spray technology, 20(6), pp. 2011 -1321.
- Zlatko, K., 2012. *Optical Emission Characterization of Extremely Reactive Oxygen Plasma During Treatment of Graphite Samples.* Original Scientific, pp. 25-30.

LAMPIRAN

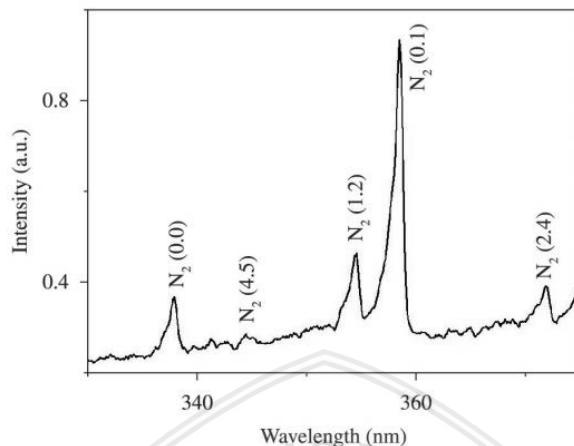
Lampiran 1. Informasi Database NIST atom Nitrogen

Ion	Observed Wavelength Vac (nm)	Ritz Wavelength Vac (nm)	Rel. Int. (?)	A_{ki} (s ⁻¹)	Acc.	E_i (eV)	E_k (eV)
N III		330.498		5.51e+07	B	38.64467	- 42.39611
N III		330.758		6.59e+07	B	38.64776	- 42.39625
N III		330.770		1.10e+07	B	38.64776	- 42.39611
N II		331.2372		1.09e+06	B	20.646058	- 24.389122
N III		331.278		4.54e+06	B	47.02722	- 50.76982

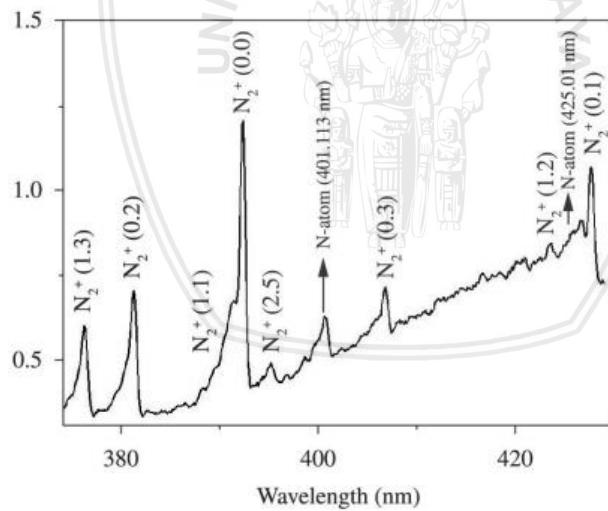
N II		331.9051		1.68e+07	B	20.653591	- 24.389122
------	--	----------	--	----------	---	-----------	-------------

N II		385.7156		3.71e+07	B	21.159916	- 24.374310
------	--	----------	--	----------	---	-----------	-------------

N II		423.7548		1.93e+05	B	20.646058	- 23.571905
------	--	----------	--	----------	---	-----------	-------------

Lampiran 2. Referensi spektrum plasma nitrogen

Gambar L2. 1 Referensi spektrum plasma nitrogen pada panjang gelombang 300 – 380 nm (Saeeda, et al., 2014)

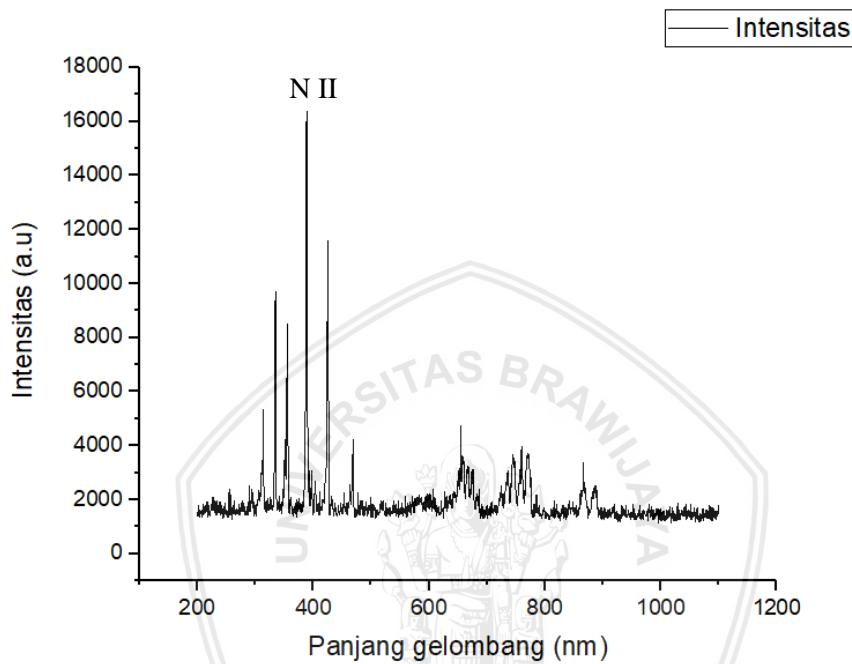


Gambar L2. 2 Referensi spektrum plasma nitrogen pada panjang gelombang 350 – 427 nm (Saeeda, et al., 2014)

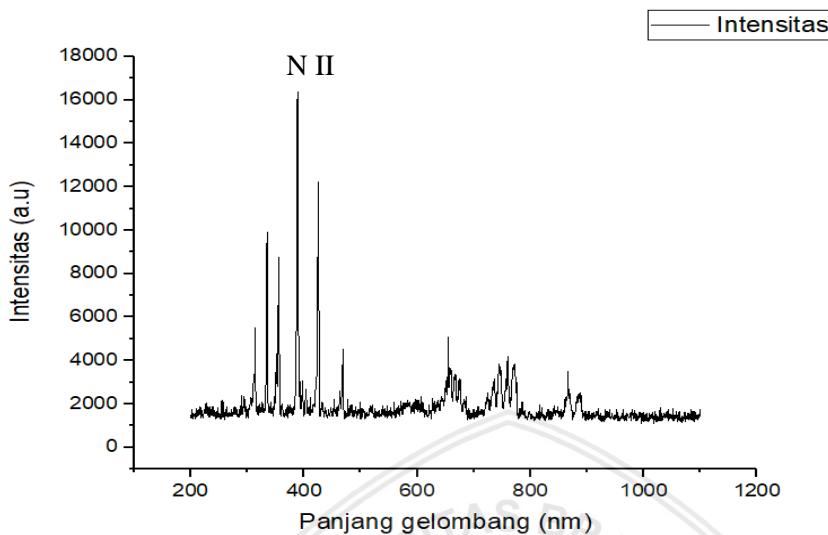
Species	Wavelength (nm)
N_2	337.1 ($v' = 0, v'' = 0$)
	344.6 ($v' = 4, v'' = 5$)
	353.67 ($v' = 1, v'' = 2$)
	357.69 ($v' = 0, v'' = 1$)
	371.05 ($v' = 2, v'' = 4$)
N_2^+	375.54 ($v' = 1, v'' = 3$)
	380.49 ($v' = 0, v'' = 2$)
	394.30 ($v' = 2, v'' = 5$)
	399.84 ($v' = 1, v'' = 4$)
	405.94 ($v' = 0, v'' = 3$)
	391.44 ($v' = 0, v'' = 0$)
	388.43 ($v' = 1, v'' = 1$)
N-I	419.91 ($v' = 2, v'' = 3$)
	423.65 ($v' = 1, v'' = 2$)
	427.81 ($v' = 0, v'' = 1$)
N-I	401.113
	425.01

Gambar L2. 3 Referensi spesies plasma nitrogen pada panjang gelombang 3370 – 427 nm (Saeeda, et al., 2014)

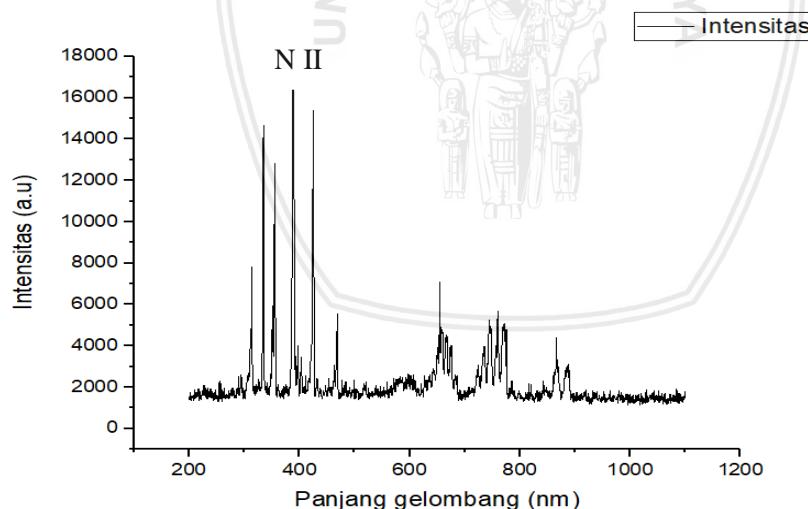
Lampiran 3. Grafik intensitas dengan panjang gelombang analisis spesies plasma nitrogen pada pengaruh tegangan RF dengan sampel



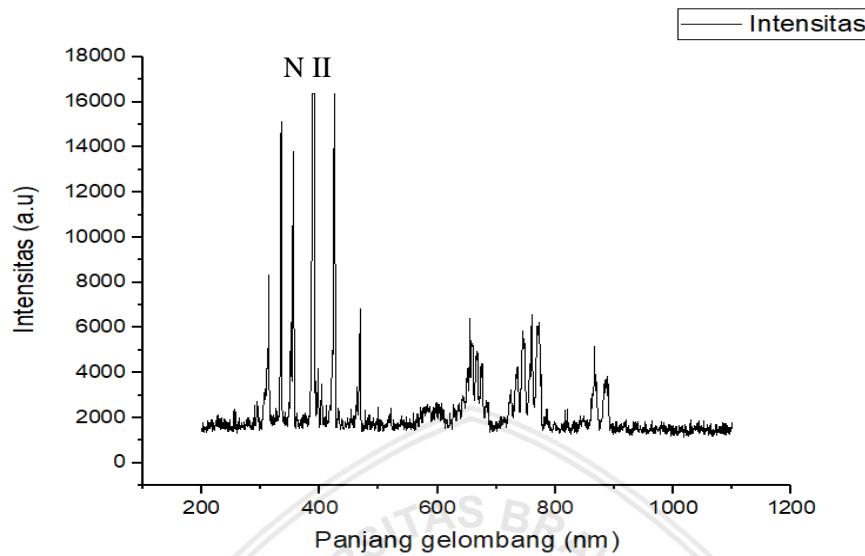
Gambar L3. 1 Grafik intensitas dengan panjang gelombang analisis spesies plasma nitrogen pada tegangan RF 60 Volt



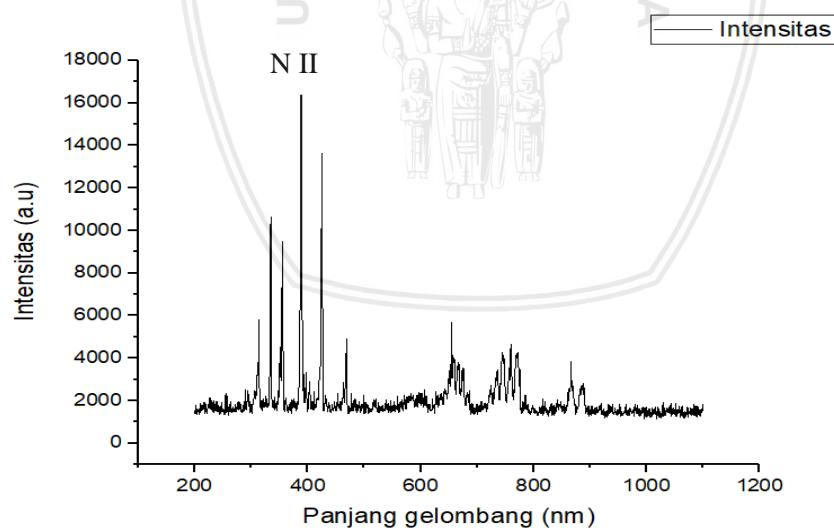
Gambar L3. 2 Grafik intensitas dengan panjang gelombang analisis spesies plasma nitrogen pada tegangan RF 70 Volt



Gambar L3. 3 Grafik intensitas dengan panjang gelombang analisis spesies plasma nitrogen pada tegangan RF 80 Volt

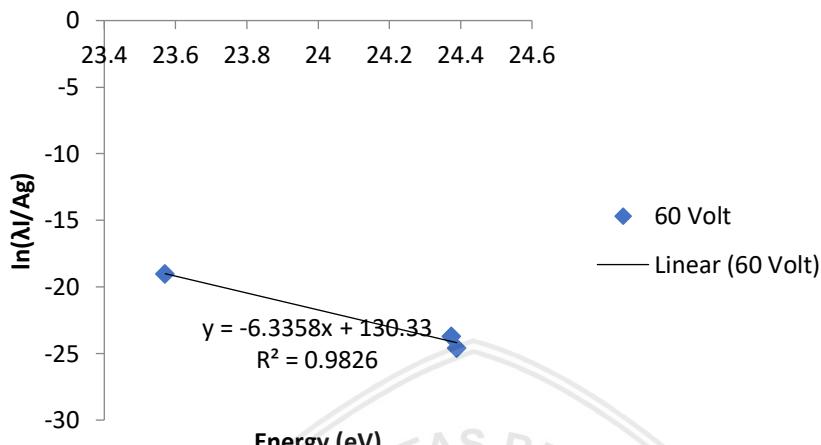


Gambar L3. 4 Grafik intensitas dengan panjang gelombang analisis spesies plasma nitrogen pada tegangan RF 90 Volt

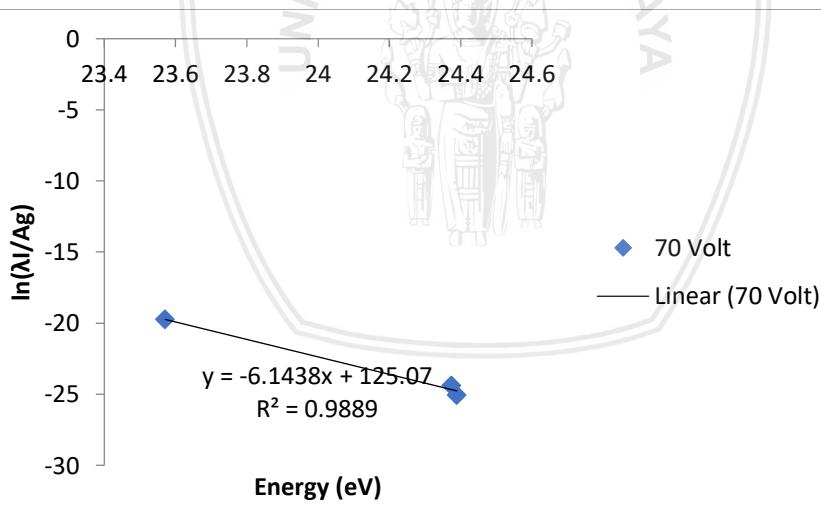


Gambar L3. 5 Grafik intensitas dengan panjang gelombang analisis spesies plasma nitrogen pada tegangan RF 100 Volt

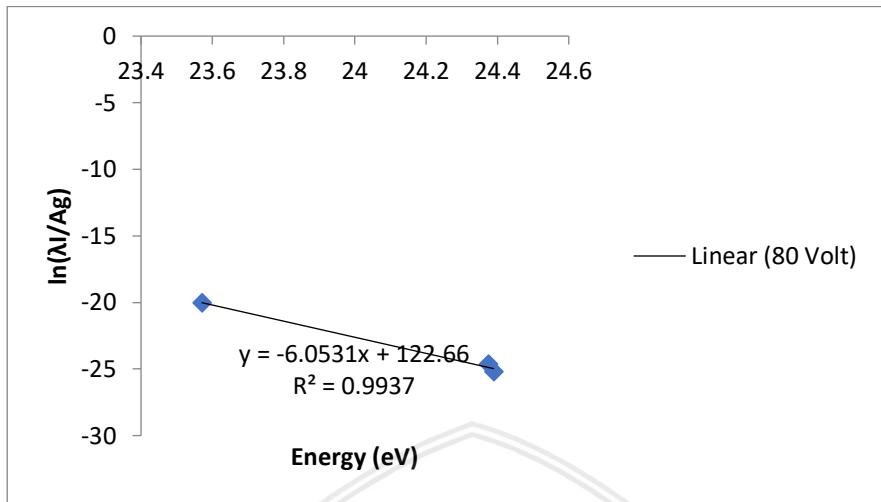
Lampiran 4. Plot Boltzman pada variasi tegangan RF dengan perlakuan plasma nitrogen tanpa sampel



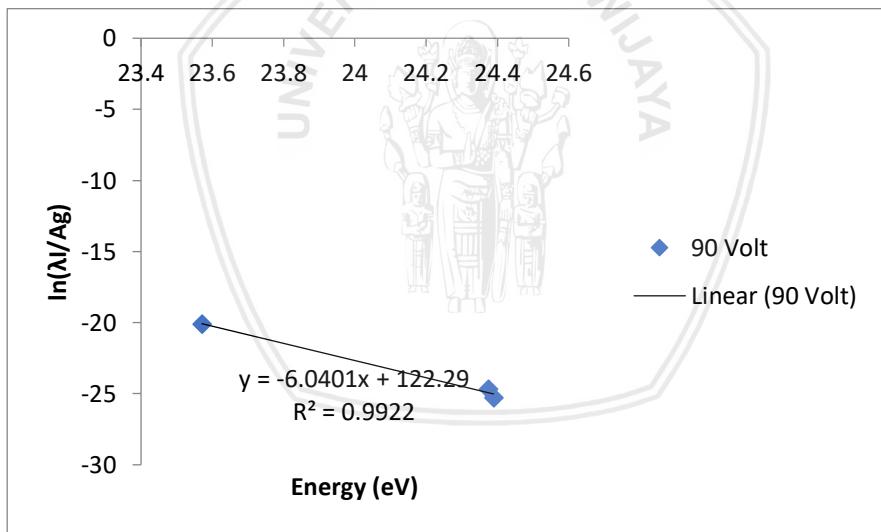
Gambar L4. 1 Plot Blotzman 60 Volt



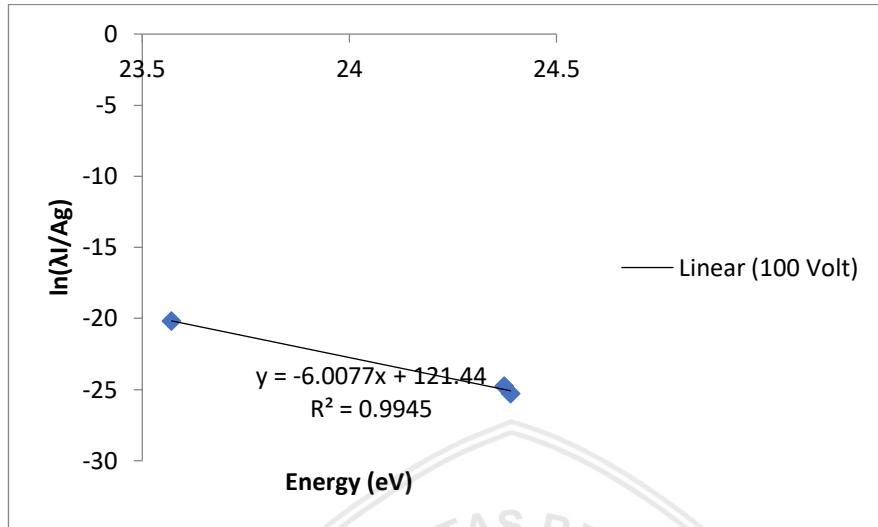
Gambar L4. 2 Plot Blotzman 70 Volt



Gambar L4. 3 Plot Blotzman 80 Volt

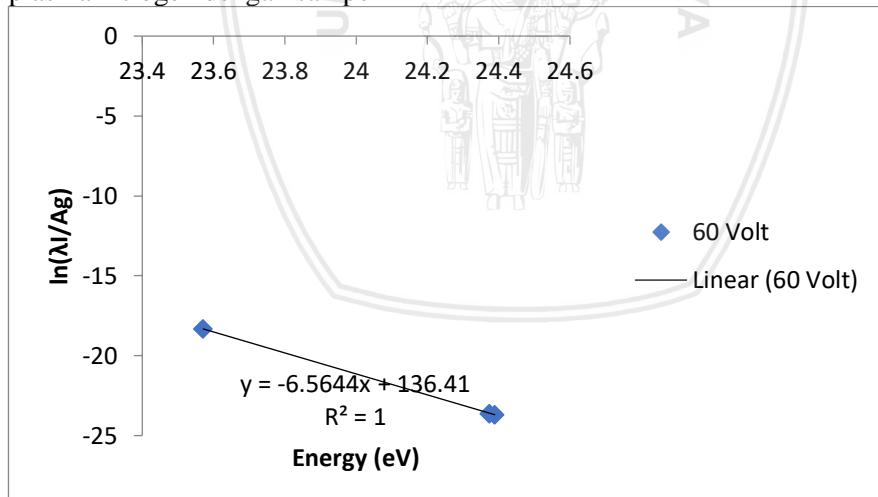


Gambar L4. 4 Plot Blotzman 90 Volt

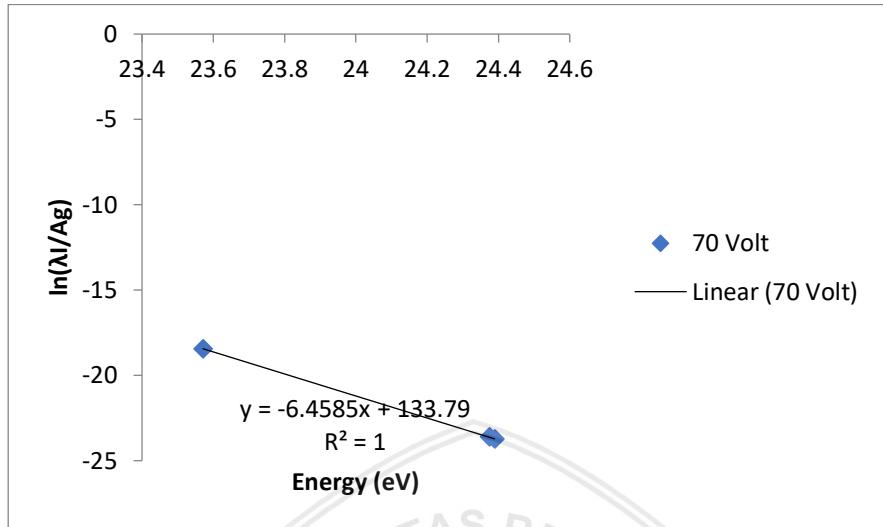


Gambar L4. 5 Plot Boltzman 100 Volt

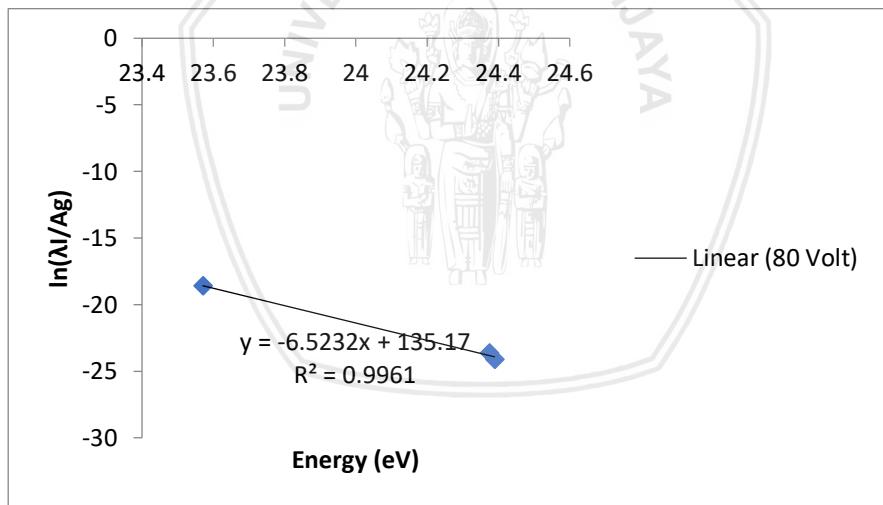
Lampiran 5. Plot Boltzman pada variasi tegangan RF dengan perlakuan plasma nitrogen dengan sampel



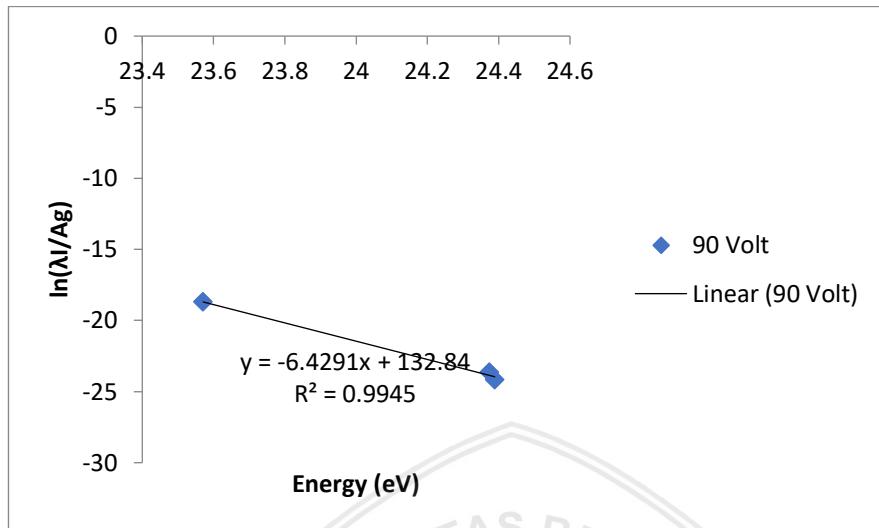
Gambar L5. 1 Plot Boltzman 60 Volt



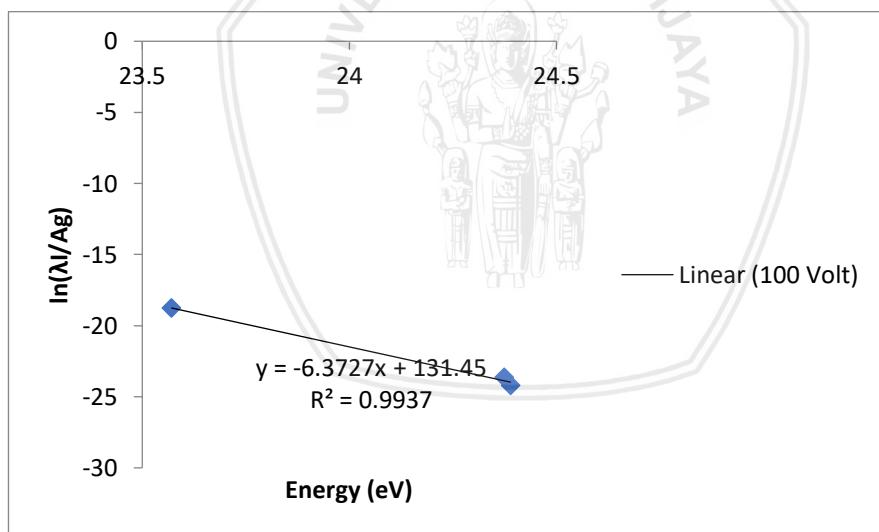
Gambar L5. 2 Plot Blotzman 70 Volt



Gambar L5. 3 Plot Blotzman 80 Volt



Gambar L5. 4 Plot Blotzman 90 Volt



Gambar L5. 5 Plot Blotzman 100 Volt