

**PENGARUH TEGANGAN RF DAN TEMPERATUR SUBSTRAT DALAM
PROSES PLASMA SPUTTERING MENGGUNAKAN GAS ARGON PADA
DEPOSISI LAPISAN TIPIS KARBON DI ATAS SENSOR QUARTZ CRYSTAL
MICROBALANCE (QCM)**

TESIS



oleh :
Mahardika Auditia Hanif

**PROGRAM STUDI S2 FISIKA
MINAT FISIKA MATERIAL**

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
2019**

**PENGARUH TEGANGAN RF DAN TEMPERATUR SUBSTRAT DALAM
PROSES PLASMA SPUTTERING MENGGUNAKAN GAS ARGON PADA
DEPOSISI LAPISAN TIPIS KARBON DI ATAS SENSOR QUARTZ CRYSTAL
MICROBALANCE (QCM)**

TESIS

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister**



oleh :
Mahardika Auditia Hanif

**PROGRAM STUDI S2 FISIKA
MINAT FISIKA MATERIAL**

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
2019**

TESIS

PENGARUH TEGANGAN RF DAN TEMPERATUR SUBSTRAT DALAM
PROSES PLASMA SPUTTERING MENGGUNAKAN GAS ARGON PADA
DEPOSISI LAPISAN TIPIS KARBON DI ATAS SENSOR *QUARTZ CRYSTAL*
MICROBALANCE (QCM)

Oleh :

Mahardika Auditia Hanif

telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggal 30 Desember 2019
dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,
Komisi Pembimbing

Ketua

Anggota

Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si.
NIP. 19751231 200212 2 002

Ir. D. J. Djoko H. S., M.Phill., Ph.D.
NIP. 19660131 1990021001

Mengetahui
Ketua Program Studi S2 Fisika

Mauludi A. Pamungkas, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197304122000031013

TIM PENGUJI TESIS

JUDUL TESIS :

PENGARUH TEGANGAN RF DAN TEMPERATUR SUBSTRAT DALAM
PROSES PLASMA SPUTTERING MENGGUNAKAN GAS ARGON PADA
DEPOSISI LAPISAN TIPIS KARBON DI ATAS SENSOR *QUARTZ CRYSTAL*
MICROBALANCE (QCM)

Nama Mahasiswa : Mahardika Auditia Hanif

NIM : 176090300111012

Program Studi : S2 Fisika

Minat : Material

KOMISI PEMBIMBING

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

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

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. rer. nat. Abdurrouf, S.Si., M.Si.

Dosen Penguji II : Dr. Istiroyah, S.Si., M.T.

Tanggal Ujian : 30 Desember 2019

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

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

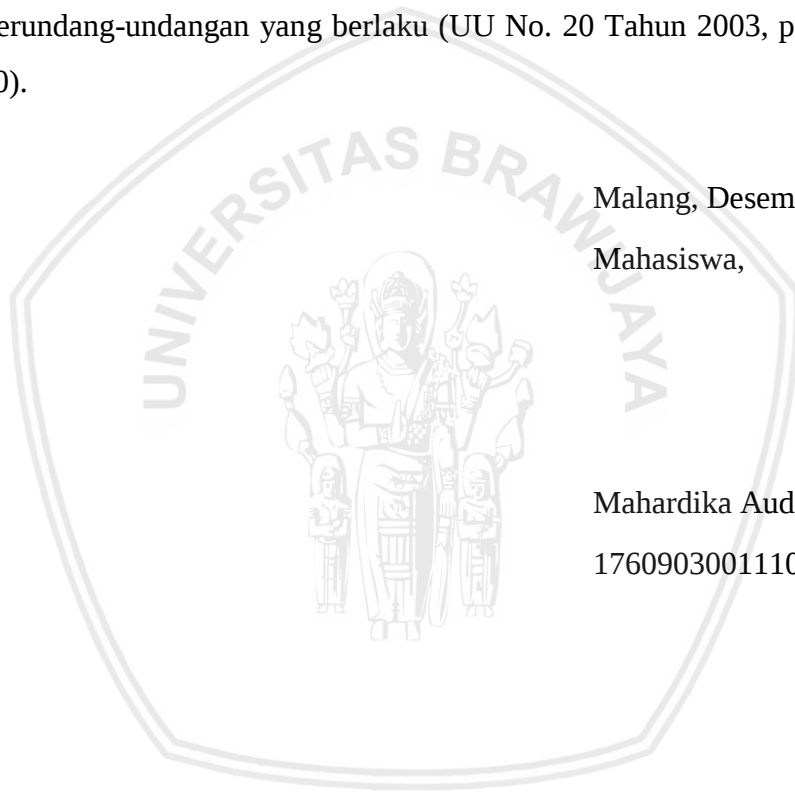
Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Desember 2019

Mahasiswa,

Mahardika Auditia Hanif

176090300111012

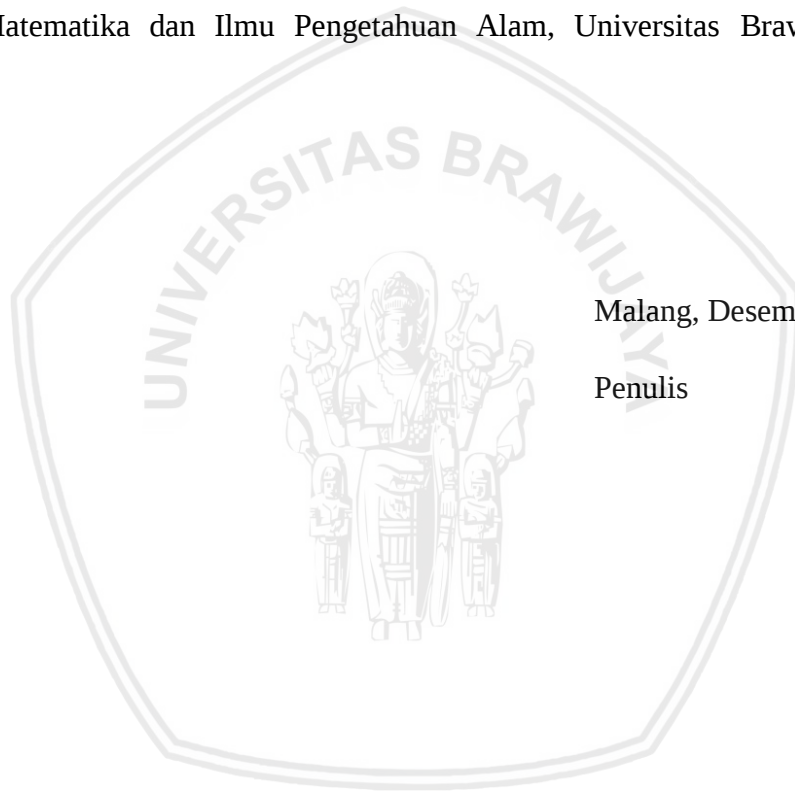


RIWAYAT HIDUP

Mahardika Auditia Hanif, lahir di Malang, 14 Desember 1993 anak dari ayah Hanifan dan Ibu Sulistiyowati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di MIN II Malang dan lulus di tahun 2006, kemudian melanjutkan sekolah menengah di SMPN 1 Malang hingga lulus di tahun 2009, sekolah menengah atas di SMAN 5 Malang dan lulus di tahun 2012. Penulis menempuh pendidikan jenjang sarjana di Jurusan Fisika bidang minat Fisika Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya dan memperoleh gelar sarjana pada tahun 2017. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan jenjang magister di Jurusan Fisika bidang minat Fisika Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya hingga sekarang.

Malang, Desember 2019

Penulis



UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

Kedua orang tua dan adik yang telah memberi dukungan baik dukungan moral maupun material.

Ibu Masruroh selaku pembimbing utama, dan bapak D. J. Djoko H. S. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan selama pengerjaan tesis.

Rekan-rekan yang telah membantu penulis, baik bantuan pada saat pengerjaan tesis, penulisan tesis, maupun bantuan dukungan moral.

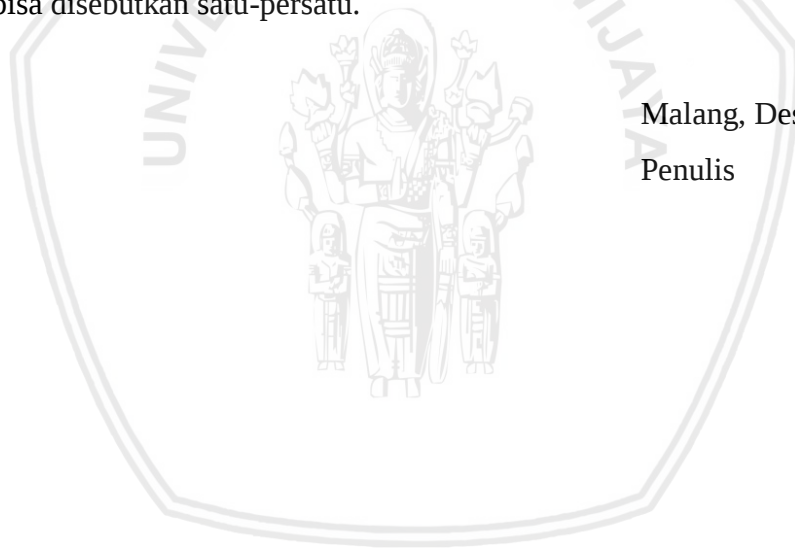
Semua keluarga besar Jurusan Fisika dan Fakultas MIPA yang telah berjasa dalam kelancaran baik proses pembelajaran, maupun pengerjaan dan penulisan tesis.

Ristekdikti yang telah mendanai penelitian ini melalui program hibah kompetitif (penelitian dasar) dan LPPM UB tahun 2017 – 2019.

Dan semua pihak yang telah membantu baik secara langsung ataupun tidak langsung yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Malang, Desember 2019

Penulis



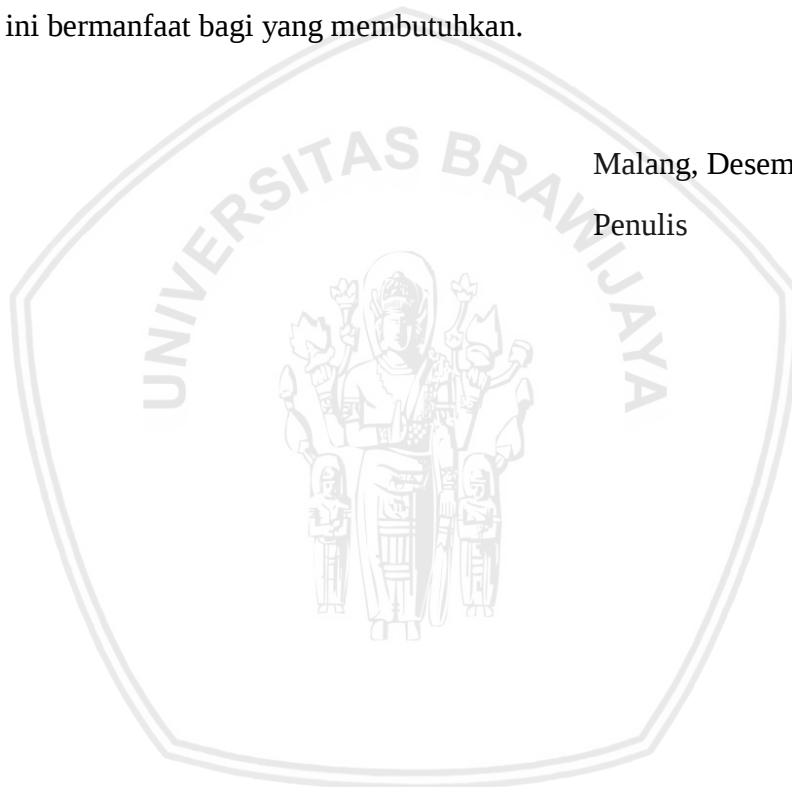
KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Mu penulis dapat menyajikan tulisan tesis yang berjudul : Pengaruh Tegangan RF dan Temperatur Substrat dalam Proses Plasma Sputtering Menggunakan Gas Argon pada Deposisi Lapisan Tipis Karbon di atas Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM).

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

Malang, Desember 2019

Penulis



**PENGARUH TEGANGAN RF DAN TEMPERATUR SUBSTRAT DALAM
PROSES PLASMA SPUTTERING MENGGUNAKAN GAS ARGON PADA
DEPOSISI LAPISAN TIPIS KARBON DI ATAS SENSOR QUARTZ CRYSTAL
MICROBALANCE (QCM)**

ABSTRAK

Proses deposisi lapisan tipis bisa dilakukan dengan metode plasma sputtering dengan gas argon. Plasma dibangkitkan dengan tegangan RF dan temperatur substrat yang divariasikan, tegangan RF mulai dari 100 V, 120 V, dan 140 V, sedangkan temperatur substrat mulai dari 150° C, 200° C, dan 250° C. Parameter lain dibuat tetap, tekanan chamber sebesar 15 Pa, laju alir gas 60 ml/menit, DC bias sebesar -500 V, dan proses sputtering selama 1 jam. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh tegangan RF dan temperatur substrat terhadap karakter plasma yang terbentuk, sekaligus dengan hasil deposisi pada substrat QCM. Selama proses deposisi spektrum dari plasma didapat menggunakan spektrometer Aurora 4000, dan hasil deposisi pada substrat QCM akan diamati menggunakan SEM dan EDX. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, nilai temperatur dan densitas elektron sebanding dengan kenaikan tegangan RF yang diberikan, jadi didapatkan nilai temperatur dan densitas elektron terbesar pada plasma dengan pemberian tegangan RF 140 V. Sedangkan untuk temperatur substrat, semakin besar temperatur substrat semakin kecil nilai temperatur dan densitas elektron yang didapat. Untuk hasil deposisi pada substrat QCM, hasil deposisi menggunakan metode plasma sputtering yang dilakukan belum bisa menghasilkan lapisan karbon yang rata. Terlihat dari hasil SEM dan EDX yang menunjukkan hasil deposisi yang masih berbentuk titik-titik karbon.

Kata kunci : Plasma sputtering, Gas argon, QCM, Tegangan RF, Temperatur substrat, Karbon, Temperatur elektron, Densitas elektron.

THE INFLUENCE OF RF VOLTAGE AND SUBSTRATE TEMPERATURE IN PLASMA SPUTTERING PROCESS USING ARGON GAS TO CARBON DEPOSITION PROCESS ON TO QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE SENSOR.

ABSTRACT

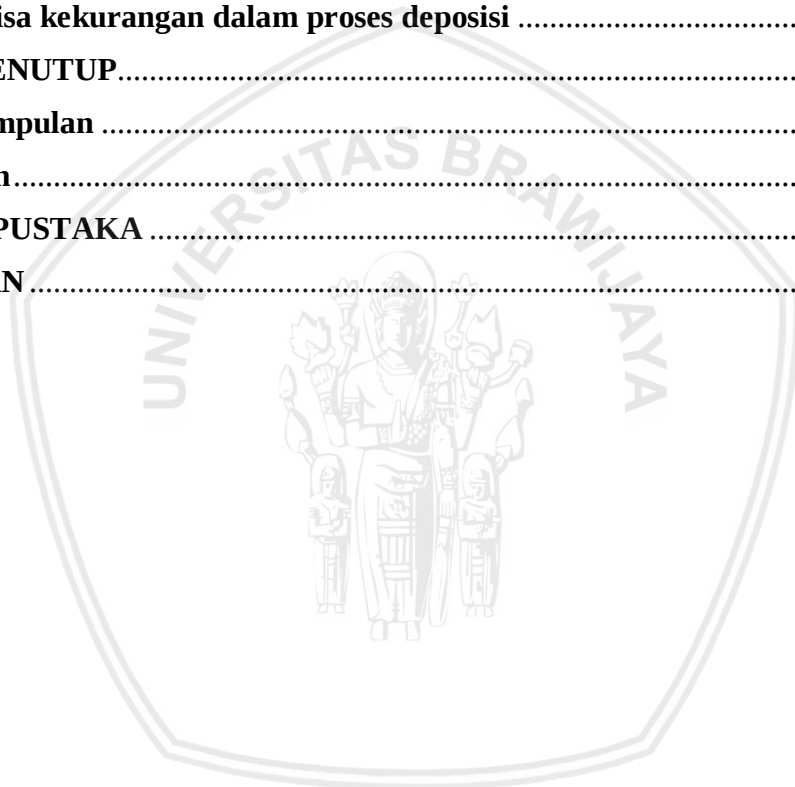
Carbon deposition process can be conducted with plasma sputtering method using argon gas. Plasma was generated with varied RF voltage and substrate temperature, 100 V, 120 V, and 140 V, for the RF voltage, and 150° C, 200° C, and 250° C for the substrate temperature. Another plasma parameter was remained constant, 15 Pa for the chamber pressure, argon gas flowrate 60 ml/min, DC bias -500 V, and 1 hour for the deposition time. The purpose of this research is to study the effect of RF voltage and substrate temperature to the plasma character and the deposition result on the QCM substrate. Plasma spectra obtained with Aurora 4000 spectrometer, and the deposition result observed with SEM and EDX. Based on the result obtained, the value of electron temperature and density increase with the increase of RF voltage applied. So, the highest electron temperature and density value for the RF voltage occurred at 140 V. For the substrate temperature, increasing in substrate temperature followed with decreasing the electron temperature and density. So, the highest electron temperature and density for the substrate temperature occurred at 150° C. The deposition result on the QCM substrate still not in the form of thin film, as observed from SEM and EDX that the deposition results still in the form of carbon dot.

Keywords : Plasma sputtering, Argon gas, QCM, RF voltage, Substrate temperature, Carbon, Electron temperature, Electron density.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
TIM PENGUJI TESIS	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS.....	iv
RIWAYAT HIDUP	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Quartz Crystal Microbalance (QCM) terlapisi karbon sebagai sensor gas....	6
2.2 Plasma sputtering	8
2.3 Plasma sputtering dalam pendeposisian lapisan karbon.....	10
2.4 Plasma argon.....	11
2.5 Pengaruh tegangan RF terhadap temperatur dan densitas elektron	12
2.6 Pengaruh temperatur substrat terhadap temperatur dan densitas elektron.....	13
2.7 Karakterisasi plasma.....	14
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN	16
BAB IV METODE PENELITIAN.....	18
4.1 Waktu dan tempat penelitian	18
4.2 Alat dan Bahan	18
4.3 Tahapan penelitian.....	19
4.3.1 Deposisi lapisan tipis karbon.....	19
4.3.2 Karakterisasi plasma.....	21

4.3.3 Karakterisasi dan analisa hasil deposisi.....	21
4.4 Skema reaktor plasma sputtering.....	22
BAB V PEMBAHASAN.....	23
5.1 Pengaruh desain reaktor terhadap spesies plasma yang terbentuk	23
5.1.1 Penentuan spesies yang terbentuk dalam proses plasma	31
5.2 Pengaruh tegangan RF terhadap nilai temperatur dan densitas elektron dalam plasma.....	35
5.2.1 Hasil uji menggunakan SEM dan EDS	39
5.3 Pengaruh temperatur substrat terhadap nilai temperatur dan densitas elektron	47
5.4 Analisa kekurangan dalam proses deposisi	48
BAB VI PENUTUP.....	51
6.1 Kesimpulan	51
6.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	55



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengaruh ketebalan lapisan karbon grafit terhadap pergeseran frekuensi (Kim et al. 1999).	7
Gambar 2. 2 Sifat reproducibility dari QCM yang telah dilapisi grafit (Kim et al. 1999).	7
Gambar 2. 3 Pengaruh energi ion terhadap sputter yield (Sarkar 2013)	9
Gambar 2. 4 Hasil SEM lapisan karbon diatas substrat kaca (Prayudha 2016).	11
Gambar 2. 5 Hasil pengambilan data spektrum plasma argon menggunakan OES (Ukhtary, 2013).	12
Gambar 3. 1 Peta konsep penelitian	17
Gambar 4. 1 Diagram alir penelitian	19
Gambar 4. 2 Skema reaktor plasma sputtering untuk deposisi lapisan karbon.	22
Gambar 5. 1 Desain reaktor dan parameter plasma untuk uji coba pertama.	24
Gambar 5. 2 Hasil spektrum OES dari reaktor uji coba pertama.	24
Gambar 5. 3 Desain reaktor dan parameter plasma untuk uji coba kedua.	26
Gambar 5. 4 Hasil spektrum OES dari reaktor uji coba kedua.	26
Gambar 5. 5 Desain reaktor dan parameter plasma untuk uji hollow kotak.	28
Gambar 5. 6 Hasil spektrum OES dari reaktor dengan hollow kotak.	28
Gambar 5. 7 Desain reaktor dan parameter plasma untuk uji hollow silinder.	30
Gambar 5. 8 Hasil spektrum OES dari reaktor dengan hollow silinder.	30
Gambar 5. 9 Spektrum plasma argon murni dan plasma dalam proses deposisi.	32
Gambar 5. 10 a. Foto plasma ketika proses deposisi berlangsung, b. Foto plasma ketika pengambilan spektrum Argon murni.	33
Gambar 5. 11 a. Perbesaran gambar 4.1 untuk panjang gelombang 300 – 500 nm, b. Panjang gelombang 600 – 950 nm.	34
Gambar 5. 12 Plot pengaruh tegangan dengan temperatur elektron.	36
Gambar 5. 13 Intensitas spektrum plasma pada puncak 389 nm dengan tegangan RF a.) 100 V, b.) 120 V, c.) 140 V.	37
Gambar 5. 14 Hasil SEM substrat QCM yang telah diproses deposisi menggunakan metode plasma sputtering dengan rangkaian seperti gambar 5.5.	40
Gambar 5. 15 Perbesaran dari hasil SEM pada gambar 5.14, yang kemudian diuji menggunakan EDS.	40
Gambar 5. 16 Sebaran unsur yang terdeteksi menggunakan EDS, yang ditunjukkan dengan perbedaan warna.	41
Gambar 5. 17 Data SEM dan EDS untuk sampel dengan parameter tegangan 140 V titik 1.	44
Gambar 5. 18 Data SEM dan EDS untuk sampel dengan parameter tegangan 140 V titik 2.	45
Gambar 5. 19 Data SEM dan EDS untuk sampel dengan parameter tegangan 140 V titik 3.	46
Gambar 5. 20 a.) Foto plasma untuk variasi parameter temperatur substrat 150° C, b.) 200° C, dan c.) 250° C.	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Pengaruh tegangan RF terhadap temperatur elektron.	15
Tabel 2. 2 Pengaruh tegangan RF terhadap densitas elektron.	15
Tabel 4. 1 Parameter plasma sputtering	21
Tabel 5. 1 Nilai temperatur dan densitas elektron pada spektrum plasma argon murni dan plasma dalam proses deposisi.	33
Tabel 5. 2 Nilai temperatur dan densitas elektron untuk masing-masing parameter tegangan RF yang diberikan	35
Tabel 5. 3 Nilai temperatur dan densitas elektron untuk tiap pengambilan data spektrum plasma dengan variasi tegangan RF 120 V.	38
Tabel 5. 4 Rangkuman jumlah unsur yang terdeteksi dengan EDS dalam prosentase...	42
Tabel 5. 5 Nilai temperatur dan densitas elektron untuk masing-masing parameter temperatur substrat yang diberikan.....	47



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Quartz Crystal Microbalance (QCM) adalah alat yang bisa mendeteksi perubahan massa dengan tingkat akurasi dan sensitifitas yang sangat tinggi (V. M. Mecea 2006). Alat ini terdiri dari kuarsa AT-cut yang terdapat elektroda di kedua sisinya. Kuarsa akan menjadi suatu resonator dan memiliki frekuensi ketika tegangan diberikan pada elektroda. Ketika massa teradsorpsi diatas permukaan alat ini, akan timbul perubahan frekuensi yang sebanding dengan besarnya massa yang teradsorpsi. Dengan memperhatikan perubahan frekuensi resonator kuarsa inilah QCM bisa menentukan perubahan massa yang teradsorpsi dipermukaannya.

Beberapa aplikasi QCM yang sudah sering digunakan adalah sebagai biosensor dan sensor gas atau kelembapan. Untuk aplikasi sebagai biosensor, lapisan matriks dibutuhkan untuk imobilisasi biomolekul yang diinginkan. Bahan polimer yang kemudian dimodifikasi biasanya dipilih untuk menjadi lapisan tersebut. Seperti yang dilakukan Masruroh, dkk (2018) yang melakukan modifikasi lapisan polistiren pada permukaan QCM menggunakan plasma nitrogen, atau Sakti, dkk (2018) yang melakukan modifikasi polistiren menggunakan plasma atmosfer. Tidak terlalu berbeda dengan aplikasi untuk biosensor, sebagai sensor gas QCM juga membutuhkan lapisan tambahan dipermukaannya.

Sebagai sensor gas, karbon bisa menjadi pilihan yang baik untuk menjadi bahan pelapis QCM. Ini disebabkan karena karbon memiliki kemampuan adsorpsi molekul gas yang sangat baik. Terdapat beberapa penelitian yang telah membahas tentang pelapisan karbon dengan berbagai allotropnya pada permukaan QCM. Pelapisan grafit pada QCM akan meningkatkan stabilitas frekuensi, konduktifitas, dan lebih memungkinkan dalam produksi jika dibandingkan dengan lapisan yang bersifat organik (Kim et al. 1999).

Pelapisan graphene pada QCM untuk deteksi VOC dan kelembapan juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti (Huy et al. 2014; Jin et al. 2016; Yao et al. 2011; Zhihua et al. 2012). Pembuatan lapisan tipis karbon pada QCM bisa dilakukan dengan berbagai macam metode. Pada beberapa penelitian yang telah dijelaskan tadi secara umum metode yang digunakan adalah metode evaporasi, CVD, dan dip coating.

Proses pembuatan lapisan dengan metode yang telah dijelaskan sebelumnya, misal kita ambil contoh metode evaporasi, metode ini memiliki kelemahan seperti pada pelapisan permukaan yang memiliki pola, bagian yang terdeposisi hanya bagian yang tegak lurus dengan arah datangnya uap evaporasi. Selain itu, evaporasi untuk bahan paduan logam yang memiliki tekanan uap sangat rendah juga akan menjadi sulit (Sarkar 2013). Metode lain yang bisa digunakan adalah menggunakan metode plasma sputtering.

Plasma sering disebut sebagai bentuk ke empat dari materi. Ketika gas diberikan energi seperti menggunakan medan listrik atau magnet maka gas akan terionisasi sehingga terbentuk plasma. Plasma terdiri dari ion sebagai spesies bermuatan positif, elektron sebagai spesies bermuatan negatif, dan radikal, atom, dan molekul yang merupakan spesies netral. Spesies ion yang dipercepat karena pengaruh medan akan memiliki momentum dan ketika menumbuk suatu bahan akan terjadi mekanisme ion bombardment yang bisa melepaskan atom dari permukaan bahan tersebut.

Metode plasma sputtering memanfaatkan adanya mekanisme ion bombardment untuk melepaskan atom dari suatu bahan target, sehingga atom yang terlepas dari bahan target bisa membentuk lapisan disubstrat yang diinginkan. Maka dari itu, untuk pelapisan karbon diatas QCM dengan metode plasma sputtering karbon akan menjadi bahan target dan QCM sebagai substrat yang akan dilapisi.

Plasma sputtering bisa dilakukan dengan beberapa macam generator daya, seperti sputtering dengan sumber arus DC, sumber arus AC dengan frekuensi rendah (*low frequency*) ataupun dengan frekuensi tinggi (*radio frequency*). Beberapa penelitian

pendahuluan tentang deposisi karbon menggunakan plasma sputtering telah dilakukan. Prayudha (2016) dan Alim (2016) melakukan deposisi lapisan tipis karbon pada substrat kaca menggunakan metode sputtering gas argon dengan generator *low frequency* (40 Hz) sebagai sumber daya. Hasil yang didapatkan sudah terbentuk lapisan karbon meskipun masih belum merata. Dari penelitian Prayudha (2016), didapatkan bahwa semakin besar daya yang diberikan semakin rata hasil deposisi yang didapatkan.

Perkembangan kembali dilakukan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hakim, (2018), Putra (2018), dan Surya, (2018). Deposisi lapisan tipis karbon pada substrat kaca dilakukan dengan metode plasma sputtering gas argon. Sumber daya menggunakan generator RF dengan frekuensi 2 MHz, dan penambahan alat pemanas pada substrat. Dari penelitian Putra (2018) didapat kesimpulan bahwa deposisi yang paling rata terjadi pada tegangan 100 volt, dan kembali menurun pada tegangan 120 volt. Dalam penelitian ini juga diberikan alat tambahan yaitu pemanas meja substrat yang bisa dikontrol. Pemanas bisa digunakan untuk memanaskan meja substrat hingga $\pm 250^{\circ}\text{C}$, dan pada penelitian ini temperatur substrat dibuat tetap pada 200°C .

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penelitian ini akan mencoba menggabungkan parameter-parameter proses plasma sputtering yang telah didapat dan mengaplikasikannya pada proses deposisi lapisan tipis karbon di atas sensor QCM. Dengan mengambil fokus pada pengembangan desain reaktor plasma sputtering dan parameter yang dibahas adalah tegangan RF dan temperatur substrat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana desain reaktor yang cocok digunakan untuk proses plasma sputtering?

2. Bagaimana pengaruh tegangan RF dan temperatur substrat terhadap nilai temperatur dan densitas elektron plasma argon yang terbentuk?
3. Bagaimana morfologi dan komposisi hasil deposisi dengan sistem plasma yang digunakan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Reaktor plasma yang digunakan menggunakan generator RF dengan frekuensi 2 MHz
2. Tekanan chamber dibuat tetap sebesar 15 Pa.
3. Laju alir gas argon dibuat tetap sebesar 60 ml/menit.
4. DC bias dibuat tetap sebesar -500 V.
5. Waktu deposisi dibuat tetap selama 1 jam.

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui desain reaktor yang cocok digunakan untuk proses plasma sputtering.
2. Mengetahui pengaruh tegangan RF dan temperatur substrat terhadap nilai temperatur dan densitas elektron dari plasma argon yang terbentuk.
3. Mengetahui morfologi dan komposisi hasil deposisi dengan sistem plasma yang digunakan.

1.5 Manfaat

Dengan adanya penelitian ini diharapkan :

1. Didapatkan lapisan tipis karbon diatas sensor QCM yang bisa diaplikasikan untuk sensor gas.

2. Memberikan informasi temperatur dan densitas elektron dari plasma selama proses deposisi berlangsung.
3. Didapatkan parameter optimum yang bisa digunakan untuk deposisi lapisan tipis karbon di atas sensor QCM.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Quartz Crystal Microbalance (QCM) terlapisi karbon sebagai sensor gas

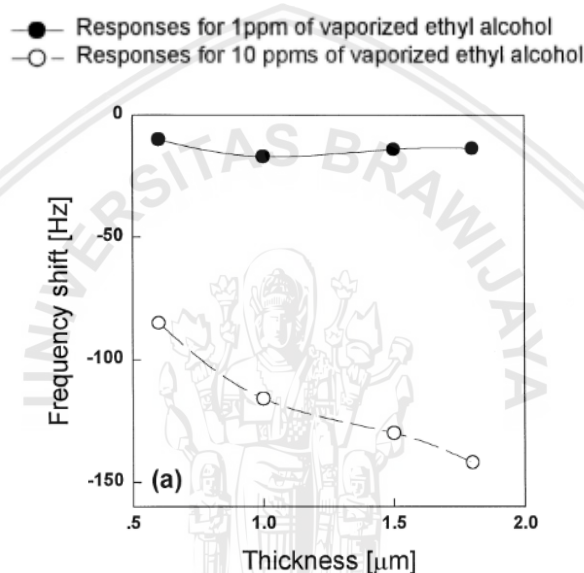
Penggunaan *quartz crystal resonator* atau kuarsa pada sensor QCM sebagai alat untuk mengukur massa pertama kali dicetuskan oleh Sauerbrey pada tahun 1959. Karena efek piezoelektrik, kuarsa akan memiliki frekuensi saat tegangan diaplikasikan kepadanya. Melalui perubahan frekuensi yang terukur saat terdapat massa yang teradsorpsi di atasnya maka besar massa yang teradsorpsi tadi bisa diketahui. Perubahan frekuensi yang terjadi pada resonator kuarsa akan sebanding dengan massa yang teradsorpsi di atasnya, hubungan ini bisa dilihat seperti pada persamaan Sauerbrey.

Perkembangan QCM menjadi sangat pesat karena melihat potensinya yang bisa digunakan untuk mendeteksi massa yang sangat kecil. Bahkan dikatakan bahwa QCM bisa mendeteksi massa sampai 10^{-16} kg, padahal jika menggunakan timbangan mikro analitik saja deteksi massa yang dicapai hanya sampai 10^{-10} kg (V. Mecea 2005).

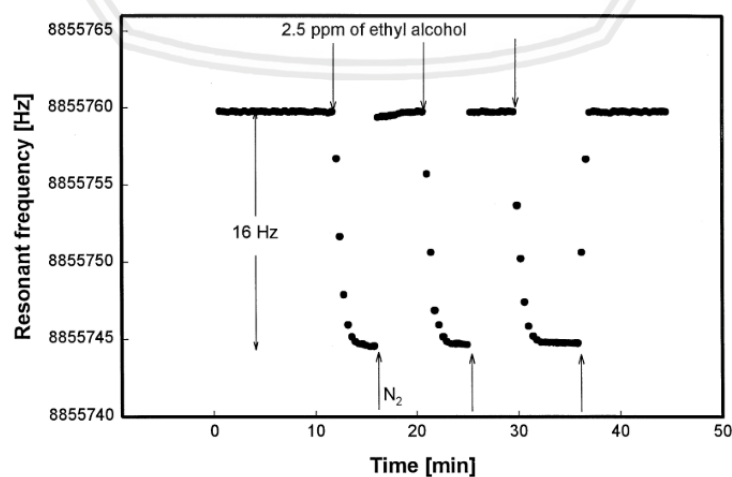
QCM bisa diaplikasikan pada berbagai macam bidang seperti pada pengukuran ketebalan lapisan tipis, pendeteksian biomolekul, adsorpsi dan desorpsi zat electrochemical, pengukuran kelembapan udara, deteksi senyawa volatile, dan masih banyak lagi (Qiao et al. 2016).

Sensor gas adalah salah satu aplikasi dari QCM. Dalam aplikasinya sebagai sensor gas perlu adanya suatu lapisan di atas QCM dimana lapisan ini harus bisa meningkatkan adsorpsi molekul gas yang diinginkan. Dalam aplikasi untuk deteksi kelembapan misalnya, *carbon nanotube* dan *graphene oxide* bisa digunakan untuk melapisi QCM (Yao et al. 2014; Zhang et al. 2005). Sedangkan untuk deteksi *volatile organic compound* (VOC) lapisan graphene, karbon yang teraktivasi, dan karbon grafit bisa digunakan (Han Kim and Jae Choi 2002; Huy et al. 2014; Kim et al. 1999).

Penggunaan karbon grafit sebagai bahan pelapis QCM dalam aplikasi sebagai sensor gas dapat meningkatkan sensitivitas dan kemampuan reproducibility dari sensor tersebut (Kim et al. 1999). Terlihat pada gambar 2.1 bahwa semakin tebal lapisan yang didapat maka akan meningkatkan *frequency shift* yang didapat. Sedangkan untuk reproducibility dari sensor yang dilapisi grafit ini bisa dilihat pada gambar 2.2. Pada gambar 2.2 terlihat bahwa sampai penggunaan tiga kali secara berturut-turut frekuensi resonansi yang dimiliki sensor masih belum terlalu mengalami perubahan.



Gambar 2. 1 Pengaruh ketebalan lapisan karbon grafit terhadap pergeseran frekuensi (Kim et al. 1999).



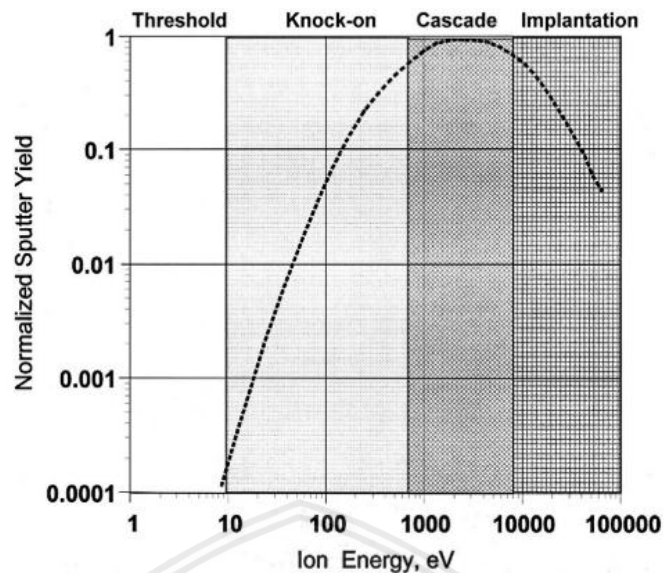
Gambar 2. 2 Sifat reproducibility dari QCM yang telah dilapisi grafit (Kim et al. 1999).

Dalam aplikasi sebagai sensor gas, karbon dipilih sebagai bahan untuk melapisi QCM karena sifat dari karbon yang diketahui bisa menyerap hampir semua senyawa organik (Han Kim and Jae Choi 2002; Kim et al. 1999). Sehingga, jika menggabungkan antara karbon yang merupakan absorben molekul gas yang baik, dan juga QCM yang merupakan alat pendeteksi massa yang sangat sensitif, diharapkan bisa didapatkan sensor gas yang sangat efektif.

2.2 Plasma sputtering

Sputtering adalah peristiwa terlemparnya suatu atom dari padatnya akibat terkena tumbukan dari suatu partikel berenergi tinggi. *Sputtering* biasanya digunakan untuk melapisi suatu bahan dengan bahan lainnya. Bahan yang ingin dilapisi akan menjadi bahan target dari partikel berenergi tinggi, sedangkan bahan yang ingin dilapisi akan menjadi substrat. Partikel berenergi tinggi yang digunakan biasanya merupakan suatu molekul inert sehingga tidak ada reaksi yang terjadi ketika terjadi tumbukan antaranya dengan bahan target. Selama proses plasma *sputtering* berlangsung tekanan akan dijaga pada tekanan yang rendah sekitar 10^{-3} Torr (Widodo 2012).

Tingkat keberhasilan dari proses sputtering sangat dipengaruhi oleh *sputtering yield*, dimana *sputtering yield* adalah jumlah berapa atom yang terlepas ketika satu ion menumbuk bahan target. Selain itu energi ion yang dimiliki ion ketika melakukan tumbukan juga harus melewati *threshold energy*, atau bisa disebut energi ion minimal yang dibutuhkan agar proses sputtering bisa terjadi (Sarkar 2013).



Gambar 2. 3 Pengaruh energi ion terhadap sputter yield (Sarkar 2013)

Sputtering bisa dibangkitkan dengan sumber tegangan DC maupun AC, untuk *sputtering* menggunakan pembangkit DC bahan target akan diletakkan pada bagian katoda dan substrat pada bagian anoda. Konfigurasi seperti ini dilakukan agar ion-ion positif yang terbentuk bisa menumbuk bahan target yang diletakkan pada elektroda yang bermuatan negatif (Widodo 2012).

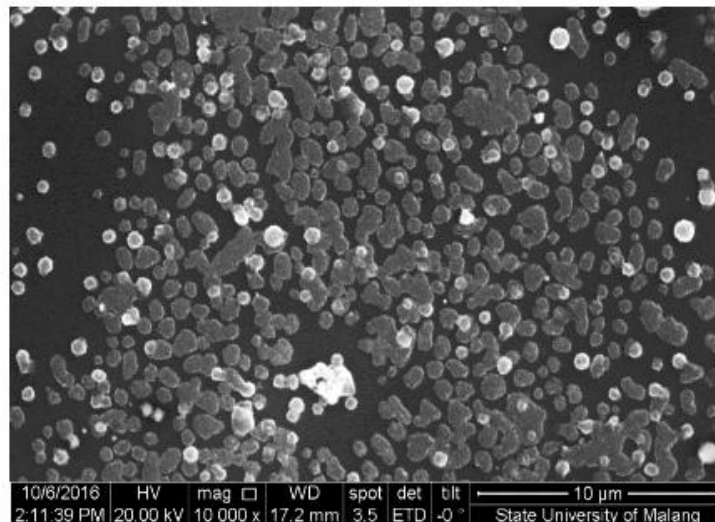
DC *sputtering* kurang cocok jika digunakan untuk pendeposisian bahan target yang memiliki sifat insulator. Ini terjadi karena penumpukan spesies bermuatan positif di atasnya yang menyebabkan timbulnya medan yang akan menolak ion yang akan bergerak menuju bahan target. Permasalahan ini akhirnya bisa diatasi dengan menggunakan plasma yang dibangkitkan dengan sumber tegangan RF (Sarkar 2013).

Sistem RF *sputtering* dilakukan dengan pembangkit yang memiliki frekuensi lebih tinggi daripada frekuensi resonansi ion dalam plasma, dan jauh lebih rendah dari frekuensi resonansi electron dalam plasma. Karena ada perbedaan mobilitas yang sangat tinggi dari ion dan elektron ini menyebabkan potensial dari daerah *glow* dalam plasma akan selalu lebih besar dari pada daerah elektroda (Koenig and Maissel 2010).

2.3 Plasma sputtering dalam pendeposisian lapisan karbon

Plasma *sputtering* telah digunakan untuk melakukan deposisi karbon diatas substrat kaca. Secara umum hasil yang didapatkan memperlihatkan sudah terbentuknya lapisan karbon namun masih belum bisa merata pada semua bagian substrat kaca. Menggunakan generator frekuensi rendah (40 kHz), laju alir gas argon 25 ml/menit, proses deposisi selama 3 jam, dan variasi daya sebesar 120, 160, dan 200 watt. Bahan target karbon yang digunakan masih dalam bentuk serbuk. Berdasarkan hasil FTIR, semakin besar daya yang digunakan semakin besar nilai absorbansi gugus C=C yang didapat, sehingga didapat kesimpulan bahwa semakin besar daya deposisi yang terjadi juga meningkat (Prayudha 2016).

Putra (2018) juga melakukan deposisi lapisan tipis karbon diatas substrat kaca. Menggunakan generator RF dengan frekuensi 2 MHz, bahan target yang sudah berbentuk pellet, waktu deposisi selama 1 jam, laju alir gas argon 54 ml/menit, tekanan selama proses deposisi 40 Pa, temperatur substrat 200° C, dan variasi tegangan generator RF mulai dari 80 volt, 100 volt, dan 120 volt. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa deposisi yang dilakukan masih menghasilkan bentuk pulau-pulau yang dianggap sebagai karbon. Semakin besar tegangan RF yang diberikan, maka semakin besar intensitas emisi gas argon yang didapat, namun hasil deposisi terbaik didapatkan pada tegangan RF 100 volt.

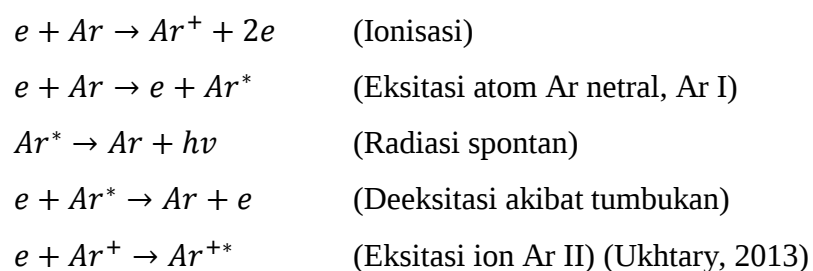


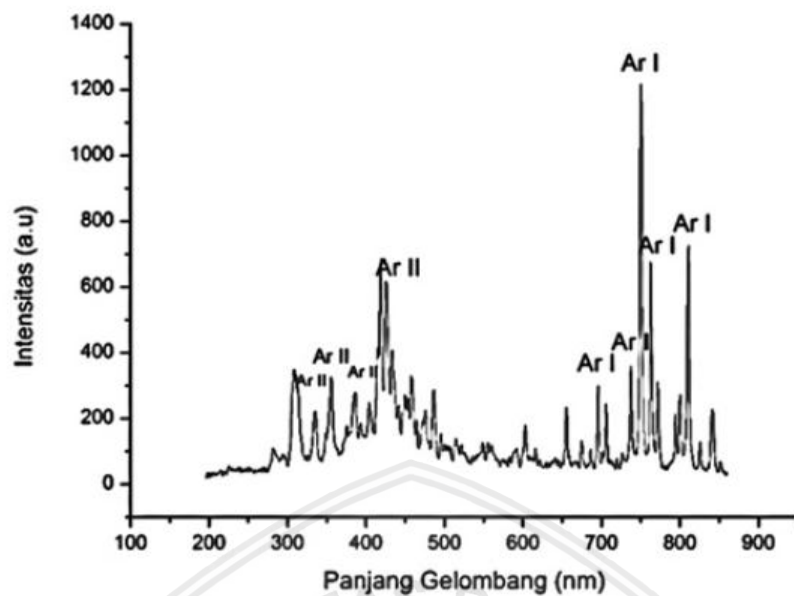
Gambar 2. 4 Hasil SEM lapisan karbon diatas substrat kaca (Prayudha 2016).

Deposisi karbon amorf terhidrogenasi diatas QCM telah berhasil dilakukan dengan metode sputtering. Menggunakan bahan target karbon grafit, gas campuran argon dan asetilen, laju alir total 30 ml/menit, dan tekanan deposisi 5×10^{-3} hPa (Kahn et al. 2011). Pelapisan boron-karbon juga berhasil dilakukan dengan metode plasma *sputtering*, dengan laju alir gas argon sebesar 30 ml/menit, lalu tekanan yang divariasi mulai 0.8 sampai 2 Pa, dan daya yang divariasi mulai 150 watt sampai 250 watt. Laju deposisi terbesar didapat dengan tekanan terkecil dan daya terbesar (Vassallo et al. 2013).

2.4 Plasma argon

Plasma sering disebut sebagai gas yang terionisasi. Namun pada dasarnya terdapat beberapa reaksi yang bisa terjadi di dalam plasma selain reaksi ionisasi seperti, eksitasi, deeksitasi, rekombinasi, dan disosiasi. Ketika gas argon digunakan sebagai sumber gas dalam pembentukan plasma, maka terdapat beberapa kemungkinan reaksi yang bisa terjadi seperti dibawah ini :





Gambar 2. 5 Hasil pengambilan data spektrum plasma argon menggunakan OES (Ukhtary, 2013)

Pada gambar 2.5 terlihat beberapa spesies yang terbentuk dalam plasma menggunakan sumber gas argon. Terdapat spesies Ar I yang merupakan atom argon yang tereksitasi, dan juga Ar II yang merupakan spesies ion Ar^+ .

2.5 Pengaruh tegangan RF terhadap temperatur dan densitas elektron

Dalam proses pembentukan spesies plasma yang telah dijelaskan di sub bab 2.4, sebagian besar reaksi dalam plasma diakibatkan oleh adanya elektron yang berinteraksi dengan molekul gas sehingga menghasilkan ion, spesies yang tereksitasi, maupun elektron. Oleh karenanya energi yang dimiliki elektron dalam plasma menjadi hal yang sangat penting dalam proses pembentukan spesies plasma. Dalam plasma biasanya tingkat energi dari elektron ditunjukkan dengan nilai temperatur elektron.

Pembentukan plasma memerlukan tegangan agar bisa bertahan dalam reaktor. Tegangan yang diberikan pada elektroda akan menghasilkan medan listrik yang kemudian akan memberikan energi kepada elektron di dalam plasma. Mekanisme pemberian energi dari medan listrik ke elektron ini disebut mekanisme *Ohmic Heating*,

dimana medan menyalurkan energinya pada elektron melalui tumbukannya dengan atom netral (Lieberman dan Lichtenberg 2005). Ketika diberikan suatu medan E pada plasma, maka daya rata-rata yang didapat per satuan elektron adalah

$$\overline{p_{ohm}} = \frac{1}{2} E_0^2 \frac{e^2 v_m}{m(v_m^2 + \omega^2)} \quad (2.1)$$

Dari persamaan daya, didapatkan perbandingan yang sebanding antara medan listrik dan energi yang didapatkan oleh elektron. Sehingga semakin besar medan listrik yang diberikan akan meningkatkan nilai temperatur elektron yang didapat. Dengan meningkatnya temperatur elektron, proses ionisasi dan reaksi-reaksi lainnya akan semakin sering terjadi sehingga akan meningkatkan nilai densitas elektron juga.

2.6 Pengaruh temperatur substrat terhadap temperatur dan densitas elektron

Dalam plasma terdapat daerah yang banyak terdapat elektron dan daerah yang banyak terdapat ion. Dua daerah ini terjadi akibat medan yang diberikan. Daerah yang banyak mengandung ion biasa disebut sheath. Dalam proses DC sputtering, dalam usaha menghilangkan sheath didaerah target, pemanasan target biasanya dilakukan agar terjadi *charge leakage* atau kebocoran arus yang bertujuan untuk memicu terjadinya rekombinasi sehingga sheath yang terbentuk bisa berkurang (Sarkar 2013).

Selain *Ohmic Heating*, pemberian energi dalam plasma bisa juga melalui mekanisme *Stochastic Heating*. Mekanisme ini memberikan energi pada elektron akibat adanya sheath dalam plasma. Ketika elektron mendekati daerah sheath, elektron seperti bola yang dipantulkan pada dinding keras karena adanya potensial listrik yang besar. Ketika mekanisme ini terjadi terus-menerus maka elektron akan mengalami peningkatan energi (Fridman 2008).

Pemberian temperatur pada substrat akan sekaligus memanaskan elektroda dibawahnya, sehingga bisa memicu terjadinya *charge leakage* dan mengurangi sheath yang terbentuk. Sheath yang berkurang akan mengurangi mekanisme *stochastic heating*,

sehingga temperatur elektron yang didapat juga berkurang. Karena nilai temperatur elektron yang menurun maka densitas elektron yang didapat juga akan menurun.

2.7 Karakterisasi plasma

Optical Emission Spectroscopy (OES) adalah metode yang digunakan untuk mengetahui spesies plasma melalui spektrum emisi yang dikeluarkan spesies-spesies plasma dalam proses pembentukannya. Selain untuk menentukan spesies plasma, hasil dari karakterisasi menggunakan OES juga bisa digunakan untuk mencari nilai temperatur dan densitas plasma. Untuk mencari temperatur plasma bisa digunakan menggunakan grafik Boltzman. Penentuan dengan metode ini diawali dengan membuat plot persamaan dibawah ini :

$$\ln \frac{I\lambda}{gA} = C - \frac{E_i}{kT} \quad (2.1)$$

Dimana λ merupakan panjang gelombang spektrum emisi dengan intensitas I , A merupakan probabilitas transisi, dan E_i merupakan energi level atas dari level transisi. Plot dibuat antara energi level atas dengan sumbu y merupakan sisi sebelah kiri dari persamaan (2.1). Dari hasil plot yang dilakukan akan didapatkan persamaan garis linier, dimana temperatur electron merupakan $1/m$ dari persamaan garis linier yang didapat (Ukhtary, Abdurrouf, and Masrurah 2013).

Sedangkan untuk densitas plasma, bisa dicari dengan membandingkan antara dua spektrum emisi dengan menggunakan persamaan Boltzman-Saha seperti dibawah ini :

$$n_e = \frac{(2\pi m k T)^{3/2}}{h^3} \left(\frac{2A^+ g^+ \lambda^0 I^0}{A^0 g^0 \lambda^+ I^+} \right) \exp \left[- \frac{E^+ - E^0 + E_i^0 - \Delta E_i^0}{k T_{ex}} \right] \quad (2.2)$$

Dengan E adalah energi dari level energi yang melakukan emisi, E_i^0 adalah energi ionisasi dari atom netral, dan ΔE_i^0 adalah penurunan energi ionisasi (Chaudhary 2003). Metode mencari temperatur dan densitas elektron seperti diatas telah banyak digunakan oleh beberapa peneliti untuk menentukan besar temperatur dan densitas elektron, baik dalam plasma oksigen (Heranaiawati 2018) ataupun plasma argon (Chaudhary 2003; Ukhtary, Abdurrouf, and Masrurah 2013).

Selanjutnya (Ukhtary 2013) juga telah melakukan karakterisasi plasma argon dan metana dengan beberapa parameter seperti tegangan RF, bias DC, dan laju alir gas. Parameter tegangan RF berpengaruh terhadap temperatur dan densitas elektron. Menggunakan tegangan RF mulai dari 200 volt, 225 volt, dan 250 volt, didapatkan bahwa

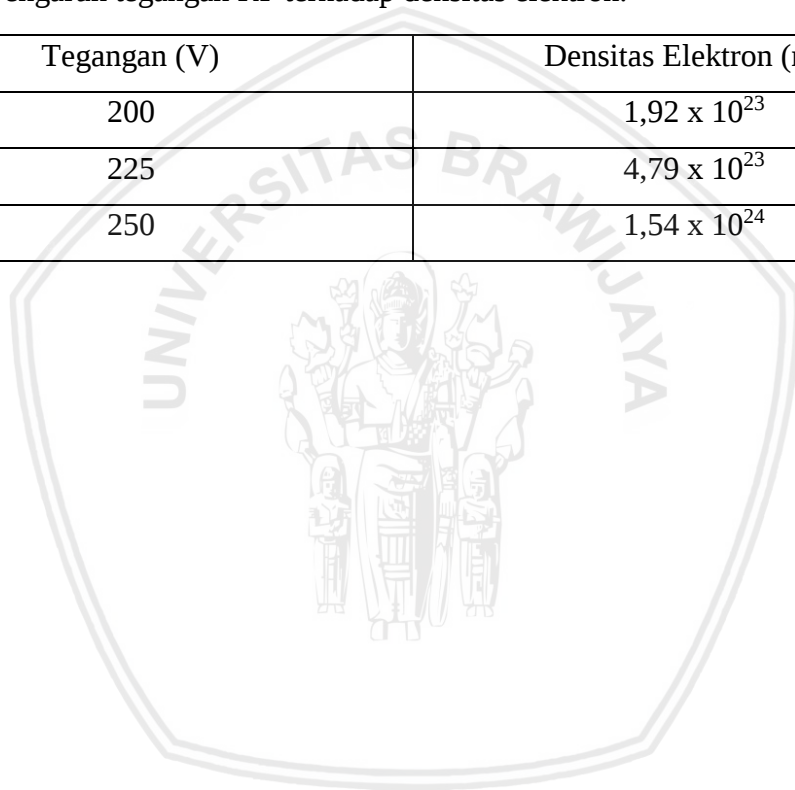
semakin besar tegangan RF yang diberikan semakin besar pula temperatur dan densitas elektron yang didapat.

Tabel 2. 1 Pengaruh tegangan RF terhadap temperatur elektron.

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

Tabel 2. 2 Pengaruh tegangan RF terhadap densitas elektron.

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



BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

Deposisi lapisan karbon pada sensor QCM adalah tujuan utama dalam penelitian ini. Pelapisan ditujukan agar sensor bisa diaplikasikan sebagai sensor gas. Metode pelapisan yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode plasma sputtering menggunakan gas argon. Plasma dibangkitkan dengan memberikan tegangan pada elektroda menggunakan sumber tegangan yang memiliki frekuensi 2 MHz. Ketika menjadi plasma, gas argon akan berubah menjadi spesies-spesies plasma seperti ion, elektron, radikal, dan atom netral. Salah satu parameter yang sangat berpengaruh dalam pembentukan plasma adalah tegangan yang diberikan.

Tegangan RF yang diberikan akan menimbulkan medan listrik sehingga bisa mempengaruhi spesies yang bermuatan di dalam plasma. Elektron yang terpengaruh medan listrik akan dipercepat berlawanan dengan arah medan. Sehingga besar medan listrik akan berpengaruh terhadap temperatur elektron, dimana selanjutnya bisa mempengaruhi proses ionisasi yang berpengaruh langsung terhadap proses pembentukan spesies-spesies plasma seperti ion dan elektron. Sedangkan, ketika spesies ion terpengaruh medan listrik, akan menimbulkan mekanisme *ion bombardment* dimana mekanisme ini akan berpengaruh langsung pada proses sputtering. Mekanisme bombardir oleh ion inilah yang akan menumbuk bahan target karbon, membuat atom karbon terlepas dari bahan target dan bisa terdeposisi pada substrat QCM.

Parameter temperatur substrat yang diberikan akan memanaskan plat katoda sehingga bisa memicu terjadinya *charge leakage*, proses ini akan melepaskan elektron pada daerah sheath sehingga memicu terjadinya proses rekombinasi, mengakibatkan berkurangnya tebal sheath yang terbentuk sehingga proses pemanasan elektron akibat stochastic heating juga akan berkurang. Oleh karena itu, nilai temperatur dan densitas elektron juga akan berkurang seiring dengan naiknya temperatur substrat.



BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei sampai Juni 2019 di Laboratorium Plasma dan Material Maju, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.

4.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

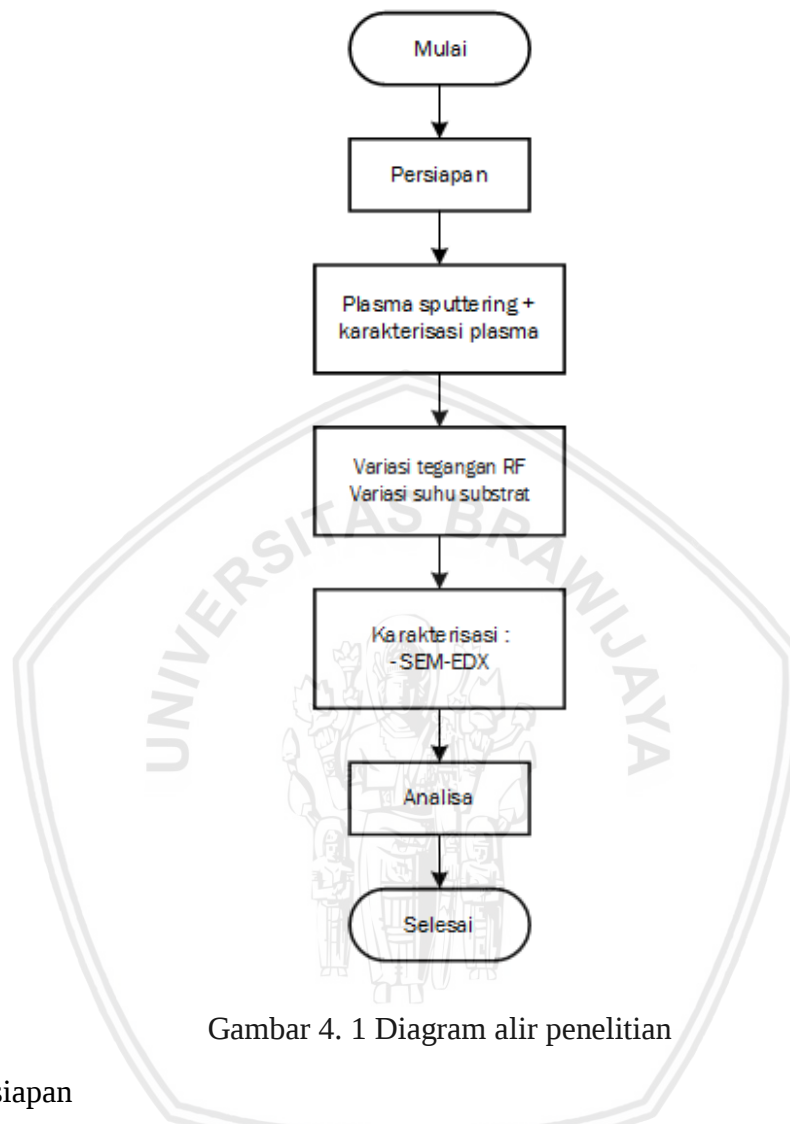
- Sistem plasma RF yang terdiri dari reaktor plasma, pompa vakum, generator RF, dan beberapa alat control parameter plasma seperti flowmeter, dan pressure gauge.
- Aurora 4000 spectrometer (*optical emission spectroscopy*)
- *Scanning electron microscope*
- Hollow cathode bentuk silinder

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- QCM sensor 10 MHz
- Gas argon
- Bahan target karbon
- Kapton tape
- Alkohol

4.3 Tahapan penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan seperti berikut :



Gambar 4. 1 Diagram alir penelitian

1. Persiapan
2. Proses plasma sputtering dengan variasi tegangan RF dan temperatur substrat sekaligus karakterisasi plasma
3. Karakterisasi lapisan hasil deposisi
4. Analisa hasil

4.3.1 Deposisi lapisan tipis karbon

Penelitian diawali dengan proses pendeposisian lapisan karbon diatas substrat QCM. Parameter yang diteliti dalam penelitian ini adalah tegangan generator RF dan temperatur substrat. Pertama, untuk deposisi lapisan tipis karbon dengan variasi parameter tegangan

generator RF. Penelitian dimulai dengan persiapan reaktor plasma. Persiapan disini adalah pemasangan alat pemanas substrat, pemasangan set alat pengatur temperatur, pemasangan filter untuk pressure gauge, pemasangan bahan target karbon dan substrat QCM didalam hollow cathode, pembersihan reaktor plasma. Setelah reaktor ditutup alat Aurora 4000 spectrometer dipasang di jendela reaktor.

Setelah semua siap, reaktor plasma kemudian divakum sampai mendapat tekanan 4 Pa, ini bertujuan menghilangkan molekul-molekul gas lain selain argon, sehingga ketika proses plasma berjalan diusahakan tidak ada pengaruh dari molekul-molekul lain yang tidak diinginkan. Setelah didapatkan tekanan sebesar 4 Pa, kemudian dilakukan pemanasan substrat. Pemanasan substrat dilakukan sesuai variasi yang akan dilakukan atau akan dibuat tetap pada 200° C pada saat melakukan variasi pada tegangan generator RF. Saat temperatur substrat mencapai temperatur yang diinginkan, maka gas argon bisa dimasukkan ke dalam reaktor plasma. Gas argon dimasukkan dengan laju alir tetap sebesar 60 ml/menit. Bersamaan dengan memasukkan gas argon, tekanan di dalam reaktor diatur sampai 60 Pa. Setelah tekanan sampai 60 Pa, tegangan RF bisa dimasukkan. Ketika tegangan RF dimasukkan plasma akan menyala dan tekanan akan naik sampai 80 Pa, setelah itu secara konstan tekanan diturunkan sampai tekanan kerja yaitu 15 Pa. Proses ini bertujuan agar proses trapping bisa terjadi dengan baik.

Deposisi dilakukan dalam waktu 1 jam sejak tekanan mencapai 15 Pa. Dan perlu diingat bahwa tekanan harus tetap dijaga dengan memutar valve rotary pump agar tekanan selama proses tetap di 15 Pa. Selain itu, selama plasma berlangsung pengambilan data OES juga harus dilakukan untuk mengetahui spesies apa yang muncul saat proses deposisi berlangsung.

Tabel 4. 1 Parameter plasma sputtering

Parameter Variasi	Parameter Tetap
Tegangan RF : 100 volt, 120 volt, dan 140 volt	Tekanan : 15 Pa Temperatur substrat : 200° C Waktu : 60 menit Laju alir : 60 mL/menit
Temperatur substrat : 150° C, 200° C, dan 250° C	Tegangan RF : 140 volt Tekanan : 15 Pa Waktu : 60 menit Laju alir : 60 mL/menit

4.3.2 Karakterisasi plasma

Karakterisasi plasma dilakukan dengan menggunakan metode *Optical Emission Spectroscopy*, dengan menggunakan spektrometer Aurora 4000. Dari spektrometer ini akan didapatkan data spektrum plasma dalam bentuk grafik dengan sumbu x mewakili panjang gelombang dan sumbu y mewakili intensitas.

Dari data spektrum tersebut kemudian dicari nilai panjang gelombang dan intensitas untuk tiap puncak yang didapatkan menggunakan program peakfit. Hasil panjang gelombang dari tiap puncak inilah yang akan dicocokkan dengan database NIST agar bisa diketahui spesies apa yang muncul dalam plasma yang bangkitkan.

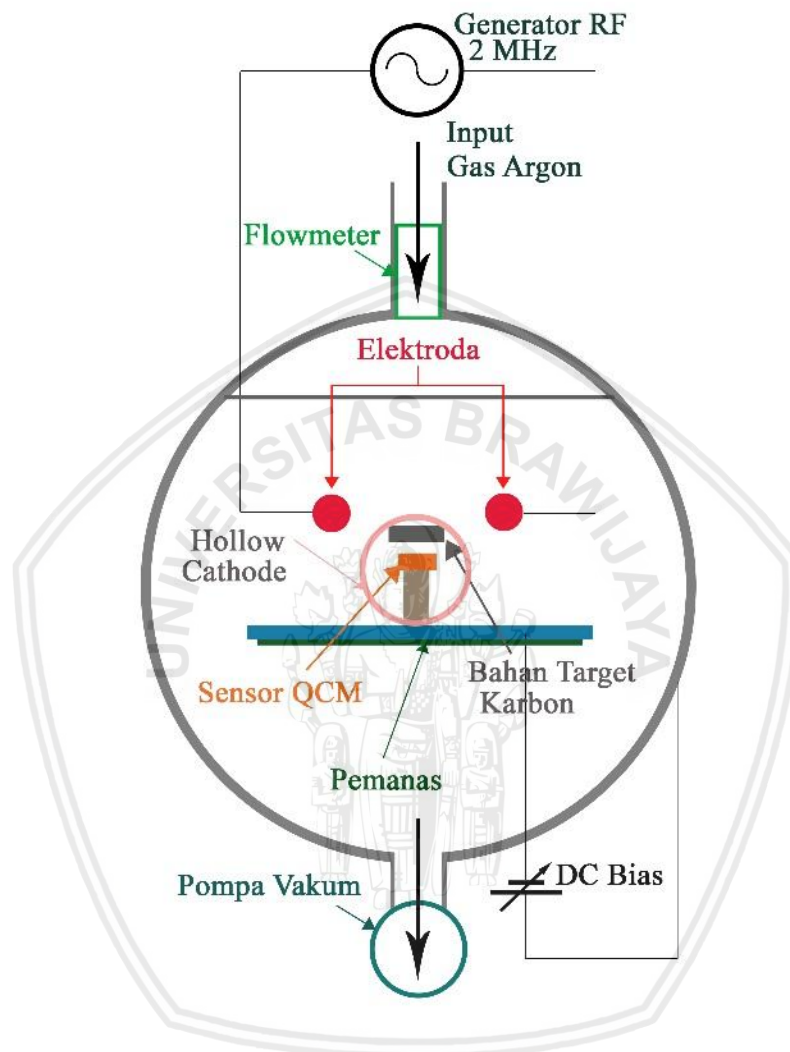
Sedangkan untuk karakterisasi temperatur dan densitas elektron, digunakan metode seperti yang pernah digunakan sebelumnya. Temperatur elektron dicari menggunakan metode plot Boltzmann. Sedangkan densitas elektron dihitung menggunakan metode saha-boltzmann.

4.3.3 Karakterisasi dan analisa hasil deposisi

Setelah proses deposisi selesai, lapisan dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX. Karakterisasi menggunakan SEM-EDX digunakan untuk mengetahui morfologi lapisan

yang terbentuk, sekaligus dengan unsur apa yang sebenarnya terdapat pada lapisan tersebut.

4.4 Skema reaktor plasma sputtering



Gambar 4. 2 Skema reaktor plasma sputtering untuk deposisi lapisan karbon.

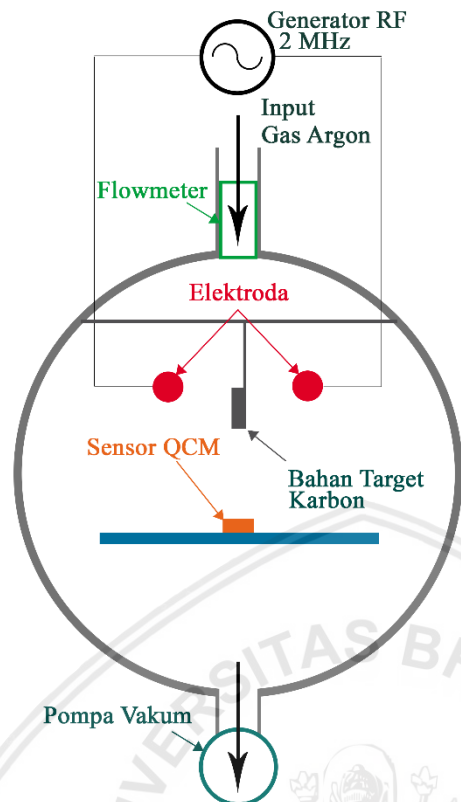
BAB V PEMBAHASAN

5.1 Pengaruh desain reaktor terhadap spesies plasma yang terbentuk

Dalam proses penumbuhan lapisan tipis dengan metode plasma sputtering, terdapat satu spesies yang sangat berperan penting yaitu spesies ion Argon. Dalam pengaruh medan listrik, spesies ion Argon akan melakukan proses ion bombardment terhadap bahan target sehingga terlepas (*sputtered*) dan bisa terdeposisi dipermukaan substrat. Maka dari itu, uji spesies plasma dilakukan untuk mengetahui spesies apa saja yang muncul dalam plasma yang telah dibangkitkan.

Uji coba pertama dilakukan menggunakan desain reaktor dan parameter seperti pada gambar 5.1, sehingga didapatkan hasil spektrum seperti pada gambar 5.2. Pada gambar 5.2 terlihat bahwa spesies plasma yang dihasilkan oleh desain reaktor uji coba pertama sebagian besar merupakan spesies Ar I (atom Argon yang tereksitasi), dan hanya satu puncak Ar II (ion Argon). Karena spesies Ar II yang dihasilkan masih sedikit bisa diambil kesimpulan bahwa dengan desain seperti gambar 5.1 akan sulit jika digunakan untuk proses plasma sputtering. Beberapa trial sudah dilakukan menggunakan desain reaktor uji coba pertama namun belum didapatkan lapisan karbon pada substrat yang digunakan.

Dalam proses deposisi menggunakan plasma sputtering, terdapat tiga proses utama yang terjadi didalamnya. Pertama, proses sputtering pada bahan target, proses transfer atom yang ter-sputtering, dan juga proses terbentuknya lapisan pada substrat. Pada desain reaktor uji coba pertama, kemungkinan proses transfer atom hasil sputtering menuju substrat akan sulit dilakukan karena arah medan yang horizontal sedangkan arah bahan target dan substrat yang vertikal.



Parameter plasma:

P : 15 Pa

V RF : 120 V

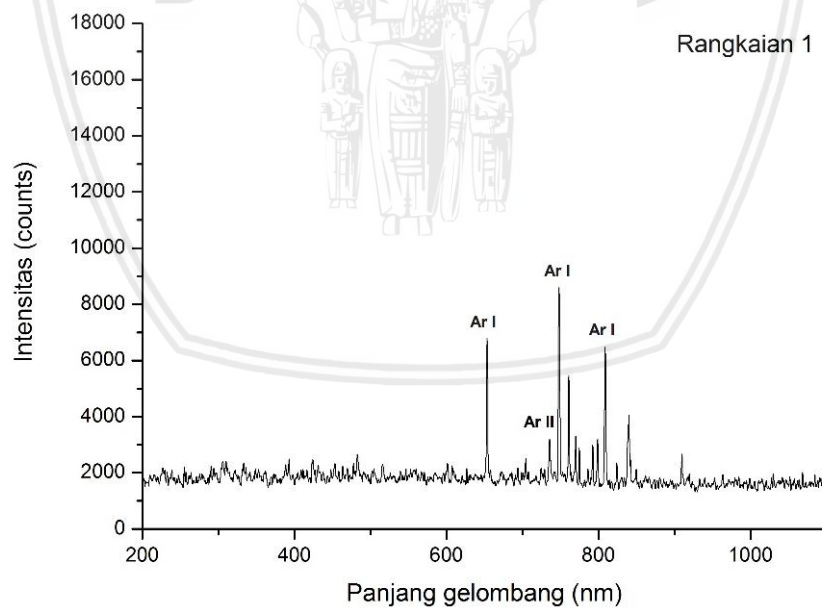
T : 200°C

Q : 40 mL/menit

t : 60 menit

Jarak meja : 10 cm

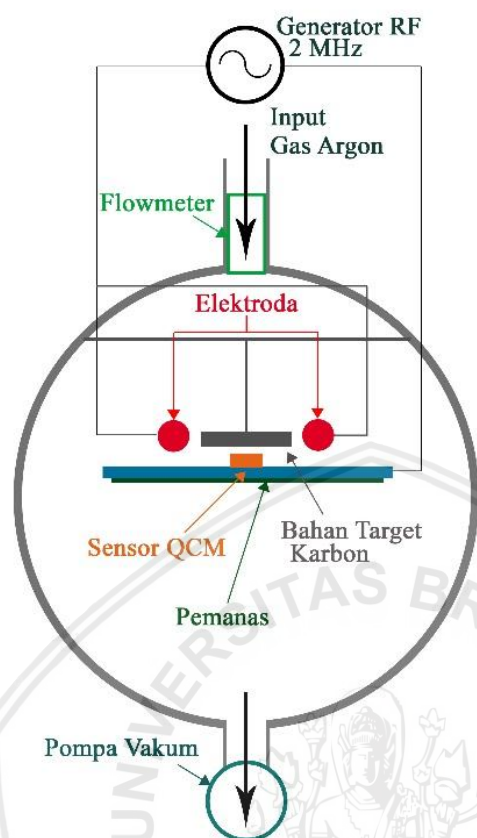
Gambar 5. 1 Desain reaktor dan parameter plasma untuk uji coba pertama.



Gambar 5. 2 Hasil spektrum OES dari reaktor uji coba pertama.

Oleh karenanya, desain reaktor uji coba pertama kemudian diubah agar proses transfer atom hasil sputtering bisa lebih memungkinkan untuk terjadi. Desain kemudian diubah seperti pada gambar 5.3. Pada desain reaktor uji coba kedua, tegangan RF yang semula dihubungkan antara dua elektroda silinder pada bagian atas diubah menjadi antara dua elektroda silinder dengan plat meja tempat substrat berada. Dengan mengubah posisi pemberian tegangan RF seperti ini arah medan yang terbentuk berubah menjadi ke arah vertikal sama dengan posisi substrat dan bahan target. Diharapkan proses transfer atom akan menjadi lebih bagus dengan perubahan desain yang dilakukan.

Perubahan desain yang dilakukan tidak berpengaruh pada spesies apa saja yang muncul dalam plasma, terlihat dengan puncak yang muncul tetap pada panjang gelombang yang sama dengan spektrum plasma desain sebelumnya. Namun perubahan desain ini berdampak pada intensitasnya. Hasil OES yang didapat untuk desain reaktor uji coba kedua bisa dilihat pada gambar 5.4. Terlihat pada gambar bahwa intensitas spesies yang didapatkan menurun. Jika pada desain pertama intensitas (sebelum dikurangi dengan background) puncak tertinggi bisa mencapai 8000 counts, pada desain kedua puncak tertinggi hanya bisa mencapai 6000 counts. Penurunan intensitas ini mungkin karena perbedaan luas penampang dari elektroda yang digunakan sehingga medan listrik yang dihasilkan menjadi tidak rata. Dan akibatnya berpengaruh terhadap pembentukan plasma yang terjadi.



Parameter plasma:

P : 15 Pa

V RF : 120 V

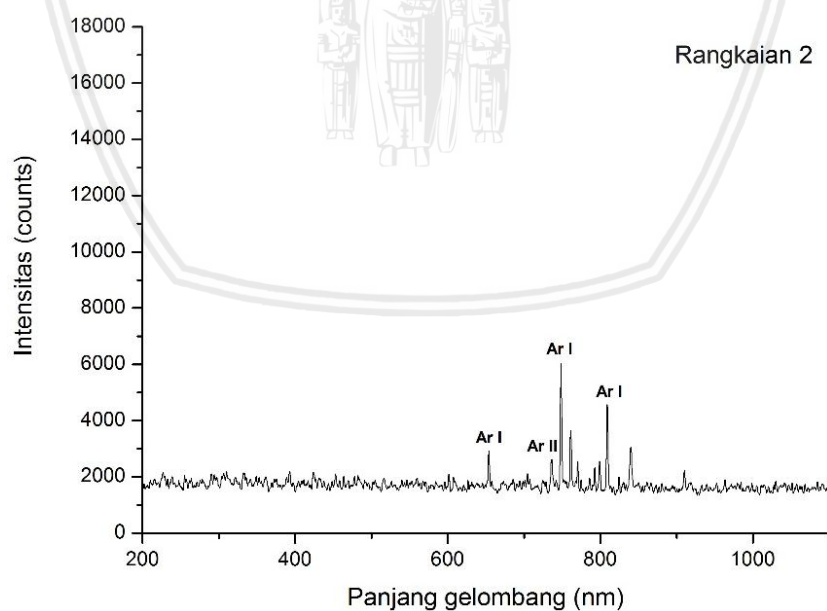
T : 200°C

Q : 30 mL/menit

t : 60 menit

Jarak meja : 1 cm

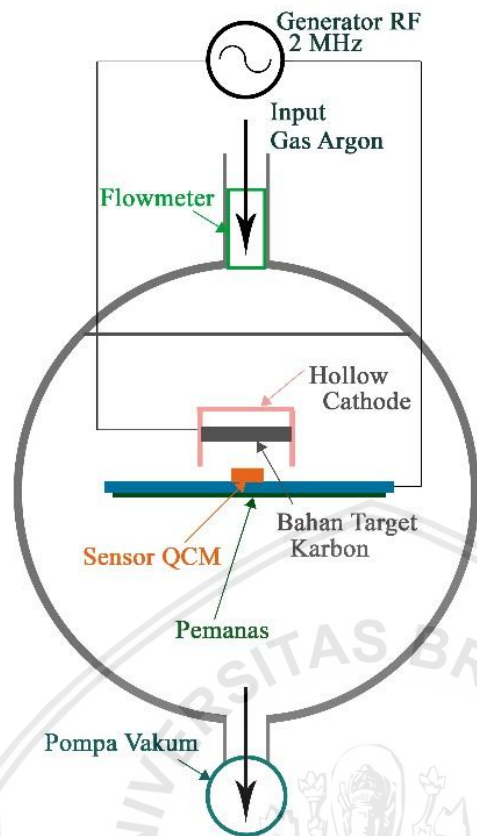
Gambar 5. 3 Desain reaktor dan parameter plasma untuk uji coba kedua.



Gambar 5. 4 Hasil spektrum OES dari reaktor uji coba kedua.

Ion argon merupakan spesies yang berpengaruh dalam proses sputtering, fokus yang dilakukan akhirnya adalah mencari desain reaktor yang bisa memunculkan spesies ion argon. Salah satu cara meningkatkan energi yang diberikan pada elektron saat pembangkitan plasma adalah menggunakan mekanisme trapping dengan menambahkan hollow cathode dalam chamber. Penggunaan hollow cathode akan meningkatkan arus yang terdapat didalamnya sehingga daerah negative glow bisa terbentuk didalamnya (Fridman 2008). Hollow cathode dibuat dengan bentuk balok dengan salah satu sisi terbuka. Namun jika dilihat pada gambar 5.5 hollow cathode yang dibuat tidak difungsikan murni sebagai hollow cathode tetapi sebagai elektroda yang diharapkan sekaligus bisa memiliki fungsi trapping seperti hollow cathode. Rangkaian hollow kotak ini sebenarnya mirip dengan desain kedua hanya saja elektroda silinder bagian atas diubah dengan hollow yang telah dibuat.

Rangkaian kedua dipilih agar arah medan yang didapat searah dengan posisi substrat dan bahan target, dan dengan mengganti elektroda silinder atas dengan hollow cathode diharapkan bisa meningkatkan intensitas spesies argon dan memunculkan spesies ion argon yang sebelumnya masih belum muncul. Hasil spektrum dari desain reaktor dengan hollow kotak ini bisa dilihat pada gambar 5.6. Dari gambar 5.6 bisa disimpulkan bahwa pemasangan hollow sebagai elektroda bisa meningkatkan intensitas plasma yang didapatkan. Selain itu, pada range panjang gelombang rendah sekitar 300 nm didapatkan satu puncak baru yang ketika dicocokkan dengan database merupakan spesies Ar II atau ion argon (Ar^+). Dari hasil OES ini bisa disimpulkan bahwa penambahan hollow ternyata sudah bisa memunculkan satu spesies ion argon.



Parameter plasma:

P : 15 Pa

V RF : 120 V

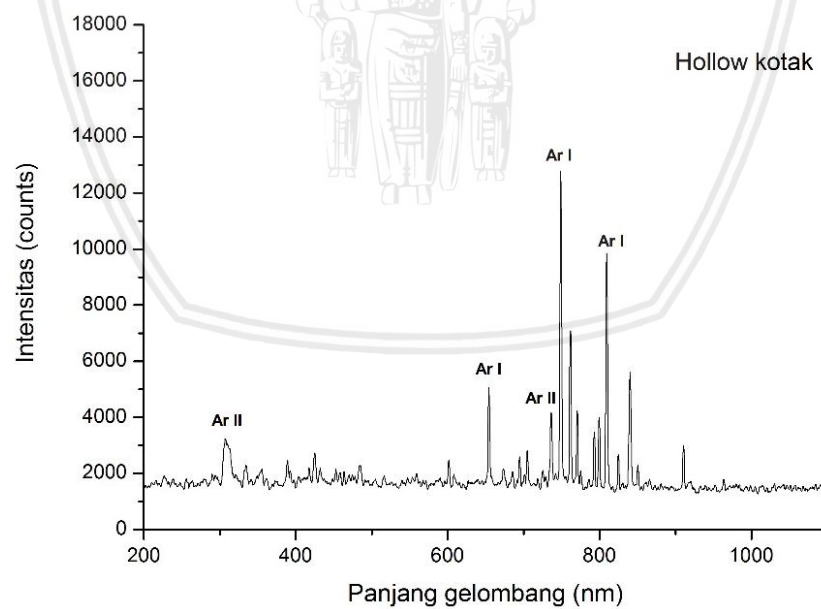
T : 200°C

Q : 60 mL/menit

t : 60 menit

Jarak meja : 1 cm

Gambar 5. 5 Desain reaktor dan parameter plasma untuk uji hollow kotak.



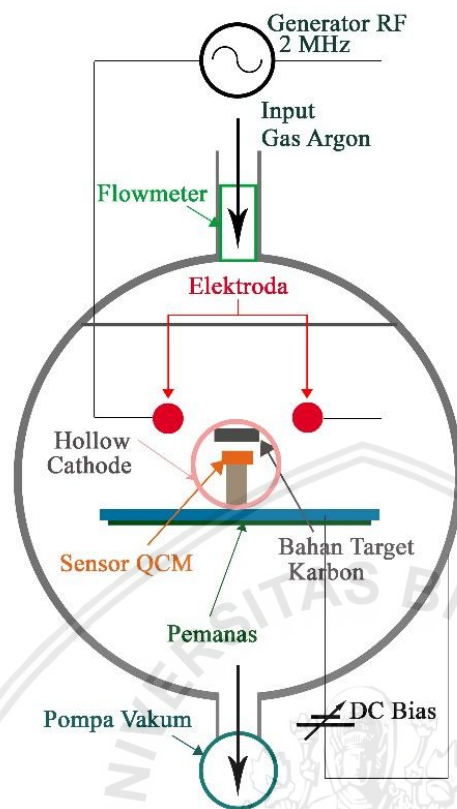
Gambar 5. 6 Hasil spektrum OES dari reaktor dengan hollow kotak.

Penggunaan hollow cathode bisa meningkatkan intensitas plasma bahkan memunculkan spesies baru. Ini mungkin karena hollow bisa menimbulkan sheath dipermukaan dalam hollow yang akan memicu proses terjadinya stochastic heating. Proses stochastic heating inilah yang akhirnya berperan meningkatkan energi yang didapatkan molekul gas sehingga bisa didapatkan intensitas lebih tinggi bahkan memunculkan spesies ion argon.

Agar didapatkan plasma dengan intensitas sekaligus memiliki spesies ion argon yang cukup tinggi, maka disimpulkan untuk mencoba menambahkan hollow cathode pada rangkaian pertama. Sehingga didapatkan desain reaktor untuk hollow silinder seperti pada gambar 5.7. Hasil OES plasma dari reaktor dengan hollow silinder ditunjukkan pada gambar 5.8. Dari gambar 5.8 terlihat bahwa desain baru dengan hollow cathode yang digunakan telah bisa meningkatkan intensitas plasma sekaligus memunculkan spesies ion argon didalam plasma. Spesies ion argon disini muncul pada range panjang gelombang 300 – 500 nm.

Bahkan jika kita bandingkan, intensitas spesies ion argon yang muncul pada reaktor dengan hollow silinder lebih tinggi dari pada intensitas ion argon yang muncul pada reaktor dengan hollow kotak. Selain itu, reaktor dengan hollow silinder juga berhasil memunculkan beberapa spesies ion argon baru selain spesies ion argon pada panjang gelombang 300 nm. Terbukti dengan munculnya puncak baru yang sebelumnya tidak ada pada hasil OES plasma dengan hollow kotak.

Desain reaktor dengan hollow silinder akan digunakan untuk melakukan optimasi parameter plasma dalam penelitian ini yaitu tegangan RF dan temperatur substrat. Rangkaian ini dipilih karena telah bisa memunculkan spesies ion argon (Ar II).



Parameter plasma:

P : 15 Pa

V RF : 120 V

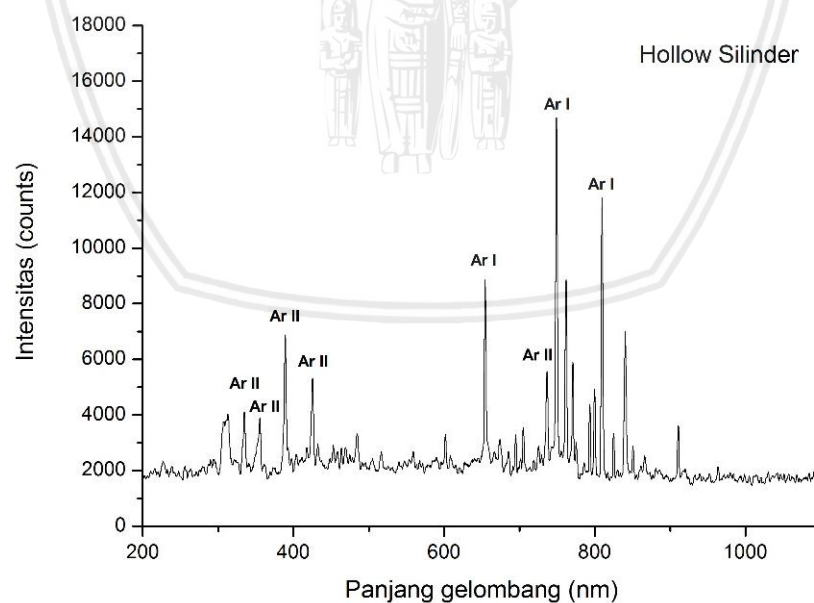
T : 200°C

Q : 60 mL/menit

t : 60 menit

DC : - 500 V

Gambar 5. 7 Desain reaktor dan parameter plasma untuk uji hollow silinder.

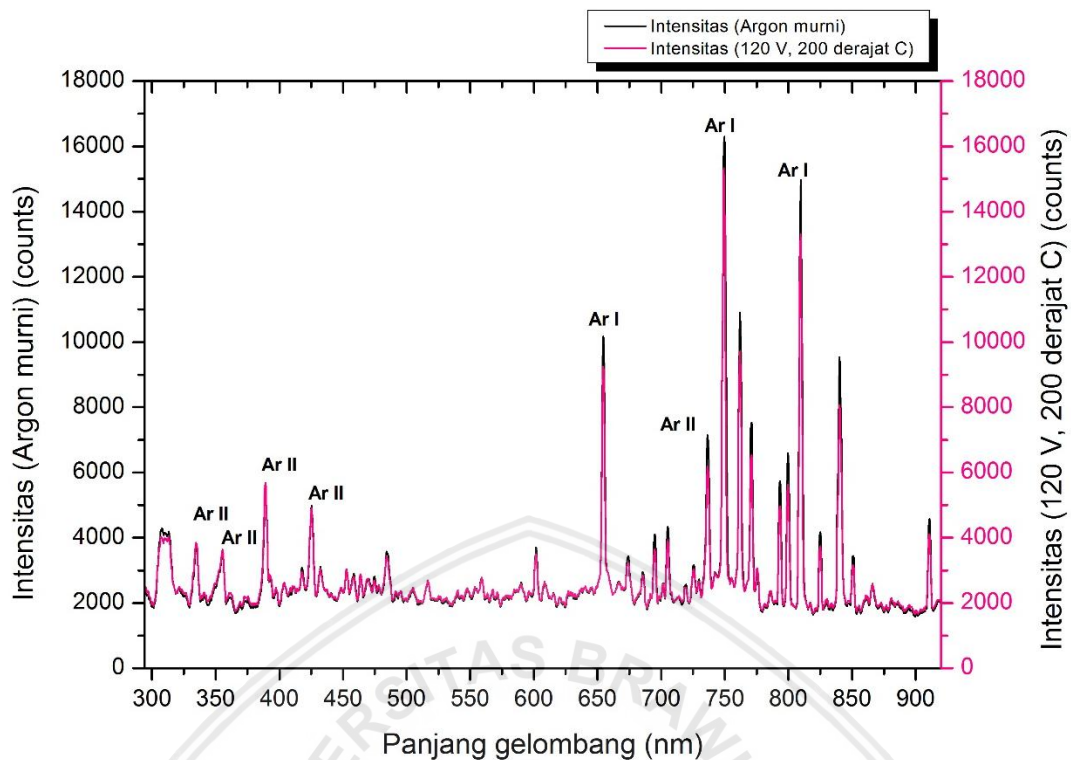


Gambar 5. 8 Hasil spektrum OES dari reaktor dengan hollow silinder.

5.1.1 Penentuan spesies yang terbentuk dalam proses plasma

Spesies yang terbentuk dalam plasma bisa didapat dengan mencocokkan puncak-puncak yang didapatkan dengan basis data. Basis data yang dimaksud disini bisa bersumber dari jurnal maupun basis data seperti NIST. Dalam penentuan spesies plasma, terdapat kesulitan seperti dua spesies yang memiliki spektrum pada panjang gelombang yang sama. Bisa diambil contoh ketika kita membahas spesies plasma Nitrogen, pada panjang gelombang 389 nm bisa dikatakan adalah spesies dari N I atau spesies atom Nitrogen yang tereksitasi. Sedangkan, jika kita lihat pada basis data untuk spektrum atom Argon, panjang gelombang 389 nm juga bisa dikatakan sebagai spesies Ar II atau spesies ion Ar^+ .

Oleh karenanya, pada penelitian ini juga dilakukan pengambilan data spektrum plasma Argon murni. Plasma Argon murni disini adalah pembangkitan plasma tanpa memasukkan substrat dan bahan target ke dalam chamber. Pengambilan data spektrum plasma Argon murni ini bertujuan untuk membandingkan spesies yang muncul ketika plasma Argon dibangkitkan tanpa substrat dan bahan target, dengan spesies ketika plasma dibangkitkan dan digunakan dalam proses deposisi.



Gambar 5. 9 Spektrum plasma argon murni dan plasma dalam proses deposisi.

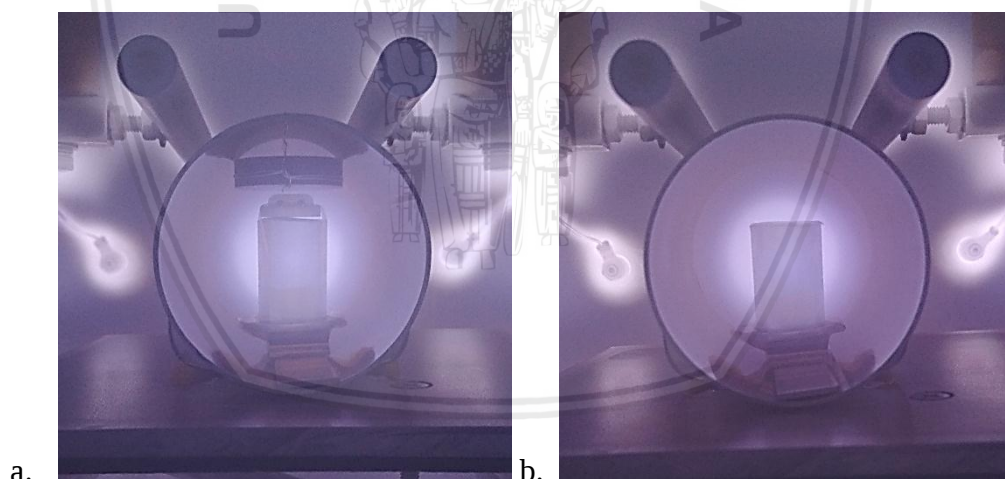
Gambar 5.9 menunjukkan perbandingan spesies yang terbentuk antara plasma Argon murni dengan plasma Argon dalam proses deposisi. Parameter pembangkitan plasma yang digunakan dibuat sama yaitu menggunakan tegangan RF 120 V, temperatur substrat 200° C, tekanan chamber 15 Pa, laju alir gas Argon 60 ml/menit, DC bias -500 V, dan durasi selama 60 menit. Grafik dengan warna hitam merupakan spektrum plasma Argon murni, dan grafik berwarna biru merupakan spektrum plasma Argon dalam proses deposisi. Dengan membandingkan panjang gelombang yang didapat dengan basis data NIST, didapatkan bahwa spesies yang muncul didominasi oleh spesies Ar I dan Ar II. Spesies Ar I atau atom Argon yang tereksitasi muncul pada range panjang gelombang 600 – 900 nm, sedangkan spesies Ar II atau ion Ar^+ muncul pada range panjang gelombang 300 – 500 nm.

Dari gambar 5.9 juga bisa diambil kesimpulan bahwa tidak ada spesies baru selain Argon yang muncul dalam plasma Argon ketika proses deposisi. Ini dikarenakan karena

tidak munculnya puncak dengan panjang gelombang yang berbeda. Sedikit perbedaan yang muncul hanya pada intensitas yang didapat. Agar lebih terlihat lebih jelas, gambar 5.11 a. menunjukkan perbesaran gambar 5.9 pada bagian panjang gelombang 300 – 500 nm. Terlihat bahwa spektrum dari dua proses yang dibandingkan (plasma argon murni dan plasma dalam proses deposisi) terlihat sama. Perbedaan baru terlihat pada gambar 5.11 b., dimana intensitas spesies pada spektrum plasma argon murni sedikit lebih tinggi dari pada plasma dalam proses deposisi.

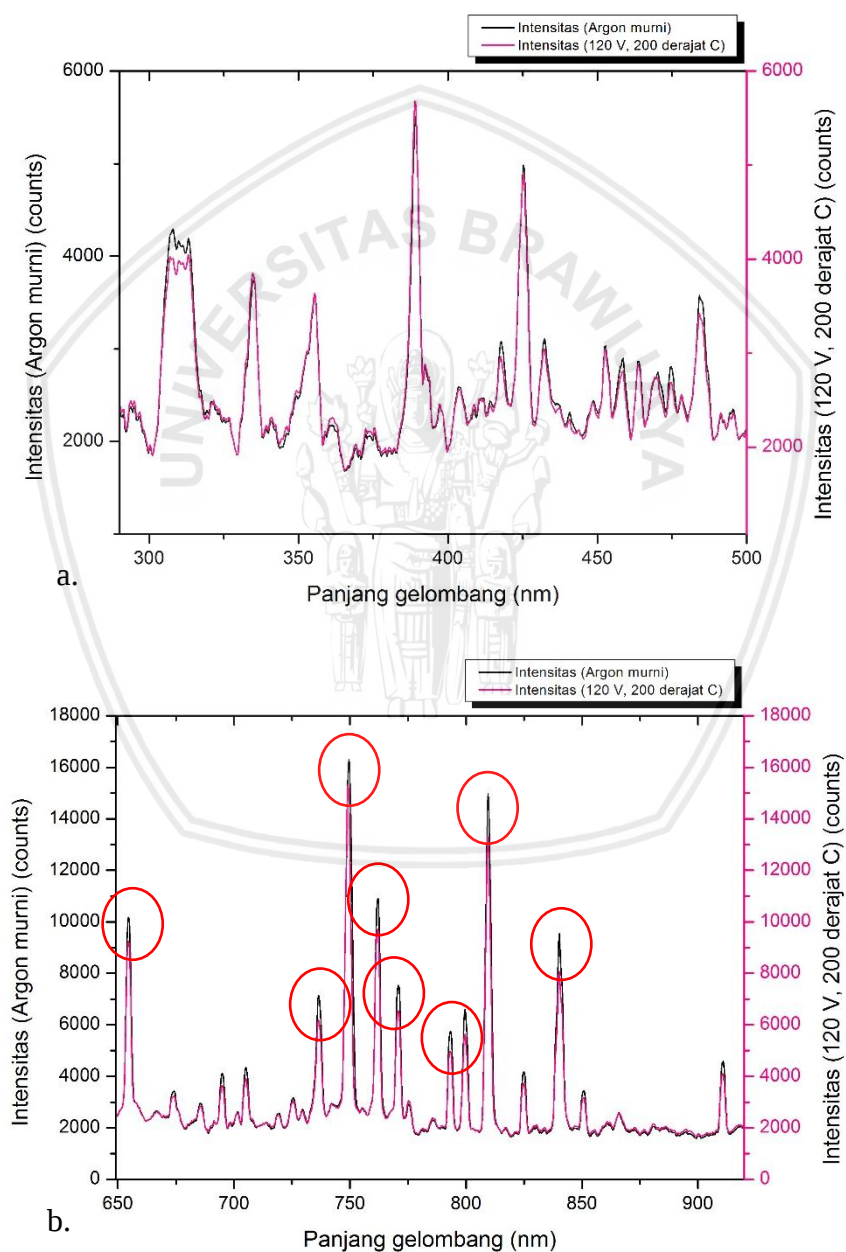
Tabel 5. 1 Nilai temperatur dan densitas elektron pada spektrum plasma argon murni dan plasma dalam proses deposisi.

Plasma (120 V, 200° C)	Temperatur elektron (eV)	Densitas elektron (m^{-3})
Argon murni	0.90424089	2.64E+17
Proses deposisi	0.884877444	1.00E+17



Gambar 5. 10 a. Foto plasma ketika proses deposisi berlangsung, b. Foto plasma ketika pengambilan spektrum Argon murni.

Berkurangnya *sheath* yang terbentuk bisa terlihat dari foto plasma yang ada pada gambar 5.10 a., dan b. Gambar 5.10 b. merupakan foto plasma Argon murni, terlihat *sheath* yang terbentuk pada gambar ini lebih gelap dari gambar 5.10 a., sehingga terlihat juga bahwa intensitas plasma yang terjebak hollow pada plasma Argon murni sedikit lebih terang daripada plasma saat proses deposisi.



Gambar 5. 11 a. Perbesaran gambar 4.1 untuk panjang gelombang 300 – 500 nm, b. Panjang gelombang 600 – 950 nm.

5.2 Pengaruh tegangan RF terhadap nilai temperatur dan densitas elektron dalam plasma

Tegangan RF dibutuhkan untuk membangkitkan plasma sekaligus mempertahankan plasma agar tetap terbentuk selama proses sputtering. Tegangan RF menjadi sangat penting karena dari sinilah sumber energi yang digunakan elektron untuk tetap melakukan proses eksitasi maupun ionisasi sehingga plasma tetap terbentuk dalam chamber. Maka dari itu dalam penelitian ini dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh tegangan RF terhadap temperatur dan densitas elektron dalam plasma.

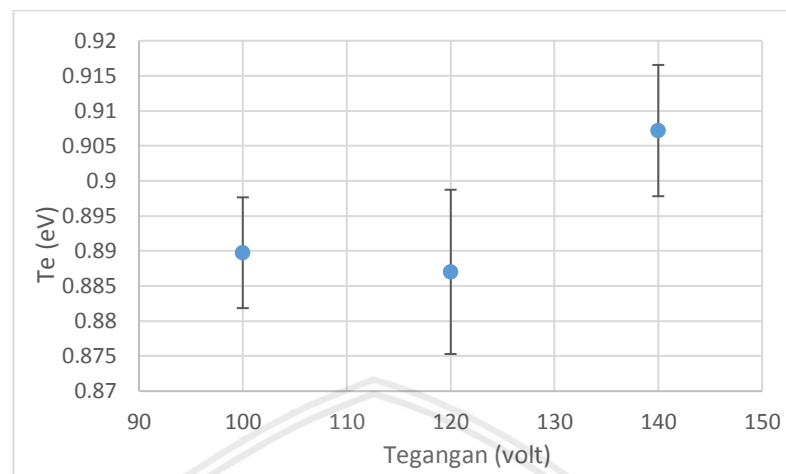
Variasi tegangan RF yang digunakan dalam penelitian ini mulai dari 100 volt, 120 volt, dan 140 volt. Dengan memberikan variasi tegangan akan berpengaruh terhadap nilai temperatur dan densitas elektron dari plasma yang didapat. Nilai temperatur elektron didapatkan menggunakan metode plot Boltzmann, sedangkan nilai densitas plasma didapat menggunakan metode Saha-Boltzmann seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada tinjauan pustaka. Dengan kedua metode tersebut, nilai temperatur dan densitas elektron yang didapat bisa dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Nilai temperatur dan densitas elektron untuk masing-masing parameter tegangan RF yang diberikan

Tegangan RF (volt)	Te (eV)	Ne (m^{-3})
100	0.890392663	1.23897E+17
120	0.884955752	1.00575E+17
140	0.91124476	3.66814E+17

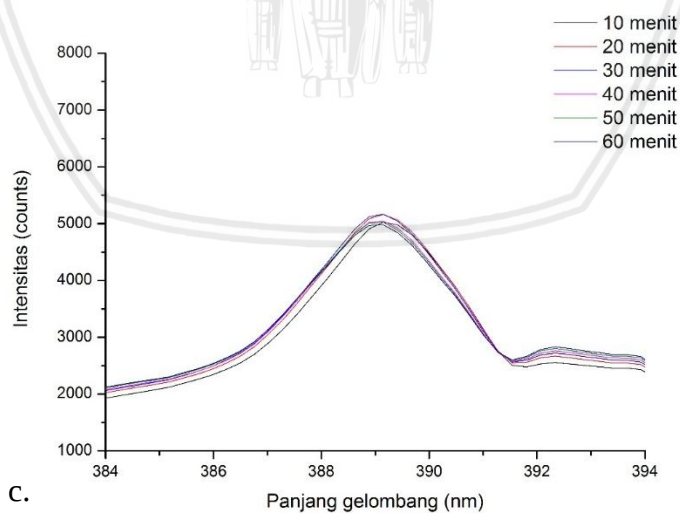
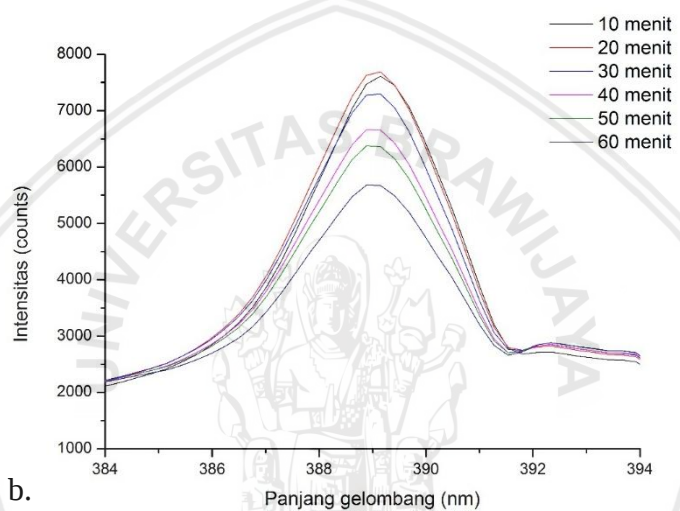
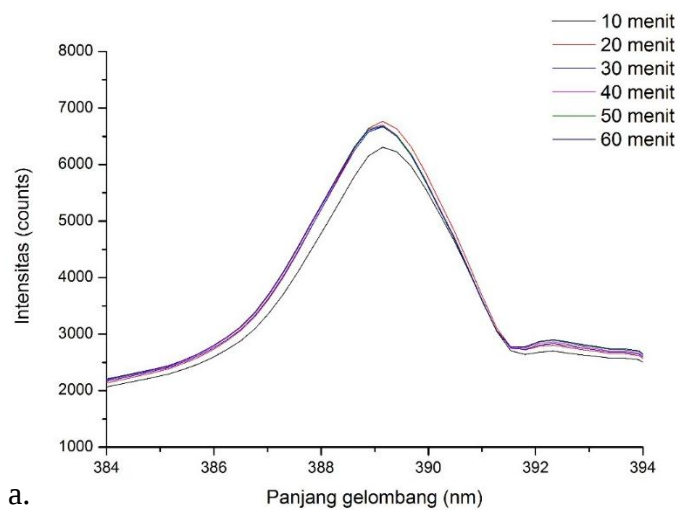
Pada tabel 5.2 secara umum terlihat bahwa semakin besar nilai tegangan RF yang diberikan semakin besar pula nilai temperatur dan densitas elektron dalam plasma yang didapat. Meskipun pada tegangan 120 volt nilai temperatur dan densitas elektron yang didapat mengalami penurunan, dari sini kita bisa melihat bahwa nilai temperatur dan densitas elektron memiliki kecenderungan yang sama, yaitu ketika temperatur elektron

meningkat tentunya densitas elektron yang didapat juga akan meningkat, begitu juga sebaliknya.



Gambar 5. 12 Plot pengaruh tegangan dengan temperatur elektron.

Pada tabel 5.2, untuk temperatur dan densitas elektron plasma yang dibangkitkan dengan tegangan RF 120 volt, terdapat anomali. Jika kita lihat nilai temperatur dan densitas elektron yang didapat lebih rendah daripada temperatur dan densitas elektron plasma yang dibangkitkan dengan tegangan RF 100 volt. Pada gambar 5.12 juga terlihat bahwa nilai temperatur elektron untuk proses dengan tegangan 120 V memiliki nilai error yang cukup besar. Pengambilan data spektrum dilakukan selama proses sputtering berlangsung. Proses sputtering dilakukan selama 60 menit, sehingga pengambilan data spektrum dipilih untuk diambil setiap 10 menit. Pengambilan data seperti ini dimaksudkan untuk memonitoring apa yang sekiranya terjadi dalam plasma selama proses sputtering berlangsung. Untuk penentuan nilai temperatur dan densitas elektron dalam plasma, data spektrum yang digunakan merupakan data rata-rata dari semua data spektrum yang didapatkan selama proses sputtering. Agar terlihat apa yang sebenarnya terjadi pada proses sputtering menggunakan tegangan RF 120 volt, maka disini dicoba untuk melakukan plot dari setiap data spektrum selama 60 menit tersebut.



Gambar 5. 13 Intensitas spektrum plasma pada puncak 389 nm dengan tegangan RF
a.) 100 V, b.) 120 V, c.) 140 V.

Gambar 5.13 menunjukkan perbandingan intensitas dari data spektrum plasma yang dibangkitkan dengan tegangan 100, 120, dan 140 volt. Agar lebih mudah dalam

menganalisa, dipilih satu puncak yang digunakan untuk penentuan temperatur dan densitas elektron, yaitu puncak 389 nm. Dari gambar 5.12 b., terlihat bahwa terjadi perbedaan intensitas pada saat proses plasma berlangsung selama 60 menit. Saat 10 menit, nilai intensitas berkisar pada 7500 counts, lalu kemudian sedikit naik pada saat 20 menit, dan kemudian turun secara terus-menerus sampai proses plasma berakhir. Hal ini tentunya akan berpengaruh terhadap nilai temperatur dan densitas elektron yang didapat untuk tiap waktunya, sehingga ketika diambil rata-rata nilai yang didapat seperti pada tabel 5.2.

Nilai temperatur dan densitas elektron untuk tiap waktu pengambilan spektrum plasma ditampilkan pada tabel 5.3. Terlihat bahwa nilai temperatur dan densitas elektron yang didapat memiliki nilai yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu proses deposisi. Sehingga ketika diambil rata-rata nilainya tidak akan memenuhi teori yang telah dijelaskan sebelumnya. Seharusnya, semakin besar tegangan RF yang diberikan akan meningkatkan energi yang didapat tiap elektron sehingga akan didapatkan nilai temperatur elektron yang semakin tinggi.

Tabel 5. 3 Nilai temperatur dan densitas elektron untuk tiap pengambilan data spektrum plasma dengan variasi tegangan RF 120 V.

Waktu (menit)	Te (eV)	Ne (m^{-3})
10	0.873286176	5.45533E+16
20	0.875656743	6.45578E+16
30	0.880669309	8.14548E+16
40	0.888967908	1.19845E+17
50	0.898069151	1.68586E+17
60	0.905469033	2.52165E+17

Anomali pada sampel dengan variasi tegangan RF 120 V ini terjadi karena kebersihan dari chamber yang kurang terjaga. Ketika chamber yang digunakan kotor, plasma argon

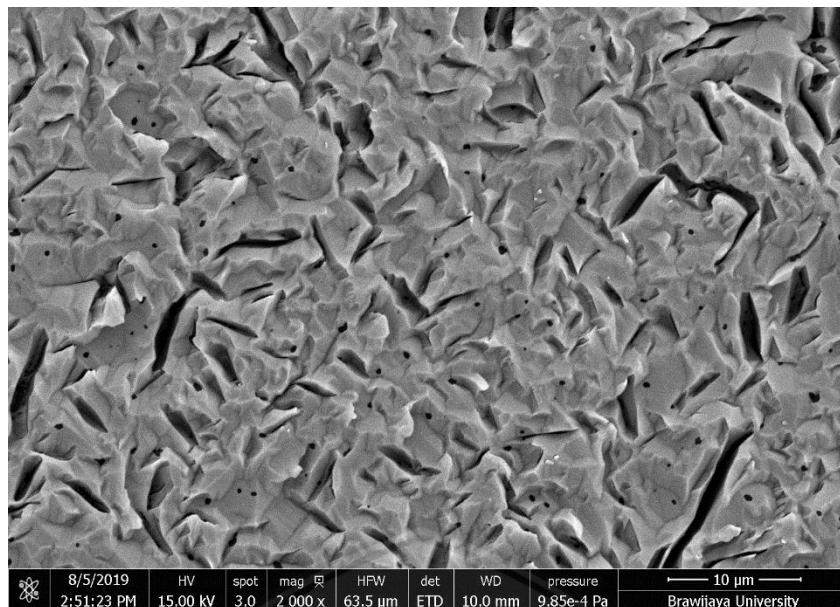
memiliki kecenderungan untuk melakukan ion bombardment, sehingga ada kemungkinan ion argon akan menumbuk bagian chamber yang kotor sehingga terlepas dan membentuk spesies *dust* (Layden, Cheung, and Samarian 2011). Bersamaan dengan berjalannya waktu semakin banyak spesies *dust* yang ada dalam plasma, menyebabkan terjadi perubahan pada impedansi plasma. Perubahan impedansi ini akan meningkatkan daya yang diberikan pada elektron dalam plasma sehingga meningkatkan temperatur dan densitas elektron yang didapatkan (Wattieaux and Boufendi 2012).

Fenomena *dusty plasma* ini menunjukkan bahwa kebersihan chamber plasma sangat penting karena, dengan chamber yang kotor ketika kita berusaha mempertahankan plasma dengan parameter yang tetap masih terdapat kemungkinan terjadi perubahan karakter plasma yang terjadi selama proses berlangsung.

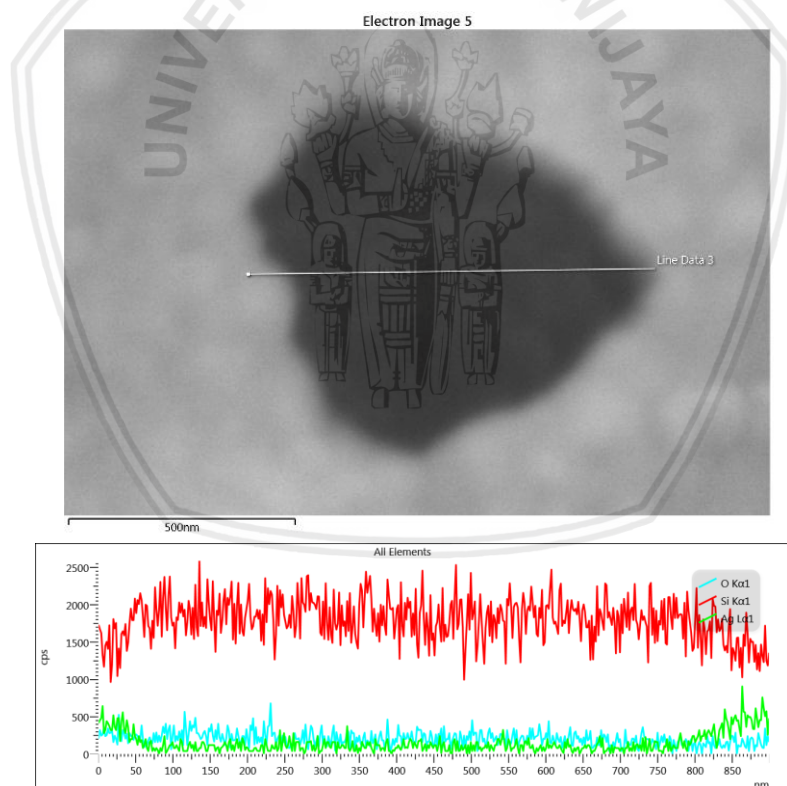
Meskipun terdapat anomali pada sampel dengan variasi tegangan RF 120 V. Tetap bisa diambil kesimpulan bahwa proses dengan temperatur dan densitas elektron terbesar terdapat pada sampel dengan variasi tegangan RF 140 V.

5.2.1 Hasil uji menggunakan SEM dan EDS

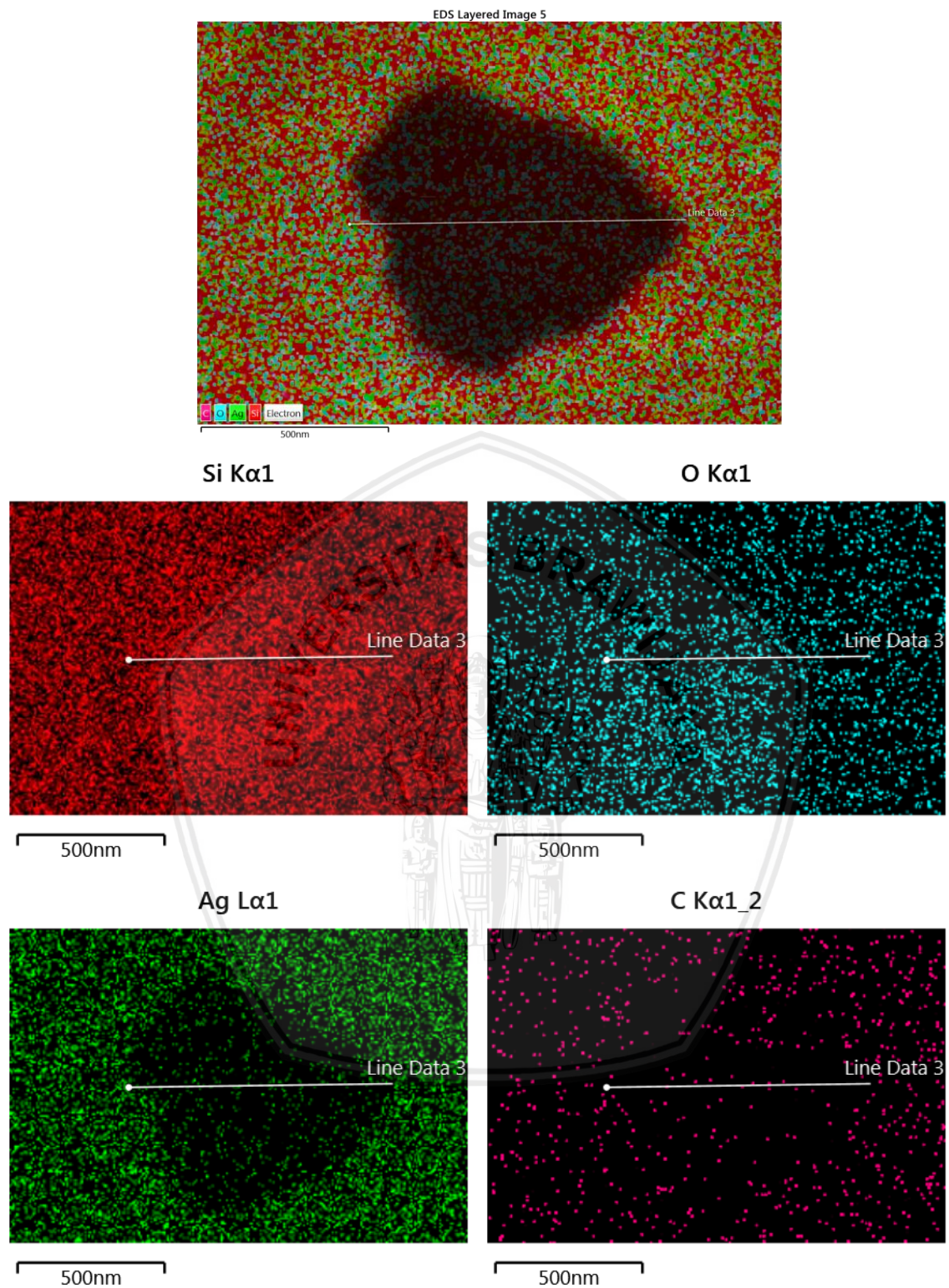
Sampel hasil deposisi menggunakan parameter 140 V kemudian dilakukan uji morfologi dan komposisi menggunakan SEM dan EDS. Sebelum sampel dengan variasi tegangan 140 V ini dilakukan uji SEM dan EDS, terdapat beberapa sampel yang dilakukan proses deposisi menggunakan desain reaktor sebelumnya yang dilakukan uji SEM dan EDS. Salah satu sampel yang dipilih untuk diuji SEM dan EDS adalah sampel yang dilakukan proses deposisi dengan desain reaktor dengan hollow kotak seperti pada gambar 5.5. Sampel yang dipilih merupakan sampel yang memiliki perubahan yang paling signifikan jika dilihat secara kasat mata. Perubahan yang dimaksud disini adalah perubahan warna substrat menjadi kuning. Hasil uji SEM dan EDS untuk sampel yang dideposisi menggunakan reaktor dengan hollow kotak bisa dilihat pada gambar 5.14.



Gambar 5. 14 Hasil SEM substrat QCM yang telah diproses deposisi menggunakan metode plasma sputtering dengan rangkaian seperti gambar 5.5.



Gambar 5. 15 Perbesaran dari hasil SEM pada gambar 5.14, yang kemudian diuji menggunakan EDS.



Gambar 5. 16 Sebaran unsur yang terdeteksi menggunakan EDS, yang ditunjukkan dengan perbedaan warna.

Tabel 5. 4 Rangkuman jumlah unsur yang terdeteksi dengan EDS dalam prosentase.

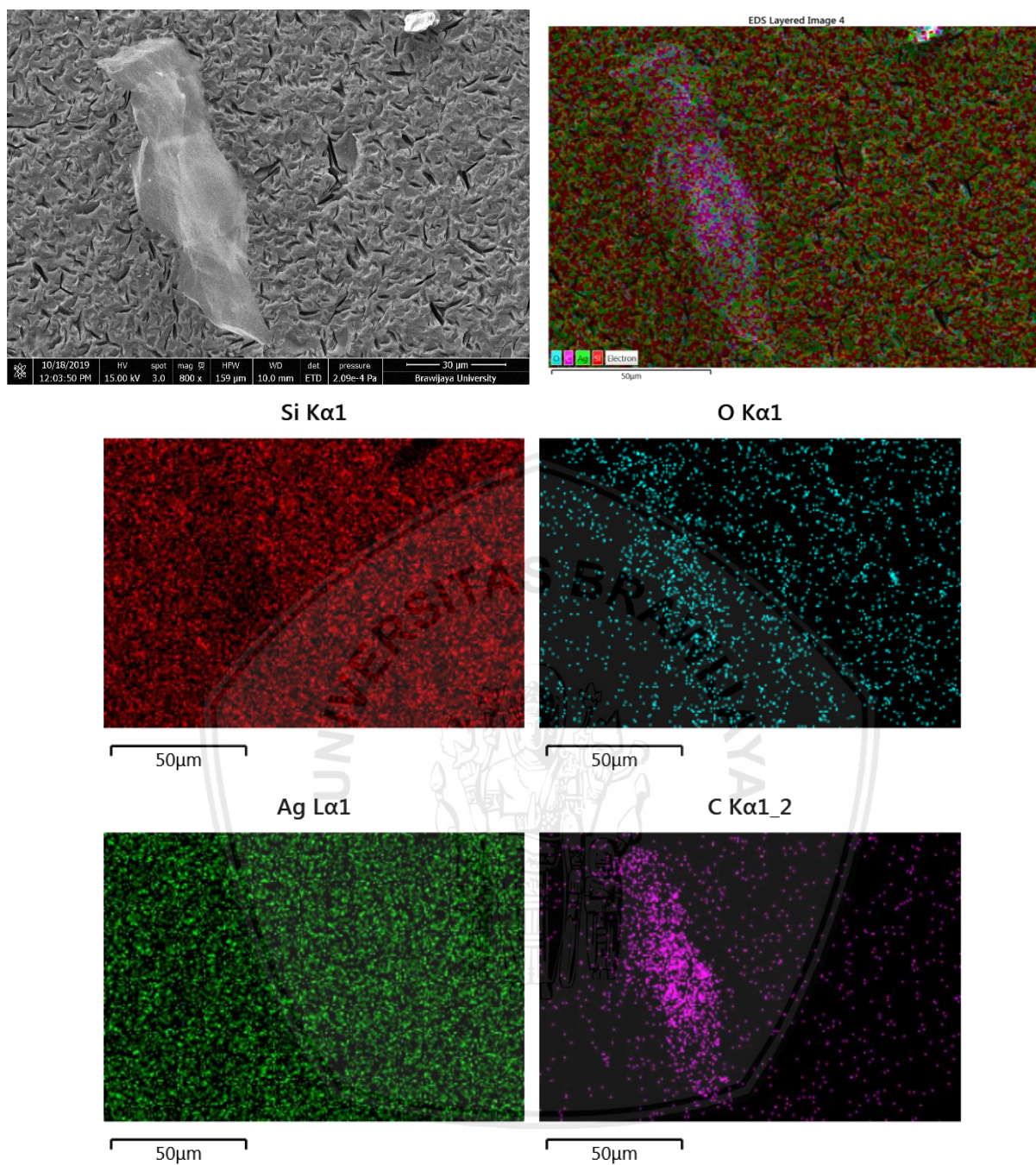
Elemen	Prosentase Massa (%)	Prosentase Atom (%)
O	33.14	53.01
Si	32.67	29.77
Ag	29.37	6.97
C	4.82	10.26
Total	100.00	100.00

Dari gambar 5.14 terlihat bahwa proses sputtering yang dilakukan membuat munculnya bintik-bintik hitam pada permukaan substrat. Untuk mengetahui unsur apa sebenarnya bintik-bintik hitam tersebut, maka dilakukan perbesaran pada satu titik yang terdapat bintik hitam tersebut dan dilakukan uji EDS. Gambar 5.14 merupakan gambar yang akan dicari unsur-unsurnya dengan EDS, dan garis dengan keterangan line data adalah garis yang ditambahkan dimana nanti bisa diketahui unsur-unsur apa saja yang ada pada sepanjang garis tersebut. Keterangan unsur yang ditunjukkan sepanjang garis yang diberikan tadi menunjukkan terdapat tiga unsur yaitu Si, O, dan Ag, dan pada daerah hitam diketahui bahwa terjadi penurunan intensitas Ag, dan kenaikan unsur Si. Seperti diketahui sebelumnya substrat yang digunakan adalah QCM yang berbahan dasar kuarsa yang kemudian dilapisi dengan elektroda perak. Jadi bisa disimpulkan apa yang terbaca dari hasil EDS pada gambar 5.14 merupakan substrat QCM yang kehilangan elektrodanya.

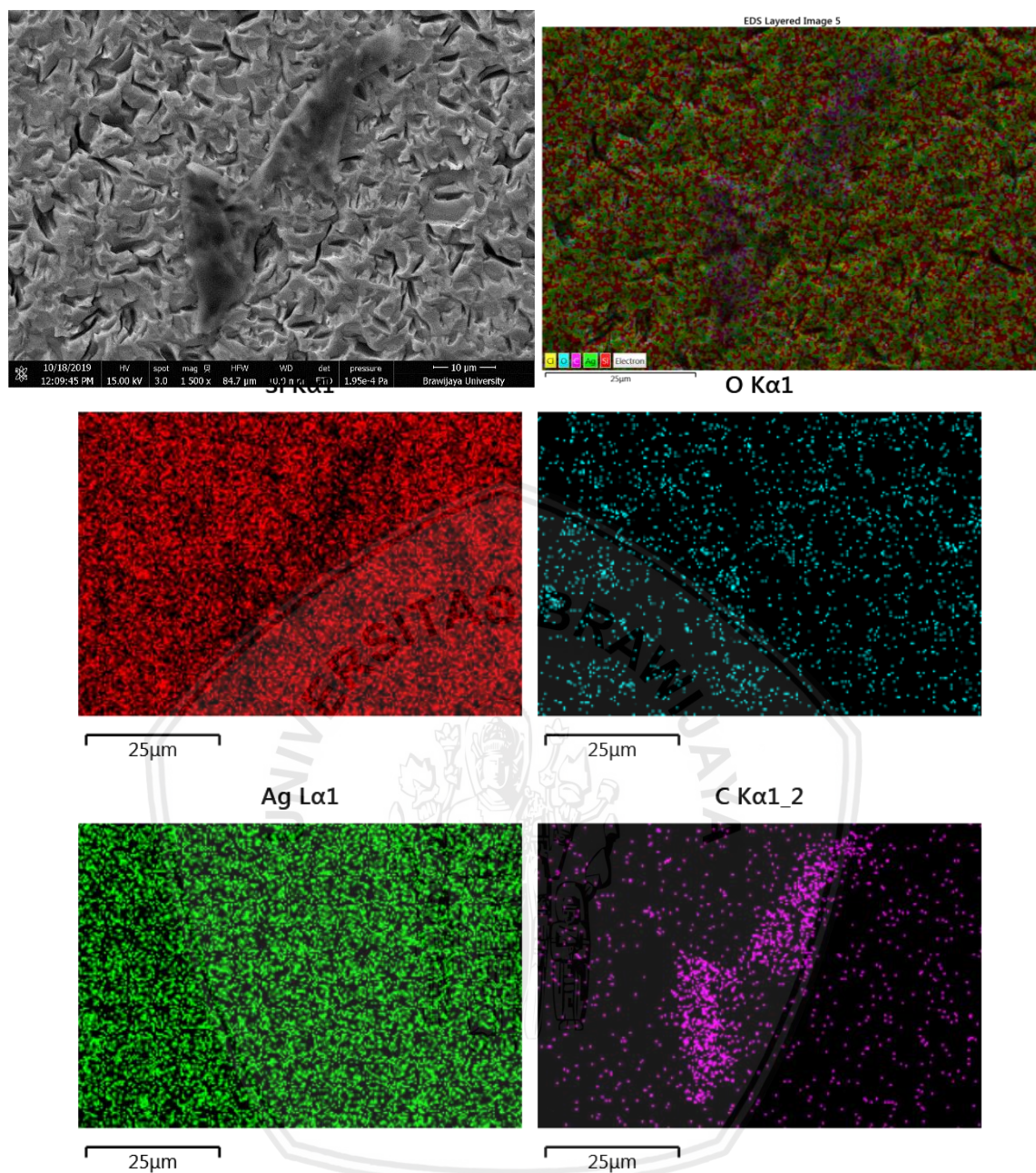
Berkurangnya intensitas unsur perak pada daerah hitam menunjukkan bahwa pada daerah hitam tersebut elektroda dari substrat telah terkelupas. Asumsi ini diperkuat dengan hasil EDS yang ditunjukkan dengan mapping warna pada gambar 5.15. Pada gambar tersebut Si diwakili dengan warna merah, O warna biru, Ag hijau, dan C ungu. Terlihat pada mapping unsur perak terdapat pengurangan intensitas dibagian tengah dengan bentuk sama persis seperti bintik hitam yang diamati. Selain terkelupasnya elektroda substrat QCM, didapat kesimpulan juga bahwa unsur karbon sudah terdeteksi meskipun tidak begitu jelas bagaimana bentuk karbon yang sudah terdeposisi tersebut.

Uji SEM dan EDS kemudian dilakukan untuk sampel yang diproses sputtering dengan parameter tegangan RF 140 volt. Sampel ini dipilih karena memiliki temperatur dan densitas elektron yang paling tinggi. Diharapkan dengan temperatur dan densitas elektron yang tinggi bisa menghasilkan proses deposisi yang lebih optimal. Secara keseluruhan, hasil deposisi yang didapat sama dengan hasil deposisi dengan menggunakan rangkaian hollow kotak. Hanya terdapat tiga titik yang memiliki konsentrasi karbon lebih besar daripada daerah lainnya. Tiga titik yang dimaksud terlihat pada gambar 5.17, 5.18, dan 5.19.

Hasil deposisi yang didapat bisa dilihat masih belum bisa berupa lapisan yang rata. Meskipun pada tiga titik tersebut sudah seperti terbentuk lapisan, namun titik-titik tersebut tidak tersebar merata pada seluruh bagian QCM dan hanya terdapat tiga titik itu saja. Sehingga bisa diambil kesimpulan bahwa proses deposisi yang dilakukan belum bisa dikatakan berhasil. Kemungkinan tiga titik yang didapat merupakan molekul karbon dengan skala yang masih besar yang berasal dari bahan target yang tersputter dan akhirnya terdeposisi diatas permukaan substrat.

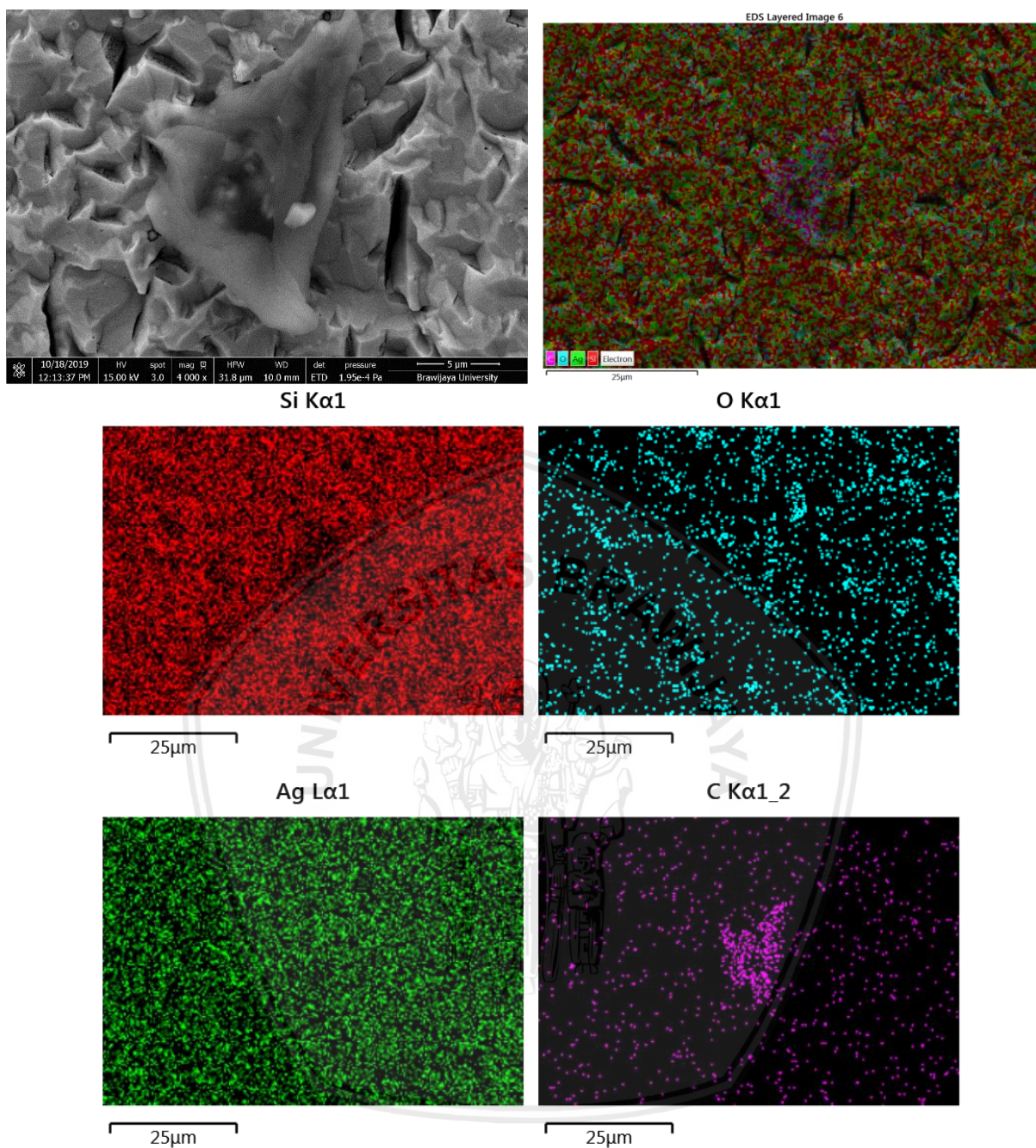


Gambar 5. 17 Data SEM dan EDS untuk sampel dengan parameter tegangan 140 V titik 1.



Elemen	Prosentase Massa (%)	Prosentase Atom (%)
O	19.72	32.75
Si	26.71	25.27
Ag	38.74	9.54
C	14.58	32.26
Total	100.00	100.00

Gambar 5. 18 Data SEM dan EDS untuk sampel dengan parameter tegangan 140 V titik 2.



Elemen	Prosentase Massa (%)	Prosentase Atom (%)
O	19.52	36.56
Si	30.70	32..76
Ag	42.18	11.72
C	7.60	18.96
Total	100.00	100.00

Gambar 5. 19 Data SEM dan EDS untuk sampel dengan parameter tegangan 140 V titik 3.

5.3 Pengaruh temperatur substrat terhadap nilai temperatur dan densitas elektron

Temperatur substrat diberikan dalam proses deposisi bertujuan untuk mempercepat proses terbentuknya lapisan tipis yang terbentuk. Pemberian temperatur yang makin tinggi akan mempengaruhi pertumbuhan batas butir lapisan yang terbentuk. Namun jika kita lihat hasil deposisi yang sudah dilakukan pemberian temperatur pada substrat sedikit banyak belum begitu berpengaruh terhadap pembentukan lapisan yang terjadi. Ini disebabkan karena proses deposisi yang terjadi pun masih belum optimal.

Sehingga dalam pembahasan kali ini tetap yang dicari adalah hubungan dari variasi pemberian temperatur substrat terhadap temperatur dan densitas elektron dari plasma yang terbentuk. Dalam perlakuan variasi temperatur substrat ini, tegangan RF yang digunakan sebesar 140 volt, sesuai dengan optimasi tegangan RF sebelumnya. Nilai temperatur dan densitas elektron yang didapat tertera pada tabel 5.5. Dari tabel tersebut terlihat bahwa ternyata pemberian variasi temperatur substrat berpengaruh terhadap nilai temperatur dan densitas elektron yang didapat. Semakin besar temperatur substrat yang diberikan semakin kecil nilai temperatur dan densitas elektronnya.

Tabel 5. 5 Nilai temperatur dan densitas elektron untuk masing-masing parameter temperatur substrat yang diberikan

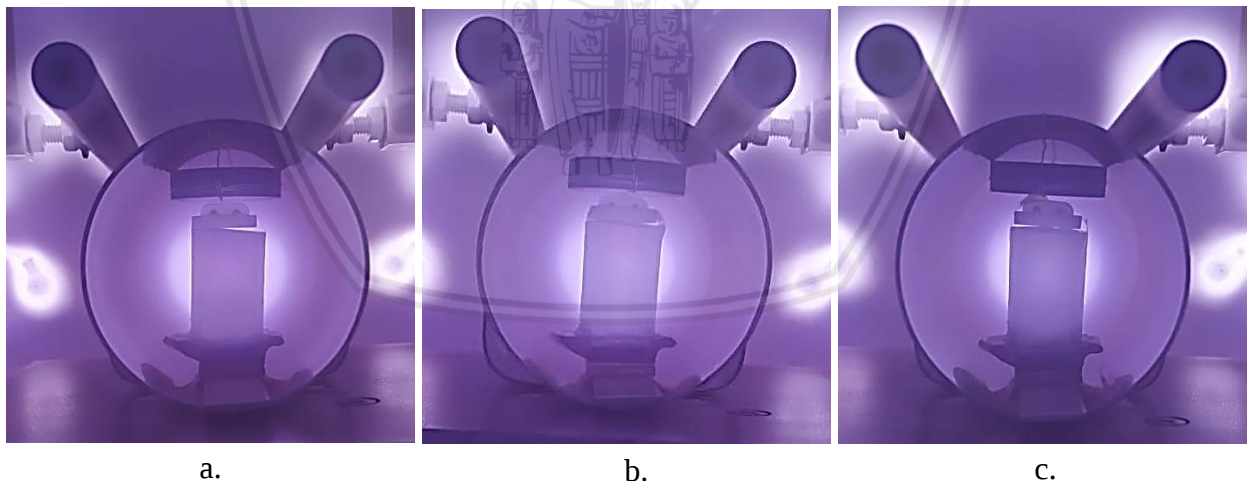
Temperatur substrat ($^{\circ}\text{C}$)	T_e (eV)	N_e (m^{-3})
150	0.9404684	7.19080E+17
200	0.9112448	3.66814E+17
250	0.8996042	2.66310E+17

Menurunnya nilai temperatur dan densitas elektron seiring dengan semakin besarnya temperatur substrat ini dimungkinkan terjadi karena adanya proses kebocoran muatan atau *charge leakage* yang terjadi ketika dilakukan pemberian temperatur pada elektroda (Sarkar 2013). Kebocoran muatan yang terjadi bisa menyebabkan elektron terlepas ke daerah sheath sehingga bisa menetralkan ion – ion yang terdapat disana. Jika semakin

banyak ion yang dinetralkan atau mengalami rekombinasi, maka sheath yang terbentuk dalam hollow akan semakin menipis, sehingga mengurangi efek stochastic heating yang terjadi dalam hollow.

Menurunnya efek stochastic heating menyebabkan berkurangnya nilai temperatur dan densitas elektron yang didapatkan. Proses berkurangnya sheath akibat naiknya temperatur substrat yang diberikan sedikit terlihat dari foto plasma ketika proses deposisi berlangsung, foto plasma bisa dilihat pada gambar 5.20. Pada gambar 5.20 terlihat bahwa daerah gelap atau sheath yang paling terlihat ada pada gambar 5.20 a.), yaitu proses sputtering dengan variasi temperatur substrat 150 volt, dan terus menghilang seiring naiknya temperatur substrat yang diberikan.

Jadi, selain mempengaruhi kecepatan penumbuhan lapisan tipis dalam suatu proses deposisi, temperatur substrat yang diberikan juga bisa berpengaruh terhadap nilai temperatur dan densitas elektron yang didapatkan.



Gambar 5. 20 a.) Foto plasma untuk variasi parameter temperatur substrat 150° C, b.) 200° C, dan c.) 250° C.

5.4 Analisa kekurangan dalam proses deposisi

Seperti yang dijelaskan sebelumnya terdapat tiga proses utama dalam teknik deposisi lapisan menggunakan metode plasma sputtering. Pertama proses sputtering itu sendiri, proses transport atom yang tersputter, dan penumbuhan lapisan tipis. Jika dilihat dari

spesies plasma yang didapatkan, kemungkinan masalah yang menyebabkan kurang optimalnya proses deposisi yang dilakukan ada pada kurang efektifnya proses ion bombardment yang terjadi. Ini terlihat dari pembahasan 5.1.1 tentang spesies apa saja yang muncul dalam plasma.

Spesies yang muncul dalam plasma saat proses belum terlihat adanya spesies dari karbon. Dua hal yang menyebabkan spesies karbon tidak muncul, pertama memang kurangnya proses sputtering yang terjadi, atau kedua sangat efektifnya mekanisme transport yang terjadi sehingga semua atom karbon yang tersputter bisa terdeposisi pada substrat. Namun jika dilihat dari hasil SEM pada sampel setelah proses deposisi, sedikit sekali ditemukan karbon pada substrat QCM, sehingga kemungkinan pertama lah yang paling masuk akal.

Mekanisme sputtering sangat bergantung pada proses ion bombardment dari molekul ion dalam plasma. Jadi inti permasalahan yang dihadapi disini kemungkinan adalah spesies ion yang masih kurang, dan energi untuk melakukan bombardment yang masih kecil. Dalam upaya peningkatan hasil yang ingin dicapai maka diperlukan peningkatan baik dari sisi parameter pembangkitan plasma ataupun modifikasi rangkaian dalam chamber sehingga permasalahan spesies ion dan energi dalam melakukan bombardment bisa teratasi.

Dua hal yang bisa dipertimbangkan dalam mengembangkan penelitian ini adalah faktor parameter pembangkitan plasma dan desain chamber. Parameter pembangkitan disini berkaitan dengan berapa daya maksimal yang bisa diberikan, lalu tekanan vakum maksimal yang bisa diperoleh. Sebagai contoh daya akan berpengaruh ke pembangkitan spesies plasma sekaligus energi ketika melakukan bombardment. Sedangkan tekanan, selain berpengaruh terhadap pembangkitan spesies dan proses bombardment, melalui konsep mean free path maka juga akan berpengaruh pada proses transport atom yang tersputter menuju substrat. Maka dari itu kemungkinan dibutuhkan generator dengan

daya yang lebih besar, dan mekanisme vakum yang bisa mencapai tekanan lebih kecil, untuk mengatasi masalah belum efektifnya proses sputtering yang dilakukan.

Sedangkan untuk desain chamber, modifikasi bisa dilakukan untuk meningkatkan spesies plasma yang muncul dan energi bombardment yang didapatkan. Salah satunya adalah dengan melakukan penelitian tentang desain hollow cathode yang sesuai dengan proses sputtering, atau mungkin dengan memodifikasi rangkaian dalam chamber.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari beberapa desain yang digunakan desain reaktor dengan hollow silinder bisa menghasilkan spesies ion argon paling besar, dan telah berhasil mendeposisikan karbon meskipun belum dalam bentuk lapisan yang homogen.

Semakin besar tegangan RF yang diberikan nilai temperatur dan densitas elektron yang didapat juga semakin besar. Pada parameter tegangan RF 120 V terdapat anomali karena efek *dusty plasma* akibat chamber yang kurang bersih.

Semakin besar temperatur substrat, semakin kecil nilai temperatur dan densitas elektron yang didapatkan.

Hasil deposisi yang didapat masih berupa titik-titik karbon dan belum berupa lapisan. Lapisan karbon belum bisa terbentuk dengan baik dikarenakan proses bombardment ke bahan target yang mungkin belum terlalu baik, bisa dilihat dari spektrum plasma yang didapat.

6.2 Saran

Dari sisi desain chamber proses deposisi, diperlukan perbaikan desain chamber yang lebih efektif dalam proses bombardment bahan target, bukan hanya meningkatkan intensitas ion argon tetapi juga memfasilitasi proses bombardment bahan target.

Dari sisi parameter pembangkitan plasma, perlu peningkatan performa pada bagian sumber tegangan RF dan pompa vakum. Dengan tegangan RF yang makin besar dan tekanan chamber yang semakin kecil akan meningkatkan efektifitas mekanisme bombardment dalam proses sputtering.

DAFTAR PUSTAKA

- Alim, Syahirul. 2016. "Studi Pengaruh Variasi Laju Aliran Gas Argon Pada Sistem Plasma Sputtering (Physical Vapor Deposition) Terhadap Pembentukan Lapisan Tipis Karbon Di Atas Substrat Kaca." Universitas Brawijaya.
- Chaudhary, Khaliq A. 2003. "Characterization of Argon Plasma By Use of Optical Emission Spectroscopy and Langmuir Probe Measurements." *International Journal of Modern Physics B* 17(14): 2749–59.
- Fridman, Alexander. 2008. *Plasma Chemistry*. New York: Cambridge University Press.
- Hakim, Febrian Lukman. 2018. "Studi Pengaruh Laju Alir Gas Argon Dalam Rancang Bangun Teknik Sputtering Plasma RF Terhadap Deposisi Lapisan Tipis Karbon." Universitas Brawijaya. <http://e-journal.uajy.ac.id/14649/1/JURNAL.pdf>.
- Han Kim, Young, and Kwang Jae Choi. 2002. "Fabrication and Application of an Activated Carbon-Coated Quartz Crystal Sensor." *Sensors and Actuators, B: Chemical* 87(1): 196–200.
- Heranaiawati. 2018. "Pengaruh Laju Alir Pada Plasma Oksigen Terhadap Jenis Spesies Plasma Dan Sifat Hidrodobisitas Permukaan Polistiren Dengan Menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES)." Universitas Brawijaya.
- Huy, Tran Quang et al. 2014. "Graphene-Coated Quartz Crystal Microbalance for Detection of Volatile Organic Compounds at Room Temperature." *Thin Solid Films* 568: 6–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2014.07.036>.
- Jin, Hao et al. 2016. "A Humidity Sensor Based on Quartz Crystal Microbalance Using Graphene Oxide as a Sensitive Layer." *Vacuum* 140: 101–5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vacuum.2016.10.017>.
- Kahn, Markus et al. 2011. "Deposition of Silicon Doped and Pure Hydrogenated Amorphous Carbon Coatings on Quartz Crystal Microbalance Sensors for Protein Adsorption Studies." *Thin Solid Films* 520(1): 83–89.
- Kim, Jong Min, Sang Mok Chang, Yoshihisa Suda, and Hiroshi Muramatsu. 1999. "Stability Study of Carbon Graphite Covered Quartz Crystal." *Sensors and Actuators, A: Physical* 72(2): 140–47.
- Koenig, H. R., and L. I. Maissel. 2010. "Application of RF Discharges to Sputtering." *IBM Journal of Research and Development* 14(2): 168–71.
- Layden, Brett, Vincent Cheung, and Alexander A Samarian. 2011. "Effect of Dust Particle Growth on the Emission Spectrum of a Complex Plasma." *IEEE Transactions on Plasma Science* 39(1): 2762–63.
- Lieberman, Michael A, and Allan J. Lichtenberg. 2005. *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*. Second Edi. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Masruroh et al. 2018. "The Effect of Molecular Weight on the Surface Wettability of Polystyrene Treated with Nitrogen Plasma." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 432(1).
- Mecea, V M. 2006. "Is Quartz Crystal Microbalance Really a Mass Sensor ?" 128: 270–77.

- Mecea, Vasile. 2005. "From Quartz Crystal Microbalance to Fundamental Principles of Mass Measurements From Quartz Crystal Microbalance to Fundamental Principles of Mass Measurements." *Analytical Letters* 38(March 2005): 14.
- Prayudha, Adimas Kresna. 2016. "Studi Pengaruh Daya Pada Metode Sputtering Terhadap Pembentukan Lapisan Tipis Karbon Di Atas Substrat Kaca." Universitas Brawijaya.
- Putra, Yopi Ragil Permana. 2018. "Perancangan Sistem Deposisi Karbon Metode Sputtering Dan Studi Pengaruh Tegangan Listrik Pembangkitan Plasma Pada Proses Deposisi." Universitas Brawijaya.
- Qiao, Xiaoxi, Xiangjun Zhang, Yu Tian, and Yonggang Meng. 2016. "Progresses on the Theory and Application of Quartz Crystal Microbalance." *Applied Physics Reviews* 3(3). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4963312>.
- Sakti, S.P. et al. 2018. "Surface Modification of Polystyrene Coating on QCM Sensor Using Ambient Air Plasma at Low Pressure." *Materials Today: Proceedings* 5(7): 15149–54. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221478531830751X>.
- Sarkar, Jaydeep. 2013. 2 Sputtering Materials for VLSI and Thin Film Devices *Sputtering and Thin Film Deposition*.
- Surya, Rifky Adi. 2018. "Rancang Bangun Sistem Deposisi Karbon Dengan Metode Sputtering Dan Studi Pengaruh Tekanan Chamber Terhadap Deposisi Lapisan Tipis Karbon Berbahan Tempurung Kelapa." Universitas Brawijaya. <http://e-journal.uajy.ac.id/14649/1/JURNAL.pdf>.
- Ukhtary, M. Shoufie. 2013. "Karakterisasi Temperatur Elektron (Te) Dan Densitas Elektron (Ne) Dari Spektroskopi Emisi Optik Untuk Plasma Gas Campuran Argon Dan Metana Yang Dihasilkan Dari Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PE CVD)." Universitas Brawijaya.
- Ukhtary, M. Shoufie, Abdurrouf, and Masrurroh. 2013. "Karakterisasi Temperatur Elektron (Te) Dari Spektroskopi Emisi Optik Untuk Plasma Gas Argon Yang Dihasilkan Dari Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition." *Brawijaya Physics Student Journal (Pe Cvd)*: 3–6. <https://www.neliti.com/publications/157784/karakterisasi-temperatur-elektron-te-dari-spektroskopi-emisi-optik-untuk-plasma>.
- Vassallo, Espedito et al. 2013. "Deposition of Boron-Carbon Multilayer Coatings by RF Plasma Sputtering." *Surface and Coatings Technology* 214: 59–62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.11.001>.
- Wattiaux, Gaëtan, and Laïfa Boufendi. 2012. "Discharge Impedance Evolution , Stray Capacitance Effect , and Correlation with the Particles Size in a Dusty Plasma Discharge Impedance Evolution , Stray Capacitance Effect , and Correlation with the Particles Size in a Dusty Plasma." 033701.
- Widodo, Slamet. 2012. "Teknologi Pendeposisian Film Tipis Metal Dengan Metode DC-Sputtering." In *Seminar Nasional Fisika*, Jakarta, 6.
- Yao, Yao et al. 2014. "Investigation of the Stability of QCM Humidity Sensor Using Graphene Oxide as Sensing Films." *Sensors and Actuators, B: Chemical* 191: 779–83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2013.10.076>.

- Yao, Yao, Xiangdong Chen, Huihui Guo, and Zuquan Wu. 2011. "Graphene Oxide Thin Film Coated Quartz Crystal Microbalance for Humidity Detection." *Applied Surface Science* 257(17): 7778–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.04.028>.
- Zhang, Yongsheng et al. 2005. "Quartz Crystal Microbalance Coated with Carbon Nanotube Films Used as Humidity Sensor." *Sensors and Actuators, A: Physical* 120(1): 142–46.
- Zhihua, Ying, Zheng Liang, Song Kaixin, and Hu Weiwei. 2012. "Characterization of Quartz Crystal Microbalance Sensors Coated with Graphene Films." *Procedia Engineering* 29: 2448–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.330>.



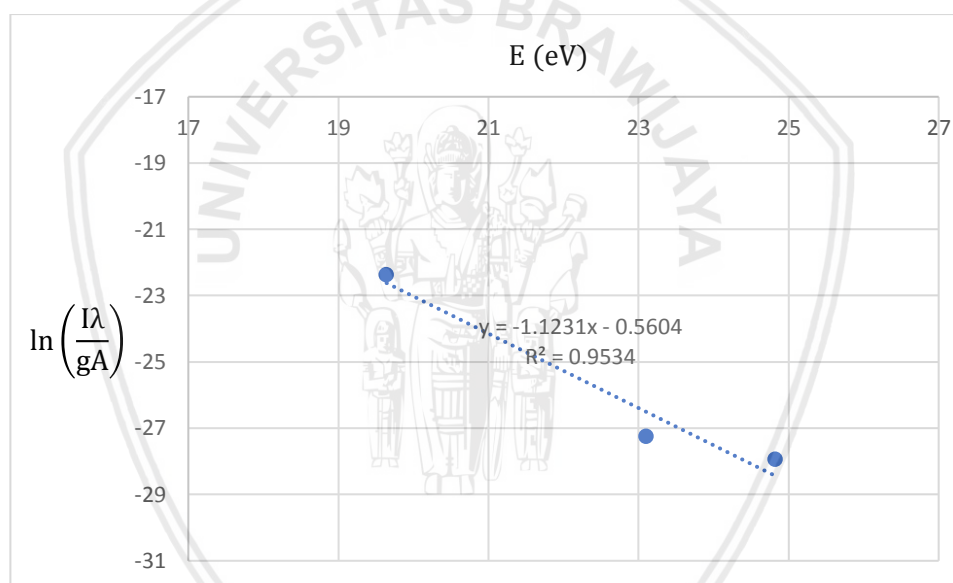
LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan nilai temperatur elektron untuk variasi tegangan 100 V

Temperatur elektron dihitung menggunakan metode plot Boltzmann dengan puncak yang digunakan seperti yang terlihat dalam tabel.

Panjang gelombang (nm)	Spesies	Energi (eV)	Probabilitas transisi (1/s)	Intensitas (a.u.)	g	$\ln(I\lambda/g.A)$
335.189	Ar II	24.825971	1.50E+08	1960.37819	6	-27.945585
354.953	Ar II	23.103285	8.70E+07	1434.69579	4	-27.250286
389.250	Ar II	19.642582	4.30E+06	4242.28932	2	-22.373458
750.594	Ar I	13.479887	4.50E+07	11907.0744	1	-22.339687

Setelah dilakukan plot antara energi dan $\ln(I\lambda/g.A)$, didapatkan grafik :



Didapatkan persamaan linier seperti pada grafik, sehingga didapatkan nilai temperatur elektron sebesar 0.890392663 eV. Menggunakan temperatur yang telah didapatkan dan persamaan saha-boltzmann didapatkan nilai densitas elektron sebagai berikut :

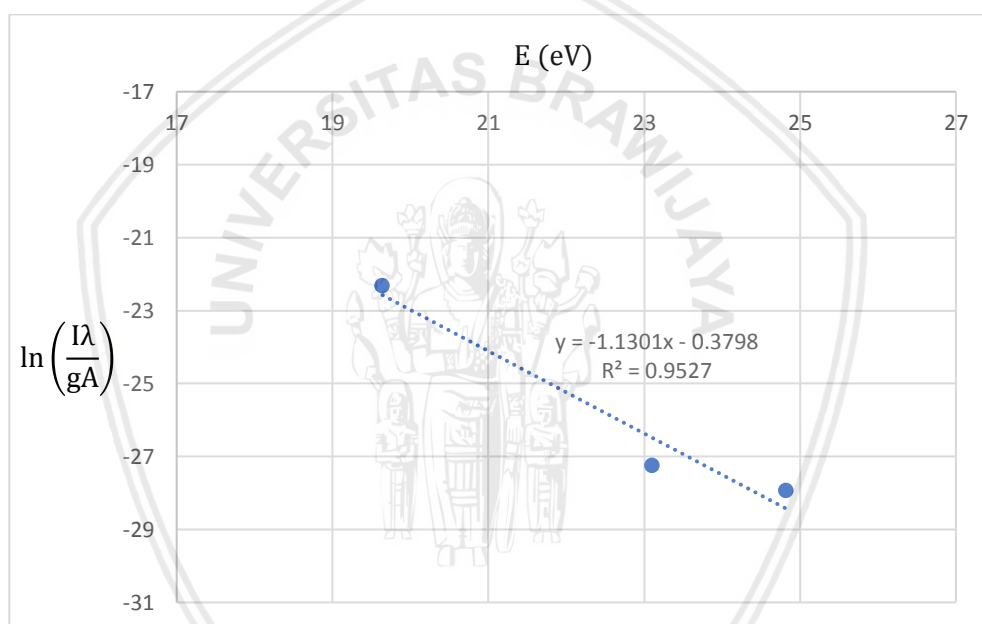
Panjang gelombang (nm)	Ne (1/m ³)
335.189	8.30E+16
354.953	2.87E+17
389.250	2.18E+15
Rata-rata	1.24E+17

Lampiran 2. Perhitungan nilai temperatur elektron untuk variasi tegangan 120 V

Temperatur elektron dihitung menggunakan metode plot Boltzmann dengan puncak yang digunakan seperti yang terlihat dalam tabel.

Panjang gelombang (nm)	Spesies	Energi (eV)	Probabilitas transisi (1/s)	Intensitas (a.u.)	g	$\ln(I\lambda/g.A)$
335.189	Ar II	24.825971	1.50E+08	1988.17534	6	-27.93150
354.953	Ar II	23.103285	8.70E+07	1447.93808	4	-27.24110
389.250	Ar II	19.642582	4.30E+06	4445.82587	2	-22.32659
750.594	Ar I	13.479887	4.50E+07	11777.3599	1	-22.35064

Setelah dilakukan plot antara energi dan $\ln(I\lambda/g.A)$, didapatkan grafik :



Didapatkan persamaan linier seperti pada grafik, sehingga didapatkan nilai temperatur elektron sebesar 0.884877444 eV. Menggunakan temperatur yang telah didapatkan dan persamaan saha-boltzmann didapatkan nilai densitas elektron sebagai berikut :

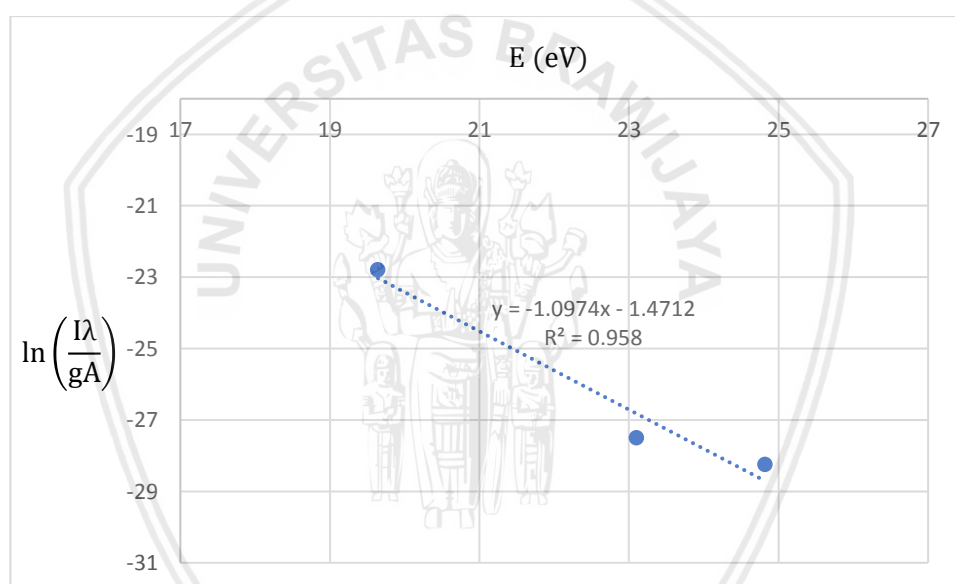
Panjang gelombang (nm)	Ne (1/m ³)
335.189	6.63E+16
354.953	2.33E+17
389.250	1.71E+15
Rata-rata	1.00E+17

Lampiran 3. Perhitungan nilai temperatur elektron untuk variasi tegangan 140 V dan temperatur substrat 200° C.

Temperatur elektron dihitung menggunakan metode plot Boltzmann dengan puncak yang digunakan seperti yang terlihat dalam tabel.

Panjang gelombang (nm)	Spesies	Energi (eV)	Probabilitas transisi (1/s)	Intensitas (a.u.)	g	$\ln(I\lambda/g.A)$
335.189	Ar II	24.825971	1.50E+08	1438.05063	6	-28.25543
354.953	Ar II	23.103285	8.70E+07	1105.40681	4	-27.51103
389.250	Ar II	19.642582	4.30E+06	2775.30636	2	-22.79780
750.594	Ar I	13.479887	4.50E+07	13357.7304	1	-22.22472

Setelah dilakukan plot antara energi dan $\ln(I\lambda/g.A)$, didapatkan grafik :



Didapatkan persamaan linier seperti pada grafik, sehingga didapatkan nilai temperatur elektron sebesar 0.91124476 eV. Menggunakan temperatur yang telah didapatkan dan persamaan saha-boltzmann didapatkan nilai densitas elektron sebagai berikut :

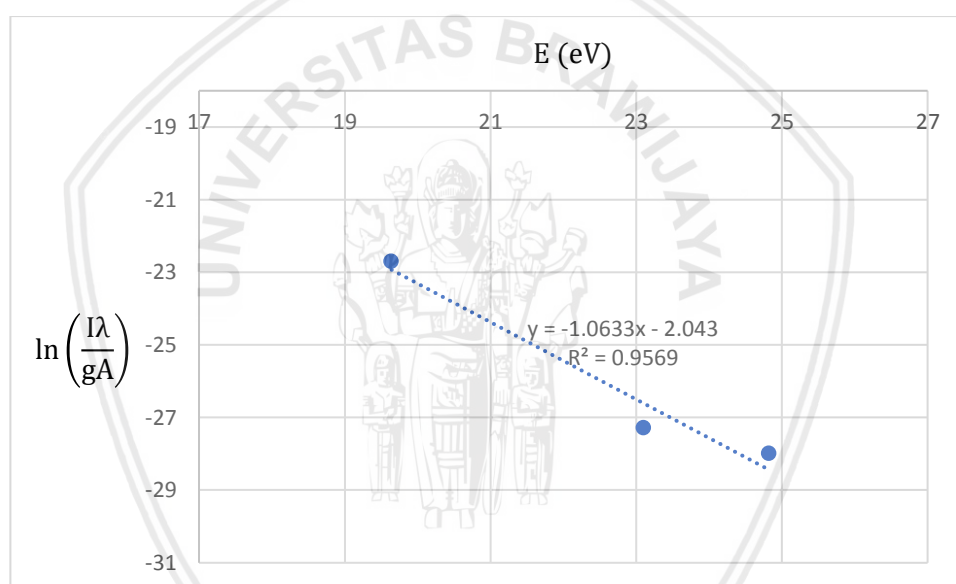
Panjang gelombang (nm)	Ne (1/m ³)
335.189	2.64E+17
354.953	8.29E+17
389.250	7.44E+15
Rata-rata	3.67E+17

Lampiran 4. Perhitungan nilai temperatur elektron untuk variasi temperatur substrat 150° C.

Temperatur elektron dihitung menggunakan metode plot Boltzmann dengan puncak yang digunakan seperti yang terlihat dalam tabel.

Panjang gelombang (nm)	Spesies	Energi (eV)	Probabilitas transisi (1/s)	Intensitas (a.u.)	g	$\ln(I\lambda/g.A)$
335.189	Ar II	24.825971	1.50E+08	1876.51441	6	-27.9893062
354.953	Ar II	23.103285	8.70E+07	1387.05809	4	-27.28405377
389.250	Ar II	19.642582	4.30E+06	3047.22119	2	-22.70433047
750.594	Ar I	13.479887	4.50E+07	13112.7374	1	-22.2432353

Setelah dilakukan plot antara energi dan $\ln(I\lambda/g.A)$, didapatkan grafik :



Didapatkan persamaan linier seperti pada grafik, sehingga didapatkan nilai temperatur elektron sebesar 0.940468353 eV. Menggunakan temperatur yang telah didapatkan dan persamaan saha-boltzmann didapatkan nilai densitas elektron sebagai berikut :

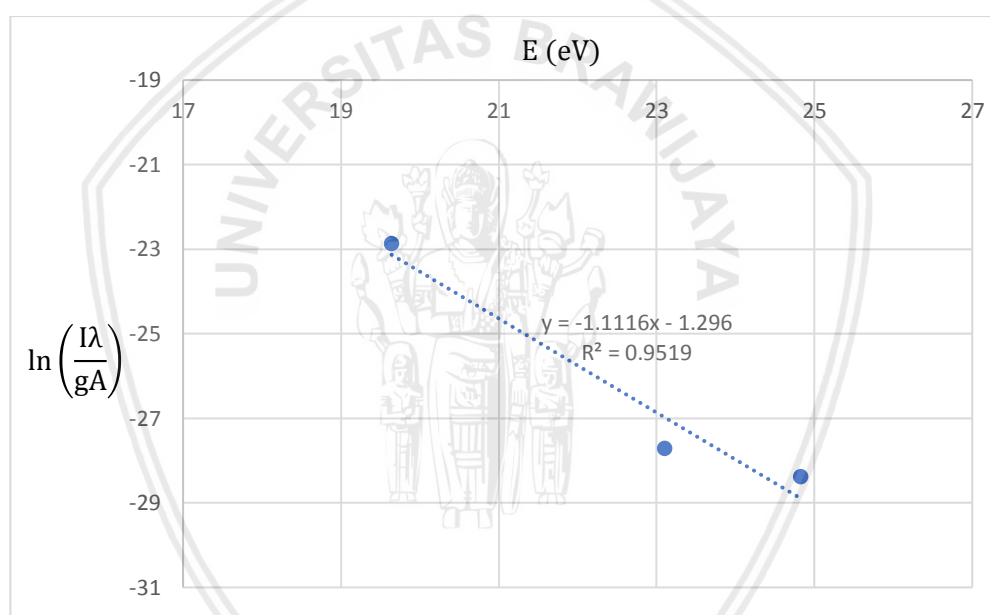
Panjang gelombang (nm)	Ne (1/m ³)
335.189	5.24E+17
354.953	1.62E+18
389.250	1.66E+16
Rata-rata	7.19E+17

Lampiran 5. Perhitungan nilai temperatur elektron untuk variasi temperatur substrat 250° C.

Temperatur elektron dihitung menggunakan metode plot Boltzmann dengan puncak yang digunakan seperti yang terlihat dalam tabel.

Panjang gelombang (nm)	Spesies	Energi (eV)	Probabilitas transisi (1/s)	Intensitas (a.u.)	g	$\ln(I\lambda/gA)$
335.189	Ar II	24.825971	1.50E+08	1251.68572	6	-28.394231
354.953	Ar II	23.103285	8.70E+07	891.13043	4	-27.72650327
389.250	Ar II	19.642582	4.30E+06	2548.80676	2	-22.88293525
750.594	Ar I	13.479887	4.50E+07	11708.4272	1	-22.35651052

Setelah dilakukan plot antara energi dan $\ln(I\lambda/gA)$, didapatkan grafik :

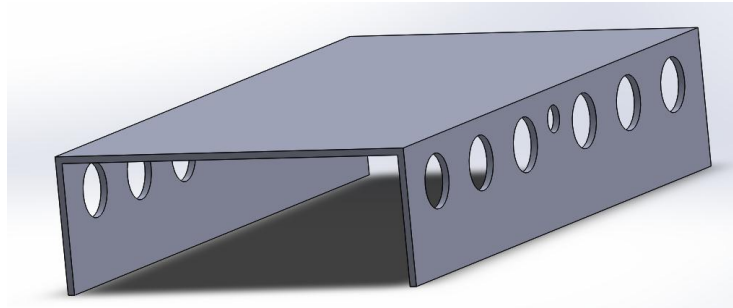


Didapatkan persamaan linier seperti pada grafik, sehingga didapatkan nilai temperatur elektron sebesar 0.899604174 eV. Menggunakan temperatur yang telah didapatkan dan persamaan saha-boltzmann didapatkan nilai densitas elektron sebagai berikut :

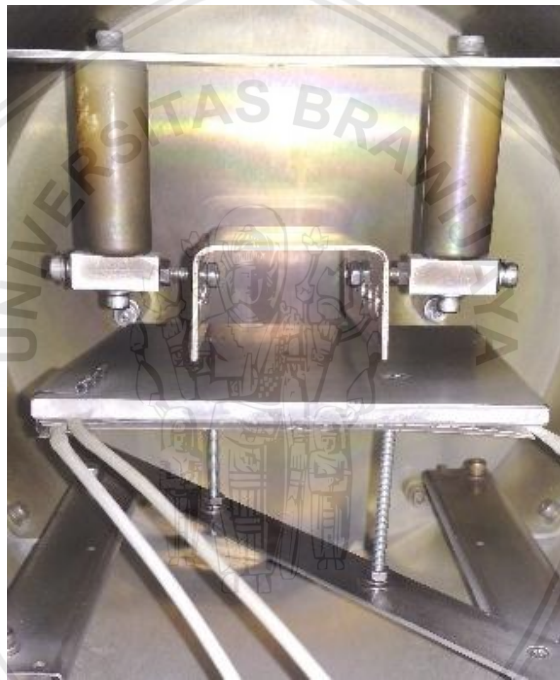
Panjang gelombang (nm)	Ne (1/m ³)
335.189	1.77E+17
354.953	6.17E+17
389.250	4.86E+15
Rata-rata	2.66E+17

Lampiran 6. Desain chamber dengan hollow kotak.

Desain untuk hollow berbentuk kotak dibuat seperti gambar dibawah :

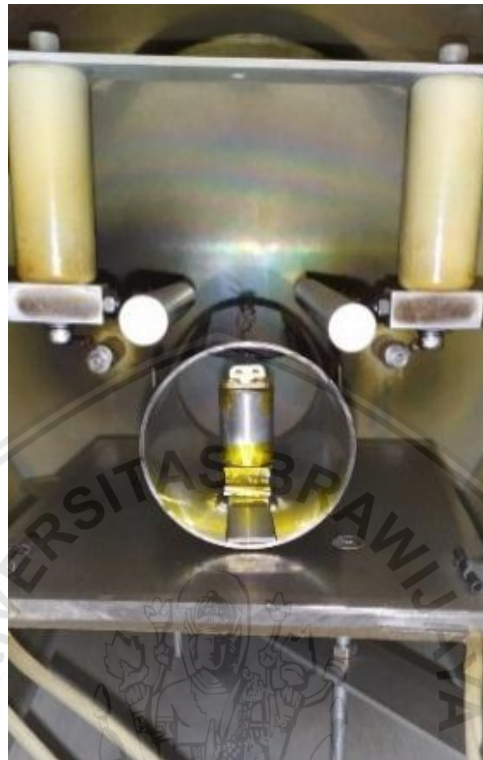


Setelah disusun dalam chamber maka akan terlihat seperti berikut :



Lampiran 7. Desain chamber dengan hollow silinder.

Sesuai dengan gambar 5.7, penampakan hollow cathode dengan bentuk silinder seperti terlihat pada gambar dibawah



Lampiran 8. Sertifikat bebas plagiarisi

