



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH DISTRIBUSI DENSITAS ELEKTRON
TERHADAP MIKROKRISTAL DAN KEKUATAN
LAPISAN FILM ZINC EXCIMER**

SKRIPSI

ABDUL AZIS
0806455553

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH DISTRIBUSI DENSITAS ELEKTRON
TERHADAP MIKROKRISTAL DAN KEKUATAN
LAPISAN FILM ZINC EXCIMER**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ABDUL AZIS
0806455553

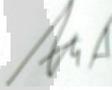
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2012

Universitas Indonesia

Pengaruh distribusi..., Abdul Azis, FT UI, 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya penulis sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah penulis nyatakan dengan benar.

Nama : Abdul Azis
NPM : 0806455553
Tanda Tangan : 
Tanggal : 29 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Abdul Azis
NPM : 0806455553
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi :

PENGARUH DISTRIBUSI DENSITAS ELEKTRON TERHADAP MIKROKRISTAL DAN KEKUATAN LAPISAN FILM ZINC EXCIMER

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing1 : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc (.....)

Penguji 1 : Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono, M. Phil.Eng (.....)

Penguji 2 : Dr. Ir. Sutopo, M.Sc. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Puji dan syukur senantiasa kami panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena dengan berkah dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan serangkaian kegiatan Tugas Akhir dimulai dari tahap awal perancangan kegiatan, pelaksanaan hingga penyusunan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, mulai dari masa perkuliahan sampai dengan penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

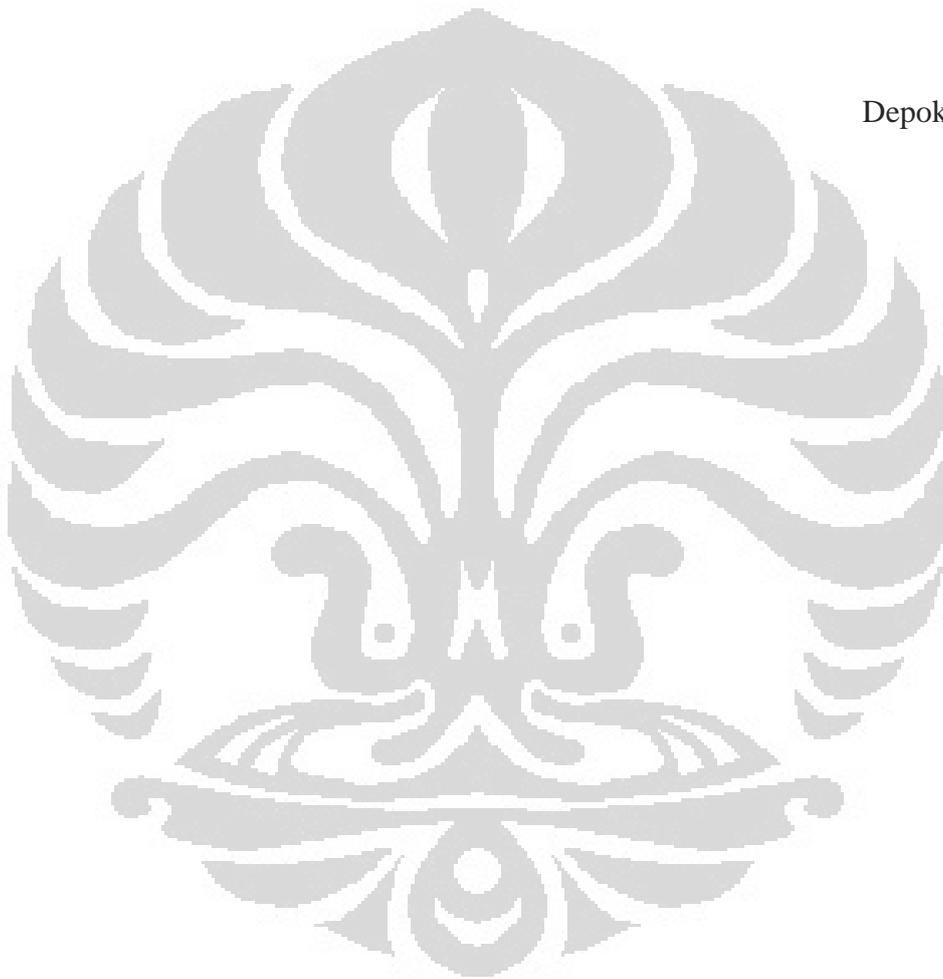
1. Prof.Dr.Ir.Anne Zulfia Syahrial,M.Sc., selaku dosen pembimbing 1 yang telah bersedia menyediakan waktu, tenaga dan pemikiran dalam mengarahkan penulis dalam melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini;
2. Prof. Kozo Obara, selaku dosen pembimbing 2 yang telah banyak menyediakan waktu, pemikiran dan dana untuk mengarahkan dan membimbing penulis dalam penelitian dan penulisan tugas akhir ini;
3. Prof. Dr. –Ing. Ir. Bambang Suharno selaku Ketua Departemen yang turut memberi dukungan selama penulis menjalani perkuliahan di DMM FTUI;
4. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang senantiasa memberikan pengertian, dukungan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan rangkaian tugas akhir;
5. Teman-teman Departemen Metalurgi dan Material FTUI.
6. Deandra Nilih Sasadhara, rekan seperjuangan dalam penelitian dalam melaksanakan penelitian ini yang siap membantu penulis dan selalu menjadi tempat berbagi.
7. Seluruh staf dan rekan Laboratorium Teknik Elektrik dan Elektronik Kagoshima University yang telah membantu penulis dalam melakukan karakterisasi XPS.

8. Seluruh pihak yang telah senantiasa membantu dan memberikan semangat untuk menyelesaikan penyusunan skripsi.

Akhir kata, penulis berharap Allah Subhanahu Wa Ta'ala berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi

Depok, 29 Juli

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, penulis yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abdul Azis
NPM : 0806455553
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah penulis yang berjudul:

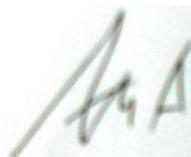
**PENGARUH DISTRIBUSI DENSITAS ELEKTRON
TERHADAP MIKROKRISTAL DAN KEKUATAN
LAPISAN FILM ZINC EXCIMER**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir penulis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini penulis buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 29 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Abdul Azis)

ABSTRAK

Nama : Abdul Azis
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul :

Pengaruh Distribusi Densitas Elektron Terhadap Mikrokrystal Dan Kekuatan Lapisan Film Zinc Excimer

Dalam penelitian ini telah berhasil dilakukan pembuatan thin film Zn excimer pada substrat Safir ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) dengan teknik rekombinasi ion pada sistem *electron assisted PVD*. Modifikasi level elektronik pada Zn dengan eksitasi memungkinkan untuk mendapatkan struktur kristal yang berbeda dan akan merubah sifat material. Salah satu variabel utama dalam kontrol pembentukan Zn excimer dengan metode rekombinasi ion adalah kontrol energi insiden elektron. Kontrol energi tersebut berkaitan dengan fenomena densitas elektron yang ditembakkan ke substrat. Distribusi densitas muatan elektron tersebut tergantung pada posisi substrat sehingga akan berpengaruh pada pembentukan lapisan film Zn excimer. Sampel lapisan film tersebut dikarakterisasi dengan pengujian seperti *X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)* pada lokasi sampel yang berbeda. Karakterisasi dengan XPS akan membantu untuk memahami pengaruh densitas muatan elektron terhadap lapisan film Zn excimer.

Kata kunci:

Konfigurasi elektron, eksitasi, densitas muatan elektron, rekombinasi ion, energi ikat

ABSTRACT

Name : Abdul Azis
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering
Title :

The Effect of Electron Charge Density Distribution in Microcrystal and Strength of Thin Film Zinc Excimer

In this study have been successfully performed the manufacture of thin film Zn * on a substrate Sapphire (α -Al₂O₃) by ion recombination techniques in electron-assisted PVD system. Modifications electronic level in Zn with excitation makes it possible to get different crystal structure and properties. The main variable for control formation of Zn excimer is the energy incident electron. These related to the phenomenon of electron density that irradiated into the substrate. Electron charge density distribution depends on the position of the substrate that will affect the formation of thin film Zn excimer. The samples were characterized by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) at different sample locations. Characterization by XPS will help to understand the influence of the electron charge density of the thin film Zn excimer.

Keywords:

Electron configuration, excitation, electron charge density, ion recombination, binding energy

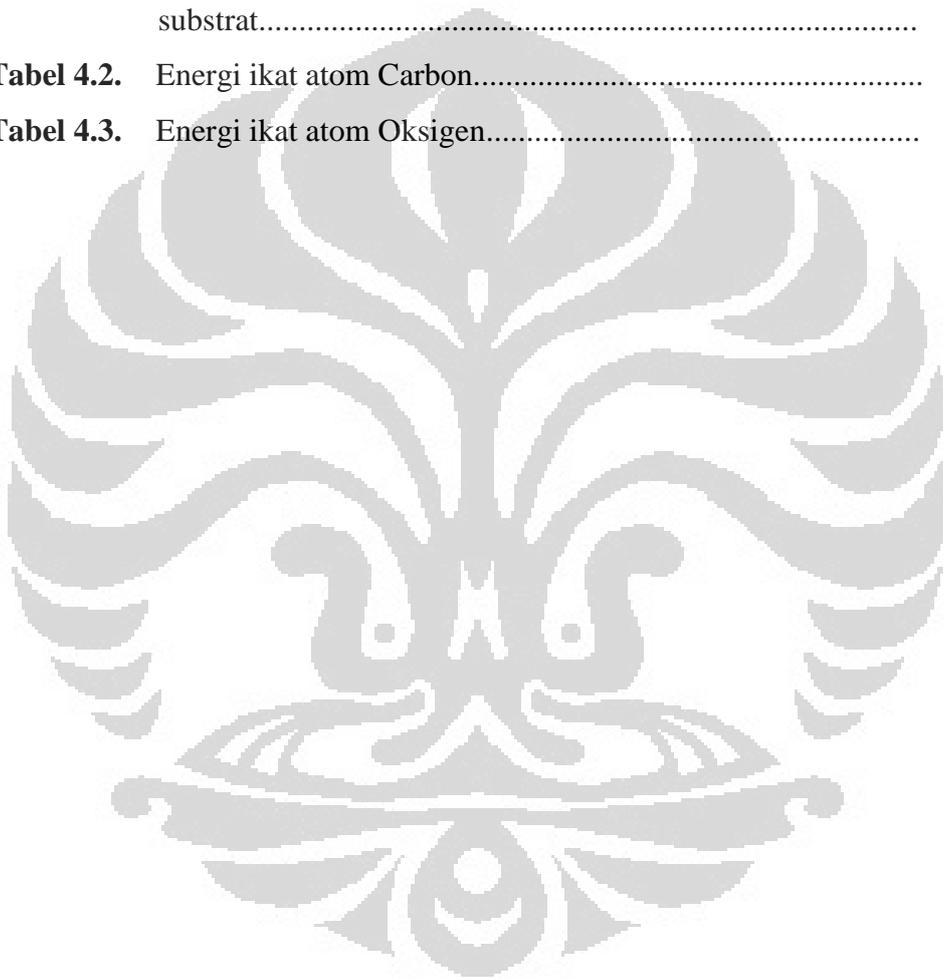
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xv
DAFTAR RUMUS.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Permasalahan.....	3
1.3. Hipotesis.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 DASAR TEORI.....	6
2.1. Eksitasi Zinc.....	6
2.2. Zinc Excimer.....	9
2.3. Deposisi lapisan film excimer.....	13
2.4. Densitas Muatan Elektron.....	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1. Diagram Alir Eksperimen.....	22
3.2. Alat dan Bahan.....	23
3.3. Prosedur Penelitian.....	23
3.3.1. Proses <i>Charging</i>	23
3.3.2. Deposisi.....	25
3.4. Karakterisasi Energi Ikat.....	27
3.4.1. Pengujian <i>X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)</i>	27
BAB 4 PEMBAHASAN.....	35
4.1. Proses Pembuatan Lapisan Film <i>Zn Excimer</i>	35
4.2. Analisis Hubungan Lokasi Sampel Terhadap.....	

Densitas Muatan	37
4.3. Karakterisasi Lapisan Zn Excimer	39
4.3.1. Analisis Data Hasil Pengujian X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)	39
4.3.2. Koreksi Pergeseran Data Energi Ikat Pengujian	43
4.3.3. Analisis Hubungan Antara Lokasi Sampel dengan Energi Ikat	44
4.3.3.1. Unsur Karbon	44
4.3.3.2. Unsur Oksigen	46
4.3.3.3. Orbital 2p	47
4.3.3.4. Orbital 3s	49
4.3.3.5. Orbital 3p	50
4.3.3.6. Orbital 3d	51
4.4. Hubungan Perubahan Energi Ikat dan Intensitas Terhadap Mikro-kristal Zn Excimer	58
BAB 5 KESIMPULAN.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Umur (<i>lifetime</i>) dari atom yang tereksitasi	9
Tabel 3.1. Posisi titik-titik pada sampel terhadap sudut.....	31
Tabel 4.1. Nilai densitas elektron pada masing-masing posisi substrat.....	37
Tabel 4.2. Energi ikat atom Carbon.....	44
Tabel 4.3. Energi ikat atom Oksigen.....	44



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. a) Susunan atom Zinc ^[7] ; (b) dan (c) struktur kristal Zinc.....	6
Gambar 2.2. Proses eksitasi dan relaksasi elektron.....	7
Gambar 2.3. Eksitasi elektron pada suatu atom.....	7
Gambar 2.4. Bilangan kuantum Zinc dan eksitasi Zinc.....	8
Gambar 2.5. Keadaan tereksitasi molekul	10
Gambar 2.6. Posibilitas eksitasi Zn.....	12
Gambar 2.7. Proses reaksi pembentukan Zn excimer.....	14
Gambar 2.8. Medan listrik pada muatan titik.....	17
Gambar 2.9. Densitas muatan sama dengan potensial elektrik.....	18
Gambar 2.10. Densitas muatan sama dengan potensial elektrik	19
Gambar 2.11. Distribusi elektron pada insulator	19
Gambar 3.1. Sistem <i>electron-assisted PVD</i>	23
Gambar 3.2. Sistem <i>electron-assisted PVD</i> dalam pembuatan lapisan film Zn*.....	24
Gambar 3.3. Posisi dan kondisi substrat sapphire pada sistem.....	24
Gambar 3.4. Proses <i>Charging</i>	25
Gambar 3.5. Dimensi substrat Sapphire (α -Al ₂ O ₃) dan lapisan film Au.....	26
Gambar 3.6. Area reaksi proses ion rekombinasi.....	27
Gambar 3.7. (a) eksitasi Zn ⁺ , (b) eksitasi Zn ⁻	27
Gambar 3.8. Prinsip kerja XPS.....	28
Gambar 3.9. Sistem XPS.....	29
Gambar 3.10. Radiasi X-ray photoelectron pada permukaan sampel ...	30
Gambar 3.11. Pengukuran titik (spot size) pada sample oleh sinar X-ray.....	30
Gambar 3.12. Posisi analisa densitas muatan pada sampel	32
Gambar 4.1. Hubungan sudut iradiasi elektron terhadap jarak ΔS antara pembentukan ionisasi Zn ⁺ dan ion Zn ⁻	35

Gambar 4.2.	Sistem proses pembuatan lapisan film Zn excimer.....	36
Gambar 4.3.	Lapisan film tipis Zn excimer pada temperature subsrtat 30°C	37
Gambar 4.4.	Hubungan densitas muatan pada arah tegak lurus (eksperimen).....	38
Gambar 4.5.	Hubungan densitas muatan pada arah sejajar (eksperimen).....	38
Gambar 4.6.	Hubungan densitas muatan terhadap posisi atau jarak dari pusat pada area permukaan substrat secara teoritis ...	39
Gambar 4.7.	Grafik awal hasil pengujian XPS pada orbital 3p.....	40
Gambar 4.8.	Normalisasi area grafik hasil pengujian XPS pada orbital 3p.....	41
Gambar 4.9.	Grafik pada orbital 3p dengan spektrum tertinggi.....	41
Gambar 4.10.	Grafik hasil analisa metode Gauss pada lokasi 1 orbital 3p.....	42
Gambar 4.11.	Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada unsur karbon terhadap posisi sejajar (<i>parallel</i>).....	45
Gambar 4.12.	Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada unsur karbon terhadap posisi tegak lurus (<i>perpendicular</i>)....	45
Gambar 4.13.	Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada unsur oksigen terhadap posisi sejajar (<i>parallel</i>).....	47
Gambar 4.14.	Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada unsur oksigen terhadap posisi tegak lurus (<i>perpendicular</i>)..	47
Gambar 4.15.	Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 2p terhadap posisi sejajar (<i>parallel</i>).....	48
Gambar 4.16.	Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 2p terhadap posisi tegak lurus (<i>perpendicular</i>).....	48
Gambar 4.17.	Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 3s terhadap posisi sejajar (<i>parallel</i>).....	49
Gambar 4.18.	Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada Orbital 3s terhadap posisi tegak lurus (<i>perpendicular</i>).....	49
Gambar 4.19.	Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada	

orbital 3p terhadap posisi sejajar (<i>parallel</i>).....	50
Gambar 4.20. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 3p terhadap posisi tegak lurus (<i>perpendicular</i>).....	50
Gambar 4.21. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 3d terhadap posisi sejajar (<i>parallel</i>).....	51
Gambar 4.22. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 3d terhadap posisi tegak lurus (<i>perpendicular</i>).....	52
Gambar 4.23. Berkurangnya elektron pada orbital 3d akibat adanya hole pada orbital 3p atau 3s (Auger Effect)	53
Gambar 4.24. Grafik XPS orbital 3d.....	54
Gambar 4.25. Grafik XPS orbital 3p.....	55
Gambar 4.26. Elektron Auger	55
Gambar 4.27. Efek Auger pada orbital 3p akibat kontribusi orbital 3d....	56
Gambar 4.28. Peak orbital 3p pada energi ikat 77eV.....	56
Gambar 4.29. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada peak orbital 3d 77eV terhadap posisi sejajar (<i>parallel</i>)...	57
Gambar 4.30. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada Peak orbital 3d 77eV terhadap posisi tegak lurus (<i>perpendicular</i>).....	57
Gambar 4.31. Hubungan energi ikat terhadap bilangan atom dan konfigurasi elektron	58
Gambar 4.32. Diagram energi potensial Coulomb	60
Gambar 4.33. Morfologi struktur kristal Zn excimer berbentuk kubik	61
Gambar 4.34. Kurva gaya-pemisah untuk ikatan interatomik kuat dan lemah	62

DAFTAR SINGKATAN



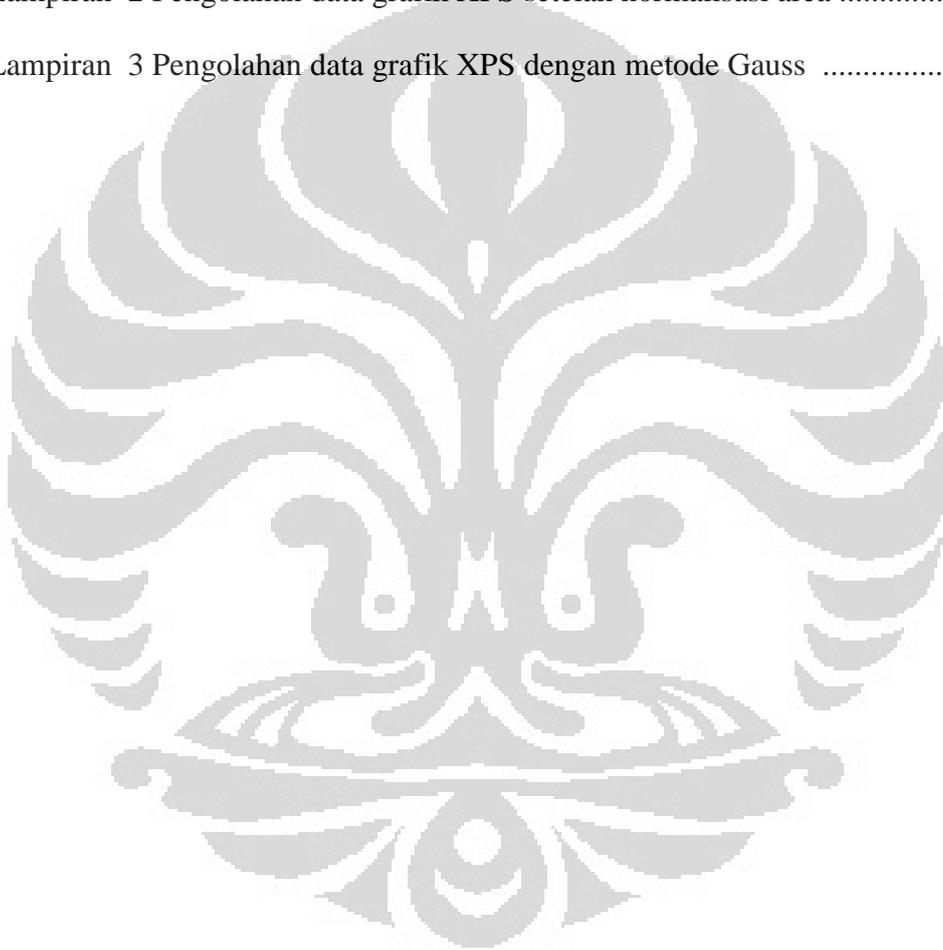
Å	<i>Angstrom</i>
α -Al ₂ O ₃	<i>Sapphire</i>
Au	<i>Aurum (emas)</i>
BE	<i>Binding energy</i>
ESCA	<i>Electron Spectroscopy for Chemical Analysis</i>
eV	<i>electron Volt</i>
<i>Excimer</i>	<i>excited dimer</i>
HAS	<i>Hemispherical analyzer</i>
PVD	<i>Physical vapor deposition</i>
UHV	<i>Ultra-high vacuum</i>
XPS	<i>X-ray Photoelectron Spectroscopy</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
Zn	<i>Zinc</i>
Zn*	<i>Zinc Excimer</i>

DAFTAR RUMUS

	Halaman
(2.1) Russell-Saunders kopling.....	11
(2.2) Total bilangan kuantum orbital sudut dan spin momentum angular	11
(2.3) Persamaan fungsi gelombang elektron (mengikat).....	12
(2.4) Reaksi ionisasi Zn	14
(2.5) Reaksi rekombinasi Zn^+ dan e^- (muatan di permukaan).....	14
(2.6) Reaksi ionisasi Zn- pada substrat	14
(2.7) Reaksi rekombinasi ion Zn positif dan negatif.....	15
(2.8) Fungsi kinetik radiasi elektron yang di tembakkan dari electron gun	16
(2.9) Persamaan medan listrik E	17
(2.10) Persamaan hukum Coulomb	17
(2.11) Gaya yang bekerja pada arah radial.....	17
(2.12) Persamaan medan listrik dalam ruang hampa	18
(2.13) Persamaan rata-rata kepadatan muatan di permukaan	19
(2.14) Persamaan jarak rata-rata antara dua elektron terdekat	20
(2.15) Persamaan jarak kritis ionisasi Zn^+ dan reaksi rekombinasi	20
(3.1) Hubungan antara energi ikat dan energi foton yang masuk ($h\nu$)..	29
(4.1) Persamaan normalisasi area grafik XPS	42
(4.2) Persamaan potensial gaya Coulomb antara dua inti.....	59
(4.3) Persamaan Modulus elastisitas sebanding dengan kemiringan kurva gaya-pemisah pada jarak kesetimbangan interatomik	62

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Hasil XPS untuk masing-masing posisi	68
Lampiran 2 Pengolahan data grafik XPS setelah normalisasi area	71
Lampiran 3 Pengolahan data grafik XPS dengan metode Gauss	74



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang meningkat dengan cepat, menjadi hal yang sangat penting untuk menemukan atau mengembangkan material baru. Mengembangkan material baru berarti meningkatkan sifat material.

Sifat material tergantung pada struktur molekul dari material tersebut, misalnya, material kristalin memiliki struktur molekul yang sangat teratur yang membuatnya jauh lebih keras dari bahan non-kristalin. Namun, dengan menggunakan teknik pengolahan khusus seperti menambahkan *modifiers* dan *filler*, sifat kekerasan dari bahan non-kristalin dapat ditingkatkan. Kunci untuk memahami dunia material adalah bahwa struktur, sifat, pengolahan dan kinerja material semua saling bergantung dan saling terkait.

Susunan atom dalam sebuah material padat (strukturnya) terdapat berbagai tipe, bahkan untuk material yang sama. Pembentukan struktur tersebut tergantung pada parameter 'eksternal' seperti suhu (T) dan tekanan (P) dan 'rute' dalam diagram fase P-T yang diikuti selama masa transisi, misalnya dari fasa cair menjadi padat.

Parameter lain yang penting juga yaitu parameter 'internal' seperti konfigurasi elektronik dari atom, atau jari-jari atom / ion, yang juga menentukan sifat dan kekuatan ikatan antara atom-atom. Sifat-sifat material sebagian besar tergantung pada susunan internal atom (struktur) dan interaksi dengan atom tetangga. Beberapa contoh sifat material termasuk kekerasan, elastisitas, dan konduktivitas merupakan contoh dari interaksi antar atom-atom. Interaksi antar atom tersebut terjadi karena adanya kontribusi elektron terluar dalam sistem atom. Dalam ilmu material, elektron terluar dalam sistem memegang peranan sangat penting dalam pembentukan ikatan kimia. Akan

tetapi kontribusi elektron terluar ini sangat terbatas. Oleh karena itu, lahirlah ide untuk dapat menggunakan sistem elektron-inti dari sistem atom unsur untuk memodifikasi suatu material.

Umumnya untuk memodifikasi sifat suatu material digunakan metode kombinasi. Kombinasi dalam skala atomic disebut dengan alloying, sedangkan kombinasi dalam skala makroskopik disebut dengan komposit. Kombinasi komposisi dan konsentrasi antar material tersebut akan menghasilkan sifat yang berbeda.

Dalam modifikasi level elektronik, mengatur ulang susunan elektron dalam inti atom adalah 'kata kunci' dalam suatu modifikasi material. Unsur atom memiliki elektron, proton, dan neutron. Proton dan neutron bergabung dalam inti yang dikelilingi oleh elektron. Inti atom berada dalam keadaan tetap, artinya sangat sulit sekali untuk merubah kondisinya (reaksi nuklir). Akan tetapi, elektron dapat berpindah dari satu keadaan ke keadaan lain (atau orbit) dengan memancarkan emisi ataupun menyerap foton pada frekuensi tertentu dengan energi yang sesuai dengan perbedaan potensial ^[1]. Keadaan tersebut disebut dengan eksitasi elektron. Eksitasi elektron dapat merubah sifat material ^[2]. Artinya kita dapat merubah komposisi elektron dalam atom suatu unsur dengan mengatur ulang elektron dalam unsur. Dengan kata lain, elektron akan menjadi parameter untuk memodifikasi material.

Dengan memberikan atom energi tambahan (misalnya, oleh penyerapan foton dari energi yang sesuai), elektron dapat bergerak ke dalam keadaan eksitasi. Dengan keadaan elektron tereksitasi, kita dapat mengubah keadaan lapisan inti elektronik tersebut. Eksitasi elektron adalah metode untuk mengubah sifat material ^[2]. Fenomena keadaan tereksitasi dalam material, dapat mempengaruhi sifat dan kinerja material sehingga memungkinkan untuk mendapatkan material dengan sifat yang baru.

Walaupun eksitasi elektron dalam sistem inti adalah mungkin bagi beberapa keadaan, tetapi umur atau jangka waktu dari keadaan tereksitasi sangatlah pendek, biasanya berkisar *femtosecond*. Material Zinc khususnya

telah diteliti oleh banyak peneliti, seperti Zn *excimer* (eksitasi dimer) telah menjanjikan karena memiliki umur yang panjang. Dalam berbagai industri, aplikasi zinc sangatlah penting, dan potensinya sebagai sistem penyimpanan energi (*hydrogen storage alloys system*)^[3].

Dengan memodifikasi material Zn dari atom, memungkinkan untuk mendapatkan struktur yang berbeda. Struktur tersebut tergantung dari energi ikat antara atom-atom penyusunnya. Dengan mendapatkan struktur yang berbeda ini akan merubah sifat dari material Zn. Sehingga diharapkan dapat membantu dan mengembangkan berbagai aplikasi dari Zn seperti elektronik, *spintronics*, korosi dan baterai.

1.2. Perumusan Masalah

Salah satu variabel utama dalam kontrol pembentukan Zn *excimer* dengan metode rekombinasi ion adalah kontrol energi insiden elektron^[4]. Dalam metode rekombinasi ion, atom Zn di eksitasi menjadi ion positif (Zn^+) dan ion negatif (Zn^-). Ion positif Zn^+ dikontrol oleh frekuensi tumbukkan yang terjadi antara atom Zn dengan elektron yang ditembakkan. Permukaan substrat safir di iradiasi dengan insiden elektron. Densitas dari Zn^- dikontrol oleh energi potensial elektrostatis substrat safir. Reaksi rekombinasi ion tersebut berada pada fasa permukaan. Sehingga pembentukan Zn *excimer* pada substrat sangat bergantung dari densitas yang ada pada permukaan substrat.

1.3. Hipotesis

Pada penelitian sebelumnya, yang telah dilakukan Obara *et.al*^[4] berhasil membuat lapisan Zn *excimer* atau Zn yang tereksitasi dengan umur yang panjang yaitu 44 minggu. Lapisan film Zn yang tereksitasi ini mempunyai karakteristik yang unik dari material Zn pada umumnya. Karakteristik tersebut berupa perubahan struktur yang terjadi pada Zn *excimer*

tersebut. Akan tetapi, perubahan struktur tersebut tidak homogen bahkan pada temperatur yang berbeda. Hal tersebut karena adanya distribusi muatan elektron pada saat proses *charging* yang sangat mempengaruhi pembentukan Zn excimer. Densitas muatan elektron bergantung pada lokasi ^[5]. Berdasarkan penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, hipotesis yang ingin dibuktikan dalam penelitian ini adalah untuk meneliti hubungan antara struktur mikro dan densitas pada lokasi substrat yang berbeda. Dengan menggunakan pengujian XPS akan dapat dilihat bagaimana perubahan energi ikat yang terjadi pada lokasi yang berbeda. Hal ini penting untuk kontrol serta modifikasi lapisan film Zn excimer.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

- a. Menganalisa distribusi densitas muatan pada posisi yang berbeda dari lapisan film Zn *excimer*.
- b. Menganalisa pengaruh kerapatan muatan dalam sistem molekuler yang diperoleh berdasarkan percobaan dan teori.
- c. Memahami pengaruh variabel densitas muatan pada energi ikat mikro kristal pada lapisan film.

1.5. Batasan Masalah

Ruang lingkup dari penelitian yang akan dilakukan dibatasi pada beberapa hal. Lapisan film Zn* dibuat dengan metode *electron assisted PVD* dengan variabel tekanan Argon 5.0×10^{-7} Torr, tegangan 230V, temperatur effusion cell 600°C, temperatur substrat 30°C, massa Zn 0,1 gram, dan waktu deposisi 1000 detik.

Setelah dibuat lapisan film Zn* kemudian dilakukan pengecekan kerapatan densitas pada sampel tersebut dengan posisi yang berbeda dengan

orientasi terhadap arah penembakan elektron : (a) paralel, dan (b) tegak lurus. Metode karakterisasi ini menggunakan XPS.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada karya tulis ini adalah:

BAB I : PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, hipotesis, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : DASAR TEORI

Menjelaskan eksitasi zinc, zinc excimer, densitas muatan serta mekanisme pembuatan lapisan film Zn*.

BAB III : METODE PENELITIAN

Menjelaskan tentang diagram alir penelitian, peralatan penelitian, bahan penelitian, prosedur penelitian, data penelitian, dan cara pengambilan data.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan tentang hasil yang didapat selama penelitian dan menganalisisnya, terdiri dari hasil X-ray spektroskopi fotoelektron (XPS) untuk mengetahui energi ikat dan intensitas lapisan film Zn excimer pada beberapa tingkat orbital dengan posisi lapisan film yang berbeda. Grafik hasil karakterisasi dengan XPS tersebut kemudian diolah dengan program atau *software origin* untuk mengetahui hubungan antara posisi dan distribusi muatan yang terjadi pada perubahan peak dan nilai energi ikat.

BAB V : KESIMPULAN

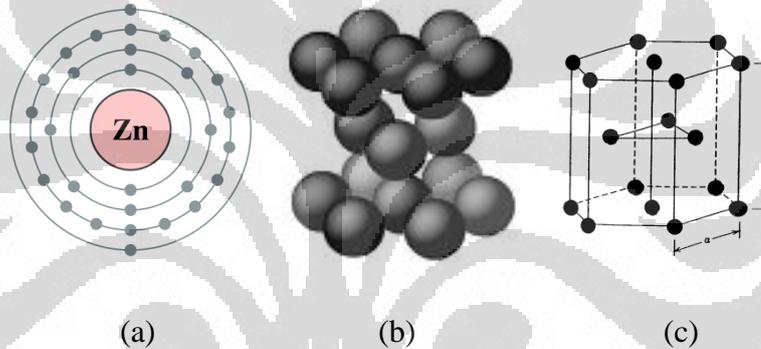
Menjelaskan mengenai kesimpulan yang didapat selama penelitian

BAB II

DASAR TEORI

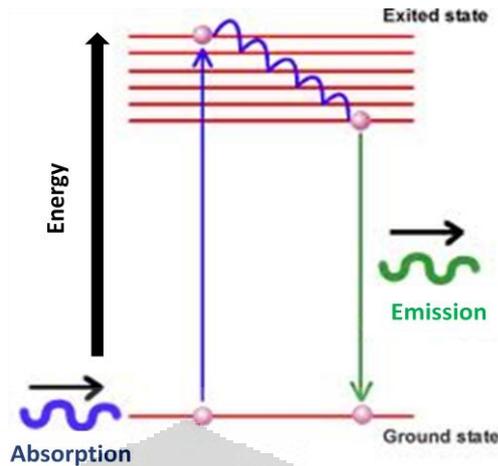
2.1. Zinc Eksitasi

Zinc (Zn) atau seng merupakan unsur kimia dengan nomor atom 30, dan massa atom relatif 65,39. Zn merupakan unsur pertama golongan 12 pada tabel periodik. Zn merupakan logam yang berwarna putih kebiruan, berkilau, dan bersifat diamagnetik. Zinc memiliki konfigurasi elektron $[\text{Ar}]3d^{10}4s^2$ artinya Zinc memiliki 30 proton dan 30 elektron. Struktur kristal dari zinc adalah hexagonal (hcp) dengan parameter kisi $a = 2.66 \text{ \AA}$ dan $c = 4.95 \text{ \AA}$ ^[6].



Gambar 2.1. (a) Susunan atom Zinc ^[7]; (b) dan (c) struktur kristal Zinc ^[8]

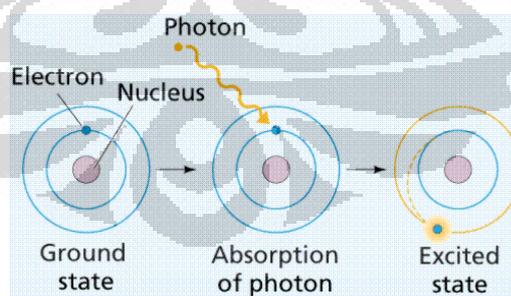
Dengan memberikan atom energi tambahan (misalnya, oleh penyerapan foton dari energi yang sesuai), elektron dapat bergerak ke dalam keadaan eksitasi ^[9]. Eksitasi elektron adalah pergerakan elektron ke keadaan energi yang lebih tinggi. Ini bisa dilakukan dengan photoexcitation (PE) di mana elektron asli menyerap foton dan memperoleh semua energi foton, atau dengan eksitasi elektrik (EE) di mana elektron menyerap energi dari elektron lain atau elektron energik ^[10]. Setelah menyerap energi, elektron dapat melompat dari keadaan dasar ke keadaan energi eksitasi yang lebih tinggi.



Gambar 2.2. Proses eksitasi dan relaksasi elektron^[11]

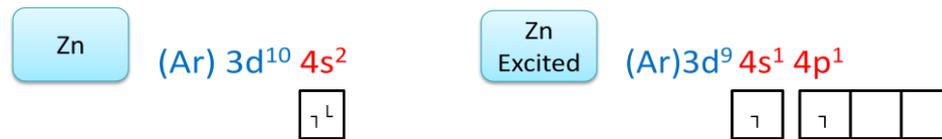
Ketika sebuah elektron tereksitasi jatuh kembali ke keadaan energi yang lebih rendah lagi, hal itu disebut relaksasi elektron. Setelah eksitasi atom dapat kembali ke keadaan dasar atau keadaan tereksitasi yang lebih rendah, dengan memancarkan foton dengan energi yang khas. Emisi foton dari atom dalam keadaan tereksitasi berbagai mengarah ke spektrum elektromagnetik menampilkan serangkaian garis emisi karakteristik.

Dengan keadaan elektron tereksitasi dalam atom, kita dapat mengubah keadaan lapisan inti elektronik dari suatu atom. Kita dapat mengubah atau mengatur ulang elektron dalam atom Zn dengan eksitasi^[12].



Gambar 2.3. Eksitasi elektron pada suatu atom^[13]

Dalam teori mekanika kuantum, setiap partikel memiliki momentum angular intrinsik yang disebut spin dan konfigurasi tertentu (misalnya elektron dalam sebuah atom) yang dijelaskan oleh satu set bilangan kuantum.



Gambar 2.4. Bilangan kuantum Zinc dan eksitasi Zinc^[ref 3]

Pada gambar 2.4. diatas, dapat dilihat Zn memiliki bilangan kuantum $(\text{Ar}) 3d^{10} 4s^2$, artinya pada tingkat energi terluar s tidak memiliki bilangan kuantum azimuth l (angular momentum) dan bilangan kuantum magnetik m_l (magnetic momentum), ($l = 0$ dan $m_l = 0$). Magnetik momentum merupakan proyeksi dari angular momentum.

Akan tetapi, jika Zn kita eksitasi di dalam inti sistem, maka akan menghadirkan angular momentum dan akan menghasilkan momen magnetik. Adanya gaya magnet ini akan menyebabkan interaksi antara atom-atom akan meningkat. Gaya magnet dalam Zn tersebut akan mempengaruhi dalam proses pertumbuhan kristal^[14]. Proses itu akan mempengaruhi perubahan struktur kristal. Dan kemudian kita bisa mendapatkan material dengan karakteristik yang berbeda.

Energi ikat atom zinc berbeda-beda pada setiap level orbital. Kondensat material Zn terhadap ketergantungan energi intensitas sinar-X difraksi menunjukkan adanya intensitas hamburan difusi yang kuat pada intensitas 10 eV, 90 eV, 100 eV, dan 230 eV^[15]. Energi diskrit berkaitan dengan kombinasi dari energi ikat atom Zinc. Energi tersebut mengindikasikan elektron atom Zn pada tingkat energi dengan orbital elektron sistem pada orbital 3s, 3p, 3d, dan kombinasinya^[4].

Hal penting dari eksitasi adalah *life time* atau umurnya. Umur dari eksitasi atom biasanya sekitar 1×10^{-15} detik, sehingga sulit sekali untuk mendapatkan atom dengan keadaan tereksitasi dengan waktu yang panjang.

Tabel 2.1. Umur (*lifetime*) dari atom yang tereksitasi [16]

Atom	Transisi	Panjang gelombang Å	Umur [S]
Zn	$4^1S_0 \Rightarrow 4^1P_1$	2 1 3 9	5×10^{-8}
	$4^1S_0 \Rightarrow 4^3P_1$	3 0 7 6	1×10^{-5}
Cd	$5^1S_0 \Rightarrow 5^1P_1$	2 2 8 8	2×10^{-9}
	$5^1S_0 \Rightarrow 5^3P_1$	3 2 6 1	2.5×10^{-6}
Hg	$6^1S_0 \Rightarrow 6^1P_1$	1 8 5 0	1.4×10^{-9}
	$6^1S_0 \Rightarrow 6^3P_1$	2 5 3 7	1.1×10^{-7}

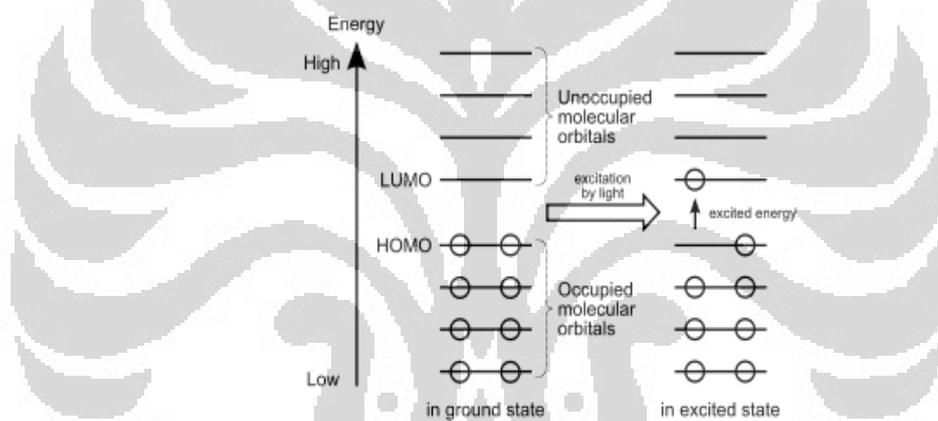
Waktu keadaan tereksitasi tergantung pada keadaan kuantum. Jika transisi dari sebuah elektron dalam keadaan tereksitasi ‘dilarang’, elektron tersebut memiliki umur atau jangka waktu yang panjang. Jangka waktu yang panjang dalam keadaan tereksitasi sering disebut ‘metastabil’. Transisi dari tingkat ini biasanya "terlarang" oleh aturan seleksi dipole listrik. Dalam fisika dan kimia aturan seleksi, atau ketentuan transisi, secara resmi membatasi transisi yang mungkin dari sebuah sistem dari satu keadaan ke keadaan lain. Keadaan tersebut merupakan transisi dari keadaan eksitasi singlet ke triplet.

Dari table referensi, umur atau *life time* rata-rata dari triplet – singlet atom Zn lebih lama dibandingkan logam transisi lainnya. Sehingga potensi untuk memodifikasi material dengan Zn eksitasi semakin besar.

2.2. Zn excimer

Excimer (*excited dimer*) adalah dimer atau senyawa kimia yang terdiri dari dua molekul identik atau mirip yang berikatan dalam kondisi eksitasi. excimers merupakan diatomik yang terdiri dari dua atom atau molekul yang tidak berikatan jika keduanya dalam keadaan dasar (*ground state*). Excimer hanya terbentuk ketika salah satu komponen dimer dalam keadaan tereksitasi [17].

Dalam orbital molekul, molekul dalam keadaan dasar (*ground state*) memiliki elektron pada tingkat energi serendah mungkin. Menurut prinsip Pauli, jumlah elektron maksimal yang boleh ditempati dalam orbital adalah dua, dan jika orbital terisi oleh dua elektron maka harus berada dalam keadaan spin yang berlawanan. Orbital molekul tertinggi yang ditempati disebut HOMO (*highest occupied molecular orbital*) dan orbital molekul terendah yang tak ditempati disebut LUMO (*lowest unoccupied molecular orbital*). Celah energi antara kedua keadaan tersebut dikenal sebagai HOMO / LUMO gap. Jika molekul menyerap cahaya yang energinya lebih besar dari celah ini, sebuah elektron dalam HOMO dapat tereksitasi ke LUMO. Ini disebut keadaan tereksitasi molekul ^[12].



Gambar 2.5. Keadaan tereksitasi molekul

Ketika excimer kembali ke keadaan dasar, masing-masing komponennya akan memisah dan saling tolak-menolak ^[18]. Panjang gelombang dari emisi excimer lebih panjang (energi lebih kecil) daripada emisi monomer yang tereksitasi itu.

Masa pakai excimer adalah sangat pendek, dengan umur berkisar nanodetik. Akan tetapi dengan eksitasi ganda dan pembentukan dalam fasa kondensat memungkinkan untuk mendapatkan excimer dengan jangka waktu atau umur pakai yang lama.

Eksitasi elektron inti Zn di dominasi dengan ‘aturan pemilihan’ atau *selection rule* $\Delta L = \pm 1$, di mana L adalah bilangan kuantum orbital sudut ^[4]. Elektron spin s_i berinteraksi dan bergabung membentuk total spin momentum angular S . Hal yang sama terjadi dengan momentum angular ℓ , membentuk total momentum sudut orbital L. Interaksi antara kuantum nomor L dan S disebut Russell-Saunders kopling atau kopling LS. Kemudian S dan L bersama-sama dan membentuk momentum total sudut J:

$$\mathbf{J} = \mathbf{L} + \mathbf{S}, \quad \dots\dots(2.1)$$

dimana

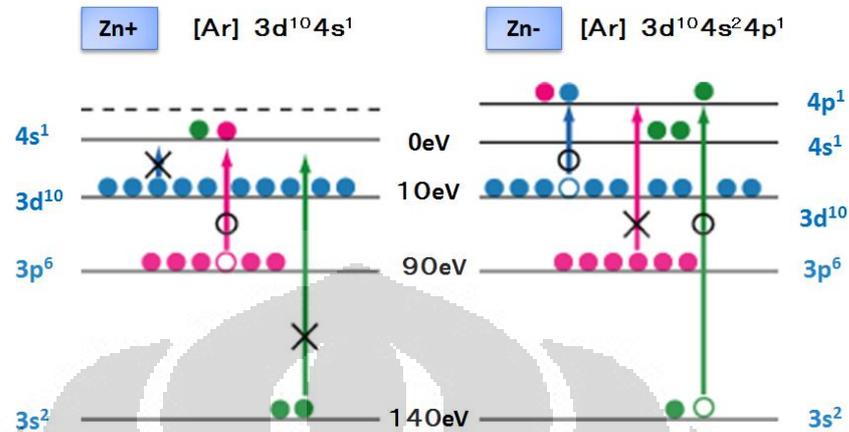
$$\mathbf{L} = \sum_i \boldsymbol{\ell}_i. \quad \text{dan} \quad \mathbf{S} = \sum_i \mathbf{s}_i. \quad \dots\dots(2.2)$$

Term symbols atau Simbol istilah digunakan untuk mewakili keadaan dan transisi spektral atom, dari kopling momentum sudut ^[19]. Ketika keadaan atom telah ditetapkan dengan simbol, transisi diizinkan dapat ditentukan melalui aturan seleksi dengan mempertimbangkan transisi yang akan mengkonservasi momentum sudut. Foton memiliki putaran 1, dan ketika ada transisi dengan emisi atau penyerapan foton atom perlu mengubah keadaan untuk mengkonservasi momentum sudut. Simbol istilah dalam aturan seleksi adalah $\Delta S = 0$; $\Delta L = 0, \pm 1$; $\Delta l = \pm 1$; $\Delta J = 0, \pm 1$ ^[20].

Aturan seleksi, atau ketentuan transisi, secara resmi membatasi transisi yang mungkin dari sebuah sistem dari satu keadaan ke keadaan lain. Aturan pemilihan adalah aturan yang menyatakan bagaimana probabilitas transisi dari satu keadaan ke keadaan yang lain ^[20]. Dimana posibilitas eksitasi Zinc diberikan pada gambar 2.6.

Untuk mengeksitasi atom Zn pada orbital 3d, 3p, dan 3s diperlukan energi radiasi elektron sebesar 10 eV, 90 eV, dan 140 eV untuk masing-masing orbital secara berurutan. Dan energi radiasi elektron sebesar 100 eV

dan 140 eV untuk kombinasi eksitasi elektron untuk orbital (3d+3p) dan orbital (3p+3s) secara berurutan.



Gambar 2.6. Posibilitas eksitasi Zn^[17]

Sebuah atom dalam keadaan tereksitasi tinggi disebut Rydberg atom. Sebuah sistem atom yang tereksitasi dapat membentuk suatu keadaan eksitasi dalam umur atau jangka waktu yang panjang dalam fase terkondensasi yang terbentuk dari atom-atom tereksitasi^[12]. Pada penelitian ini, proses pelapisan zinc excimer menggunakan metode ion rekombinasi. Terkondensasinya ion positif dan ion negatif disebut proses ion rekombinasi.

Dalam penelitian ini, kami akan membentuk lapisan film Zn excimer dengan menggabungkan fungsi gelombang elektron (mengikat) dan kemudian elektron bisa digabungkan satu sama lain.

$$\psi = (\phi^+ \pm \phi^-) / \sqrt{2(1-S)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana ψ adalah fungsi gelombang elektron (mengikat), ϕ^+ dan ϕ^- adalah fungsi gelombang dari Zn⁺ dan Zn⁻, dan S adalah jarak *overlap* antara Zn⁺ dan Zn⁻. Jangka waktu dalam keadaan bergabung tersebut tergantung pada kondisi ikatan. Eksitasi ganda adalah kunci untuk jangka waktu yang lama^[3].

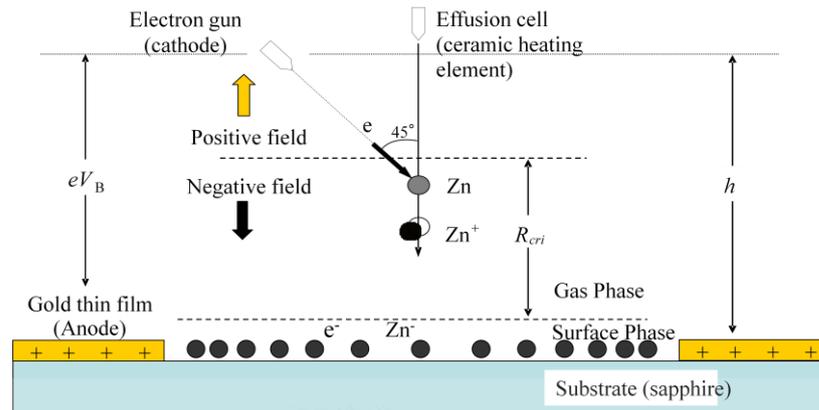
Gaya Coulomb antara dua ion dengan polaritas berlawanan menghasilkan kekuatan kohesif yang kuat. Interaksi Coulomb menggambarkan Interaksi antara dua partikel bermuatan. Menurut hukum Coulomb dari elektrostatika, energi dari interaksi tersebut adalah $\frac{q_1q_2}{R}$, di mana q_i adalah muatan dari partikel ke- i dan R adalah jarak partikel .

Dalam rangka untuk menggambarkan pembentukan excimer, dalam penelitian ini digunakan dua asumsi penting seperti di bawah ini (Hatano & Mozumber, 2004) ^[21].

1. Elektron dalam-inti harus tereksitasi sebelum pembentukan orbital molekul. Jika transfer muatan antara Zn^+ dan Zn^- terjadi sebelum pembentukan molekul, kita tidak bisa membedakan antara proses kuantum mekanik karena ϕ^+ dan ϕ^- menjadi fungsi gelombang yang sama.
2. Agar tampak ketergantungan energi diskrit dalam pengukuran, kondensat dalam-inti elektron harus tereksitasi. Dalam keadaan eksitasi elektron-terluar, ketergantungan energi diskrit tidak muncul, karena eksitasi lapisan elektron terluar ke tingkat energi kontinyu.

2.3. Deposisi lapisan film Zn excimer

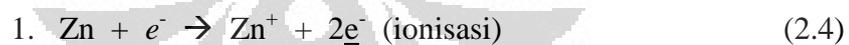
Deposisi adalah proses akhir untuk pelapisan Zn excimer ke substrat Sapphire. Keadaan elektronik pada substrat dikendalikan oleh energi dari elektron yang dipancarkan dari *electron gun*. Elektron insiden dipercepat oleh medan listrik karena potensi permukaan, eV_B ^[22] . Partikel Zn ditembakkan dari *effusion cell* dengan arah tegak lurus dengan substrat pada sudut horisontal. Atom zinc dideposisikan dari sel efusi ke daerah isolator dengan diameter substrat safir 6.5mm .



Gambar 2.7. Proses reaksi pembentukan Zn excimer ^[4]

Dalam fasa gas, elektron bertabrakan dengan sistem elektron dalam atom Zn (elektron memasuki atom). Elektron menyerap sejumlah energi untuk membebaskan elektron dari penghalang potensial listrik (atom terionisasi). Dengan memberikan energi atom tambahan (misalnya, oleh penyerapan foton dari energi yang sesuai), elektron dapat bergerak ke dalam keadaan tereksitasi. Jika foton memiliki terlalu banyak energi, elektron akan berhenti untuk terikat ke atom, dan atom akan menjadi terionisasi. Ionisasi ini menjadikan Zn menjadi ion-ion Zn^+ . Ion-ion Zn^+ terbentuk pada fasa gas, sedangkan ion-ion Zn^- terbentuk pada fasa permukaan substrat. Reaksi antara ion-ion Zn^+ dan ion-ion Zn^- disebut reaksi rekombinasi ion.

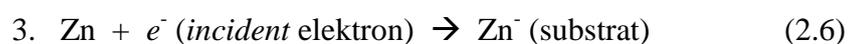
Berikut tahapan-tahapan reaksi yang akan terjadi pada proses pembentukan Zn excimer dengan metode rekombinasi ion :



e^- : *incident* elektron; Zn^+ : produk reaksi



Rekombinasi Zn^+ dan e^- (muatan di permukaan)



Ionisasi Zn^- pada substrat



Rekombinasi ion positif dan negatif akan menghasilkan gaya kohesif yang kuat.

Faktor penting untuk menghasilkan Zn excimer adalah kontrol energi insiden elektron. Zn^+ dikendalikan oleh energi elektron kemudian bereaksi dengan Zn^- dalam fase permukaan.

2.4. Densitas Muatan Elektron

Komponen modifikasi material dengan eksitasi dapat diklasifikasikan dalam dua kategori, meskipun mekanisme dapat sangat bervariasi ^[21]. Pertama yaitu proses transportasi yang terbagi menjadi energi transportasi dan *charge* transportasi. Ini merupakan proses dimana eksitasi mencapai daerah tertentu dari sebuah material padat. Pengendalian zona yang terkena dan yang tidak terpengaruh sangat penting dalam aplikasi, seperti sifat topologi ^[23].

Dan yang kedua adalah proses lokalisasi yang terbagi dalam energi lokalisasi dan *charge* lokalisasi. Lokalisasi energi sering dapat digambarkan sebagai perangkap atau *exciton* yang terperangkap. Dalam beberapa kasus, akan didahului dengan *charge* lokalisasi, diikuti dengan penangkapan elektron.

Salah satu variabel utama dalam kontrol pembentukan Zn excimer dengan metode rekombinasi ion adalah kontrol energi insiden elektron ^[4]. Dalam metode rekombinasi ion, atom Zn di eksitasi menjadi ion positif (Zn^+) dan ion negatif (Zn^-).

Ion positif Zn^+ dikontrol oleh frekuensi tumbukan yang terjadi antara atom Zn dengan insiden elektron. Permukaan substrat safir di iridasi dengan insiden elektron. Densitas dari Zn^- dikontrol oleh energi potensial elektrostatik substrat safir. Reaksi rekombinasi ion tersebut berada pada fasa

permukaan. Sehingga pembentukan *Zn excimer* pada substrat sangat bergantung dari densitas yang ada pada permukaan substrat.

Densitas muatan permukaan (ρ) adalah jumlah muatan listrik dalam suatu permukaan. Hal ini diukur dalam coulomb per meter persegi (C/m^2). Densitas bergantung pada posisi. Densitas atau kepadatan adalah sifat kuantitatif yang sangat penting untuk membantu mengidentifikasi zat karena setiap substansi memiliki kepadatan tertentu ^[24]. Densitas suatu zat menunjukkan bagaimana partikel suatu zat yang dikemas bersama-sama dengan substansi. Semakin ketat partikel yang dikemas, semakin tinggi kepadatan substansi.

Keadaan elektronik pada substrat dikendalikan oleh energi dari elektron yang dipancarkan dari *electron gun*. Elektron insiden dipercepat oleh medan listrik karena potensial permukaan, eV_B ^[22]. Energi elektron dirubah menjadi energi kinetik sistem (*conservation of energy*). Fungsi kinetik radiasi elektron yang di tembakkan dari electron gun adalah

$$E_k = e \cdot V_b \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana : E_k = energi kinetik
 e = elektron
 V_b = potensial bias permukaan

Ketika substrat ditembakkan dengan radiasi elektron maka daerah di sekitar substrat akan menghasilkan medan listrik. Medan listrik menggambarkan gaya yang bekerja pada benda bermuatan listrik lainnya oleh partikel bermuatan listrik di sekitarnya. Konsep medan listrik diperkenalkan oleh Michael Faraday.

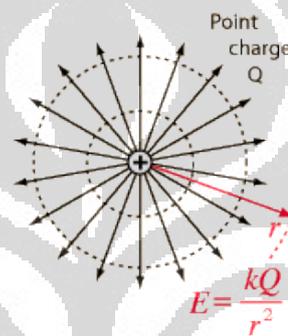
Medan listrik dihasilkan oleh muatan. Muatan stasioner Q (sumber muatan) menciptakan sebuah medan listrik E ^[25]. Intensitas medan listrik E didefinisikan sebagai gaya F yang dialami q satuan titik stasioner muatan positif pada posisi r (relatif terhadap Q) :

$$E(r) = \frac{F(r)}{q} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{|r|^2} \hat{r} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana $r = |r|$ adalah besarnya vektor posisi, \hat{r} adalah vektor satuan yang sesuai dengan r (dari Q ke q), dan ϵ_0 adalah konstanta elektrik. Medan listrik dari sebuah muatan titik dapat diperoleh dari hukum Coulomb:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{kQ_{source}}{r^2} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$



Gambar 2.8. Medan listrik pada muatan titik ^[26]

Medan listrik secara radial keluar dari muatan titik ke segala arah. Lingkaran mewakili permukaan ekuipotensial bola. Dari definisi tersebut, arah medan listrik adalah sama dengan arah gaya pada partikel bermuatan positif, dan berlawanan arah gaya pada partikel bermuatan negatif. Menurut hukum Coulomb, medan listrik bergantung pada posisi ^[27]. Medan listrik terjadi karena setiap muatan *charge* pada kuadrat jarak dari muatan *charge* tersebut. Menambahkan atau memindahkan muatan sumber akan mengubah distribusi medan listrik. Oleh karena itu medan listrik sebagai konfigurasi tertentu dari sumber muatan.

Gaya interaksi antara dua benda bermuatan menunjukkan bahwa muatan sejenis akan tolak-menolak dan sebaliknya muatan yang tidak sejenis akan saling tarik-menarik ^[27].

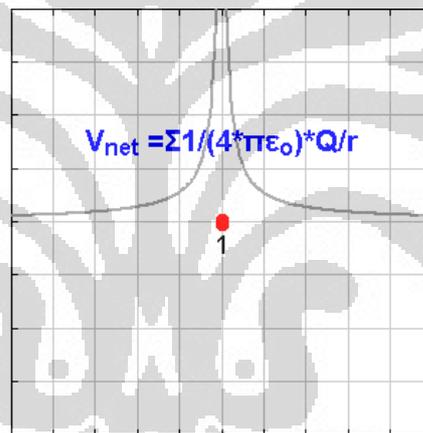
Gaya yang bekerja pada arah radial adalah tidak sama dengan nol.

$$F \neq 0 ; \quad F = (-e) \cdot E(r) \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana (-e) adalah muatan elektron. Medan listrik dalam ruang hampa dapat diekspresikan sebagai berikut :

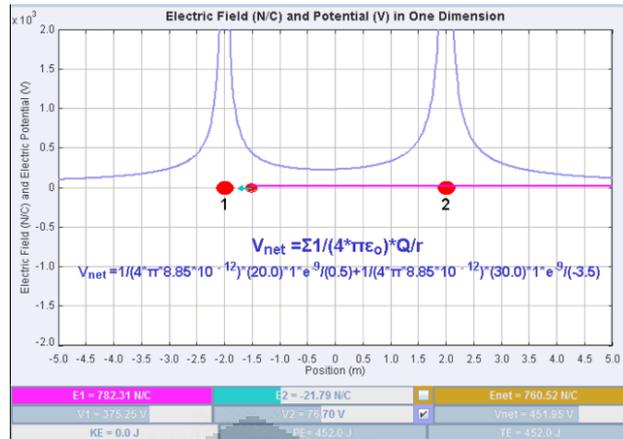
$$E = \frac{V_b}{D} = \frac{V_b}{2R} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana D adalah diameter substrat, dan V_b adalah potensial elektrik. Karena energi elektron insiden adalah konstan, potensial permukaan substrat adalah sama dengan energi elektron insiden. Medan listrik pada suatu titik sama dengan gradien negatif dari potensial listrik yang ada di titik tersebut. Konsentrasi elektron pada daerah tengah substrat lebih tinggi daripada daerah pinggir substrat. Sehingga terjadi perbedaan medan listrik dan potensial pada daerah permukaan substrat.



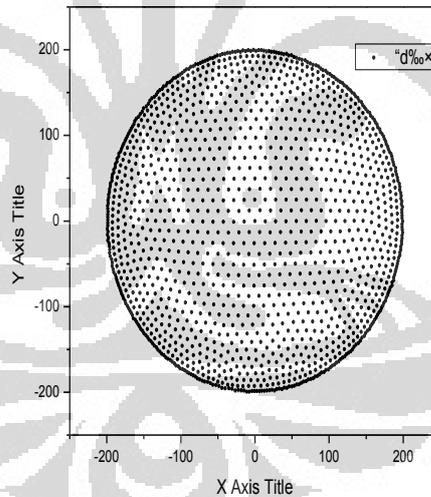
Gambar 2.9. Densitas muatan sama dengan potensial elektrik^[27]

Akibat adanya perbedaan medan listrik tersebut akan terjadi kondisi yang dinamakan “bidang seragam”. Bidang seragam adalah satu kondisi dimana medan listrik akan konstan pada setiap titik. Untuk menyamakan medan listrik tersebut elektron akan bergerak ke arah pinggir. Dari syarat batas elektromagnetik, densitas elektron permukaan di daerah tepi akan menjadi lebih besar daripada di pusat substrat^[27].



Gambar 2.10. Densitas muatan sama dengan potensial elektrik [27]

Kerapatan elektron yang diberikan tergantung pada jarak dari pusat pada substrat melingkar, dan kerapatan elektron yang dibebankan dekat tepi area substrat jauh lebih besar dari pada di area tengah substrat karena menciptakan potensi yang homogen dari substrat.



Gambar 2.11. Distribusi electron pada insulator [28]

Rata-rata kepadatan muatan di permukaan, $\sigma(r)$ dinyatakan dengan persamaan :

$$\sigma (r) = \frac{2\epsilon_0 V}{e (R^2 - r^2)^{1/2}} \dots\dots\dots(2.14)$$

dan jarak rata-rata antara dua elektron terdekat d_e , dinyatakan sebagai berikut:

$$d_e = \left(\frac{e}{\sigma}\right)^{1/2} = e \frac{(R^2 - r^2)^{1/2}}{2\epsilon_0 V} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

Dalam rangkaian listrik, istilah kapasitansi biasanya adalah singkatan untuk kapasitansi antara dua konduktor yang berdekatan, seperti dua piring kapasitor. Namun, untuk sebuah konduktor yang terisolasi ada juga ada sifat yang disebut kapasitansi-diri, yaitu jumlah muatan listrik yang harus ditambahkan ke sebuah konduktor terisolasi untuk menaikkan potensial listrik (volt) [29]. Titik referensi untuk potensial ini adalah bola berongga dengan jari-jari yang terpusat di tengah.

Nilai koefisiensi kapasitansi adalah sama dengan $4\pi\epsilon_0 R$. Dimana R adalah jari-jari substrat, ϵ_0 adalah konstanta elektrik ($\epsilon_0 \approx 8.854 \times 10^{-12}$ F /m), C_0 adalah koefisien kapasitansi disimpulkan dari percobaan (1.104×10^{-19} F/nm), dan e adalah muatan elektron. Medan listrik pada daerah insulatif substrat mengubah polaritas negatif dari dekat permukaan ke positif di atas titik kritis. Jarak kritis, R_{crit} , dinyatakan sebagai berikut.

$$R_{crit} = \left(\frac{C_0 h R}{4\pi\epsilon_0}\right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

di mana h adalah jarak antara anoda dari film emas tipis dan katoda dari *electron gun*, dan R adalah jari-jari daerah insulator (substrat) yang dibebankan (*charged*). Atom Zn^+ terionisasi di bawah titik kritis dan bereaksi dengan Zn^- dalam fase permukaan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis fitur penting dari perubahan yang disebabkan oleh eksitasi elektronik, dan untuk mengidentifikasi modifikasi material. Pada penelitian ini, akan membahas kerapatan muatan dalam sistem molekuler yang diperoleh berdasarkan percobaan dan teori dan bagaimana pengaruhnya di titik-titik lokasi pada

lapisan film. Metode analisis hasil eksperimen ini akan dilihat berdasarkan energi ikatan yang didapat dari analisa XPS.

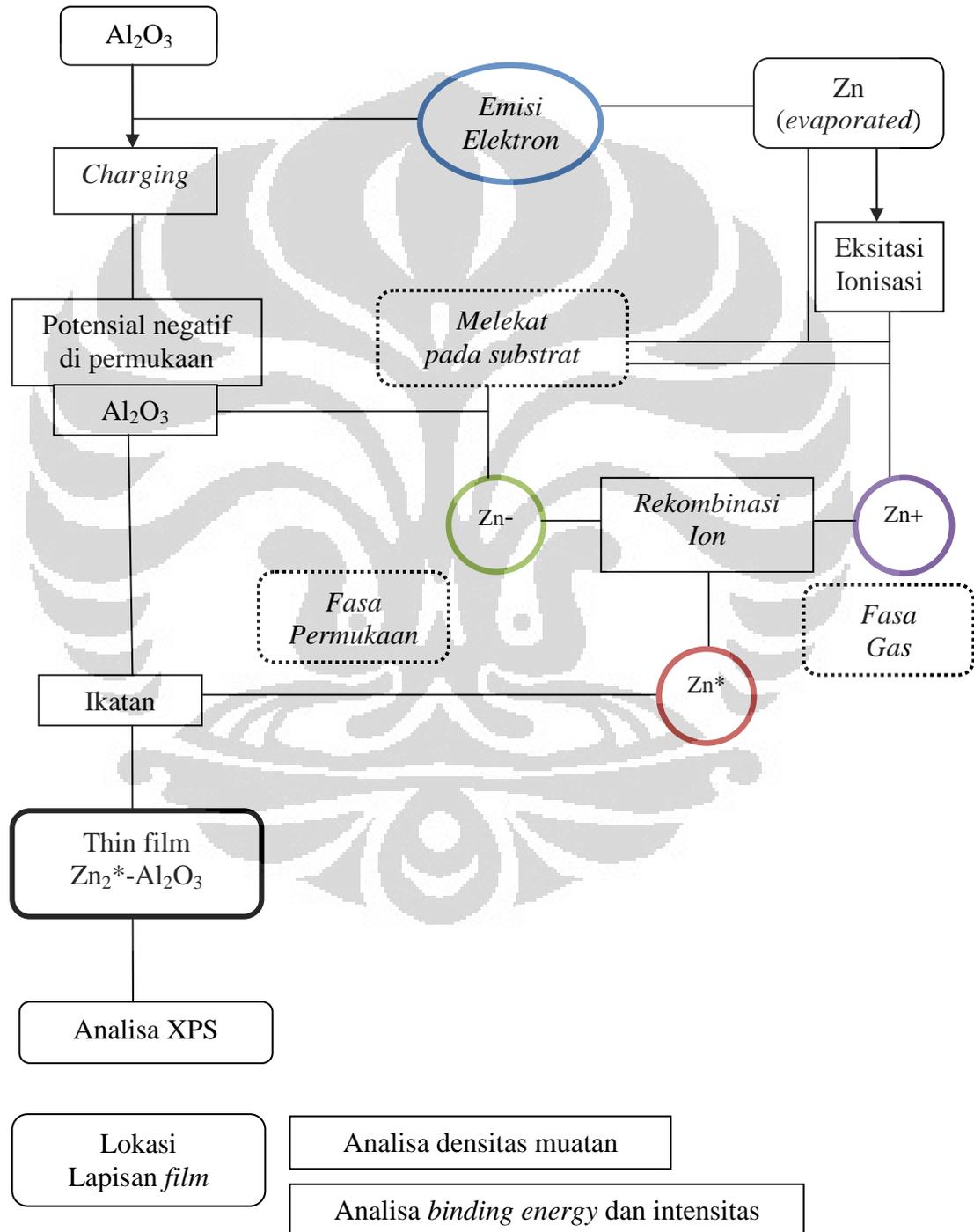
Pada tingkat atom, energi ikat dari atom berasal dari interaksi elektromagnetik dan energi yang dibutuhkan untuk memisahkan sebuah atom menjadi elektron bebas dan inti. Energi ikat elektron adalah ukuran dari energi yang dibutuhkan untuk elektron bebas dari orbit atom mereka. Karakteristik energi ikat elektron pada orbital tertentu untuk masing-masing unsur berbeda. Sehingga metode analisa pengaruh densitas muatan terhadap lokasi lapisan film akan sangat membantu untuk karakterisasi modifikasi material dengan Zn excimer.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Eksperimen

Dalam penelitian ini dilakukan serangkaian eksperimen yang dituliskan dalam bentuk diagram alir, seperti di bawah ini.



Secara umum terdapat 3 bagian utama yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu : proses *charging*, deposisi lapisan film Zn excimer, dan karakterisasi lapisan film dengan XPS.

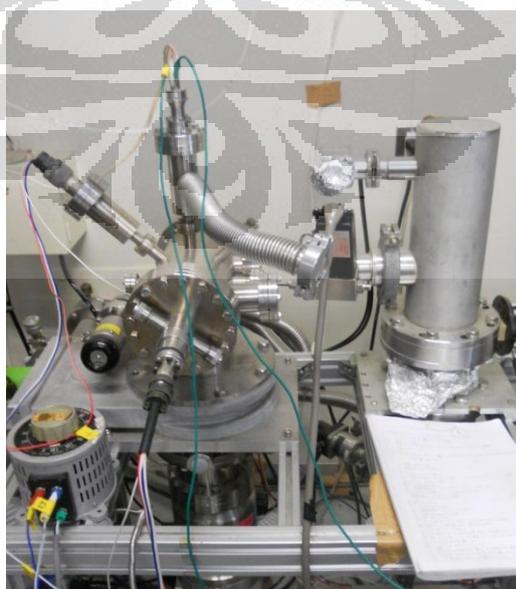
3.2. Alat Dan Bahan

Alat	Bahan
Electron assisted PVD	Sapphire ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)
Turbo molecular vacuum pump	Gold thin film (anoda)
Electron gun	Kawat Zinc
<i>X-ray Photoelectron Spectroscopy</i> (XPS)	

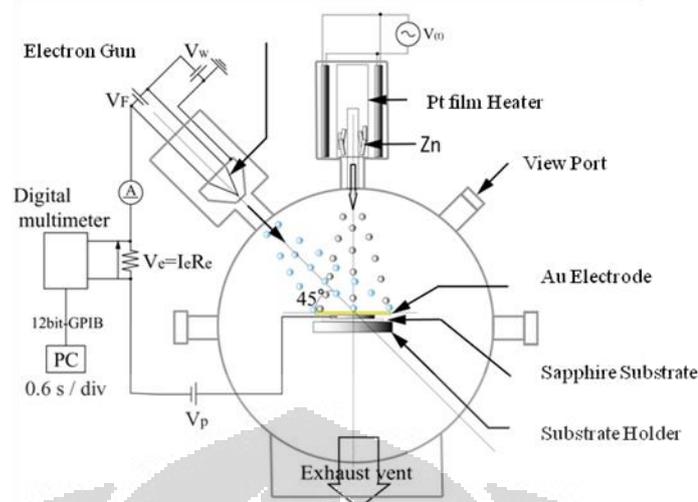
3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Proses *Charging*

Prosedur dalam pembuatan lapisan film Zn* dengan metode *electron-assisited PVD* dalam kondisi vakum. Sistem vakum terdiri dari peralatan pompa molekul turbo, di mana variabel tekanan Argon sebesar 5.0×10^{-7} Torr, tegangan 230V, temperatur *effusion cell* 600°C , temperatur substrat 30°C, massa Zn 0,1 gram, dan waktu deposisi 1000 detik.



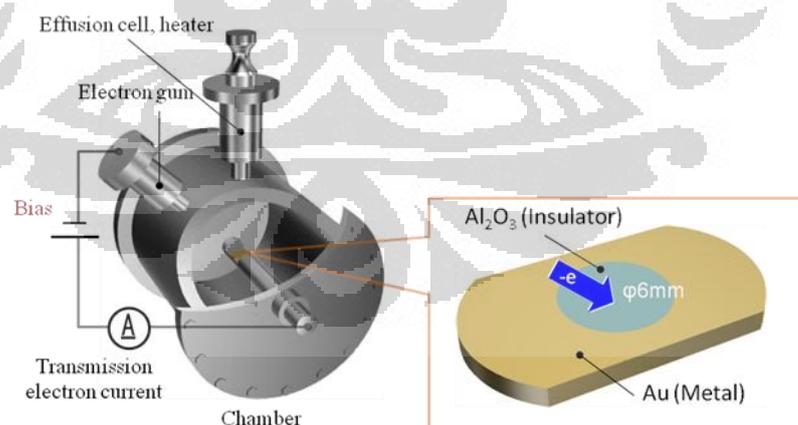
Gambar 3.1. Sistem *electron-assisited PVD*



Gambar 3.2. Sistem *electron-assisted PVD* dalam pembuatan lapisan film Zn*^[3]

Langkah pertama adalah proses *Charging*, yaitu pengisian permukaan substrat dengan elektron. Elektron dipancarkan ke insulator (permukaan substrat). Substrat adalah safir (Al_2O_3) dengan dikelilingi oleh *thin film* emas.

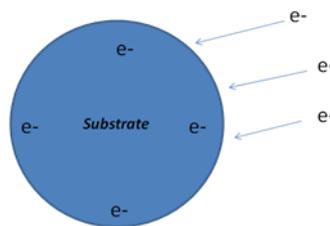
Elektron bertabrakan dengan sistem permukaan elektronik dari safir. Elektron ini mudah bertabrakan dengan substrat karena permukaannya memiliki potensial nol. Setelah 10 jam dari iradiasi elektron, arus elektron menjadi stabil pada $0,1 \mu\text{A}$.



Gambar 3.3. Posisi dan kondisi substrat sapphire pada sistem^[28]

Proses charging ini dipantau dari arus elektron yang dideteksi dengan penurunan potensial V_e . Karena energi elektron yang diberikan konstan (230

eV) permukaan potensial substrat sama dengan energi insiden elektron. Jumlah arus transmisi elektron fix dalam rentang $0,1 \mu\text{A} - 1 \mu\text{A}$.



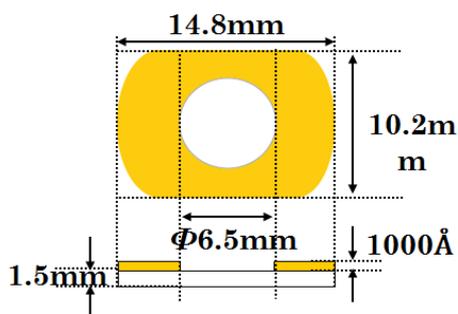
Gambar 3.4. Proses *Charging*

Ketika lapisan film tipis terbuat iradiasi elektron, konsentrasi densitas oleh insiden elektron berpengaruh pada permukaan film tipis sehingga difusi permukaan dapat dihasilkan dan dipromosikan dengan proses non-termal. Semakin kecil sudut iradiasi elektron ke substrat semakin baik. Butiran kristal dapat dikontrol oleh sudut derajat insiden elektron dan energi dari elektron.

Permukaan substrat menjadi bermuatan negatif karena adanya iradiasi elektron yang ditembakkan. Substrat Sapphire dikelilingi oleh elektroda emas (Au) untuk menghasilkan tegangan bias terhadap iradiasi elektron. Elektron yang diberikan pada daerah *insulative* membentuk bidang negatif dan potensial permukaan eV_B . Nilai ini setara dengan potensial bias dari elektroda emas.

3.3.2. Deposisi

Tahap berikutnya adalah untuk deposisi atom zinc pada permukaan substrat. Partikel Zn ditembakkan dari *effusion cell* dengan arah tegak lurus dengan substrat pada sudut horisontal. Atom zinc dideposisikan dari sel efusi ke daerah isolator dengan diameter substrat safir 6.5mm.



Gambar 3.5. Dimensi substrat Sapphire (α -Al₂O₃) dan lapisan film Au

Dalam fasa gas, elektron bertabrakan dengan sistem elektron dalam atom Zn (elektron memasuki atom). Elektron menyerap sejumlah energi untuk membebaskan elektron dari penghalang potensial listrik (atom terionisasi).

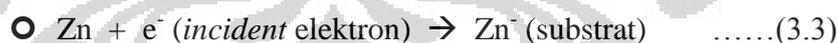


e^- : *incident* elektron; Zn^+ : produk reaksi

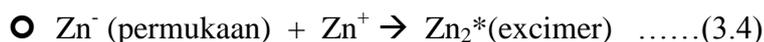
Zn^+ yang menempel pada substrat bereaksi dengan elektron e^- membentuk Zn pada permukaan substrat.

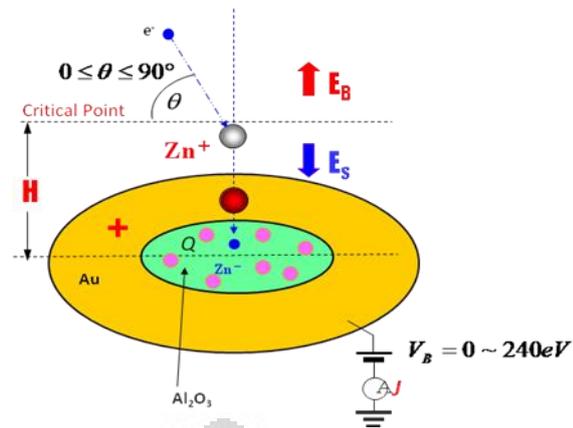


Partikel Zn akan terionisasi oleh elektron yang ada pada substrat sehingga membentuk Zn⁻.



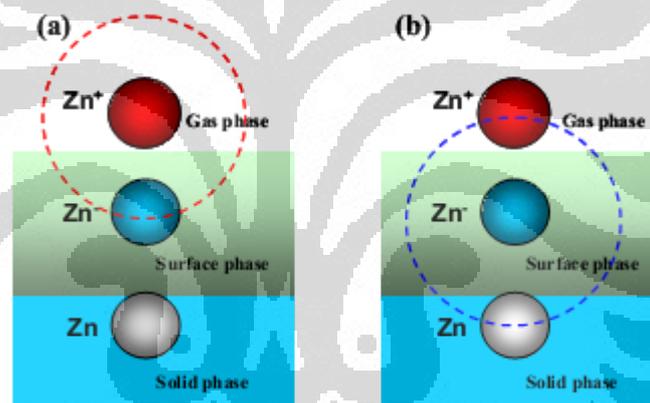
Dan kemudian, terjadi tabrakan antara Zn⁺ dalam fase gas dan Zn⁻ pada fasa permukaan. Terkondensasinya ion positif dan ion negatif disebut proses ion rekombinasi. Gaya Coulomb antara dua ion dengan polaritas berlawanan menghasilkan kekuatan kohesif yang kuat.





Gambar 3.6. Area reaksi proses ion rekombinasi ^[15]

Zn^+ dikendalikan oleh energi elektron kemudian bereaksi dengan Zn^- dalam fase permukaan (Kuantum mekanik proses rekombinasi ion).



Gambar 3.7. (a) eksitasi Zn^+ , (b) eksitasi Zn^- ^[3]

Pada gambar di atas menggambarkan model proses eksitasi dalam-inti Zn^+ terjadi sebelum proses pertukaran *charge*. Eksitasi Zn^+ terjadi pada fasa gas sedangkan eksitasi Zn^- pada fasa permukaan.

3.4. Karakterisasi Energi Ikat

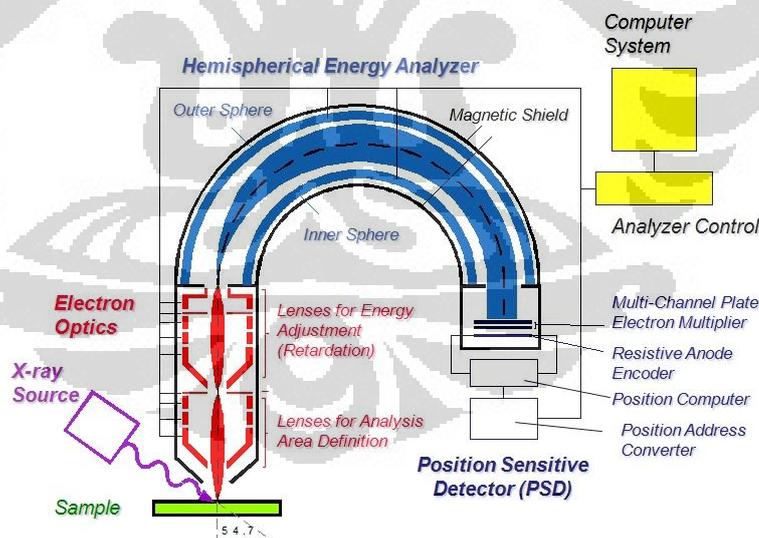
3.4.1 Pengujian *X-Ray Photoelectron Spectroscopy* (XPS)

Pengujian spektroskopi fotoelektron sinar X (*X-Ray Photoelectron Spectroscopy* / XPS) adalah teknik spektroskopi kuantitatif yang mengukur komposisi unsur, rumus empiris, keadaan kimia dan keadaan elektronik dari

elemen yang ada dalam suatu material sehingga sering disebut dengan Elektron Spektroskopi untuk Analisis Kimia atau ESCA (*Electron Spectroscopy for Chemical Analysis*).

Tujuan dari penggunaan karakterisasi dengan alat XPS adalah untuk mengetahui energi ikat dari lapisan film Zn excimer pada titik-titik lokasi tertentu. Untuk setiap elemen atau unsur akan ada karakteristik energi ikat yang terkait dengan setiap inti orbital atom, artinya setiap unsur mempunyai karakteristik puncak tertentu dalam spektrum fotoelektron pada energi kinetik yang ditentukan oleh energi ikatnya.

Spektrum XPS diperoleh dengan penyinaran bahan dengan sinar X-ray sekaligus mengukur energi kinetik dan jumlah elektron yang keluar dari bagian atas materi yang sedang dianalisis. XPS memerlukan kondisi *ultra-high vacuum* (UHV) untuk menghilangkan kontaminasi permukaan sampel agar kontaminasi tersebut tidak merubah sinyal XPS dan menyebabkan salah analisis dari komposisi permukaan.



Gambar 3.8. Prinsip kerja XPS^[30]

Sampel diiradiasi dengan mono-energi x-ray menyebabkan elektron akan terpancarkan dari permukaan sampel. Foton dengan energi spesifik digunakan untuk mengeksitasi keadaan sistem elektronik dari atom pada

permukaan sampel. Energi elektron atom yang tereksitasi pada permukaan disaring melalui *hemispherical analyzer* (HSA) didefinisikan dan dicatat oleh detektor. Sebuah analisa energi elektron menentukan energi ikat (*binding energy*) dari fotoelektron. Energi ikat merupakan karakteristik orbital elektron tertentu dalam atom tertentu. Dari energi ikat dan intensitas peak fotoelektron, kita dapat menentukan identitas unsur, bentuk kimia, dan kuantitas elemen.



Gambar 3.9. Sistem XPS

Dalam XPS, foton dengan energy $h\nu$ yang cukup diserap oleh sistem menyebabkan emisi elektron dimana elektron keluar dari sampel. Jika energi dari foton, $h\nu$, lebih besar daripada energi ikat elektron (E_b), kelebihan energi diubah menjadi energi kinetik dari fotoelektron yang dipancarkan (E_k).

Hubungan antara energi foton yang masuk ($h\nu$), fungsi kerja dari spektrometer (ϕ) dan pengukuran energi kinetik melalui sebuah analisa elektron memungkinkan untuk menghitung energi ikat E_b dengan persamaan Einstein^[31] :

$$E_b = h\nu - E_k - \phi. \quad \dots\dots(3.5)$$

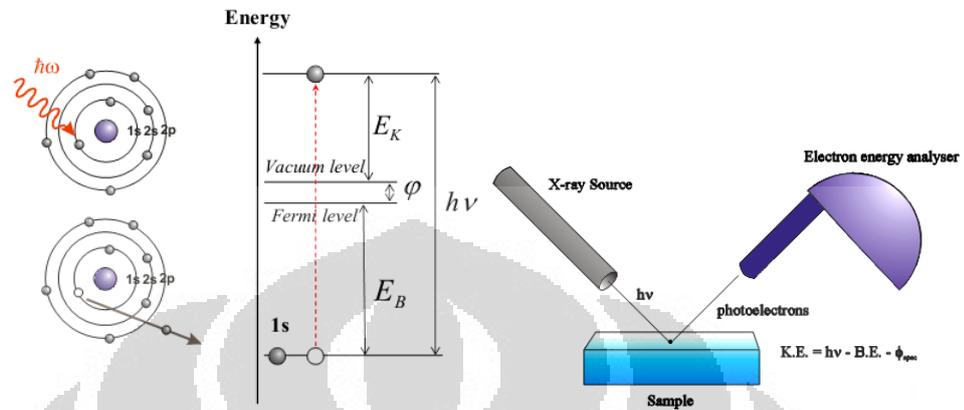
Dimana : E_k = Energi kinetik (terukur pada spektrometer XPS)

$h\nu$ = energy foton dari sumber sinar X (*X-ray source*)

ϕ = fungsi kerja spectrometer.

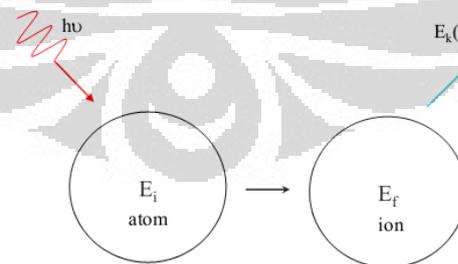
E_b = energi ikat dari sampel

Fungsi kerja adalah jumlah minimum energi elektron individu perlu untuk melarikan diri dari permukaan. Setiap elemen mempunyai seperangkat unik elektron dengan spesifik energi tertentu.



Gambar 3.10. Radiasi X-ray photoelectron [31]

Sebelum emisi dari fotoelektron, total energi dari sistem adalah energi foton sinar-X $h\nu$ ditambah energi dari atom target dalam keadaan awal E_i . Setelah emisi dari fotoelektron, total energi sistem adalah energi kinetik dari fotoelektron E_k ditambah atom yang terionisasi dalam keadaan akhir E_f . Menyamakan energi total sebelum dan setelah photoemission, dan dibandingkan dengan persamaan Einstein dapat dilihat bahwa energi ikat E_b dari elektron (orbital) adalah perbedaan energi antara keadaan akhir dan keadaan awal dari atom target $E_f - E_i$ [32].



$$h\nu + E_i = E_k(e^-) + E_f \quad \dots\dots(3.6)$$

$$h\nu - E_k(e^-) = E_f - E_i = E_b \quad \dots\dots(3.7)$$

Perbedaan antara keadaan awal dan akhir dari sebuah atom ketika elektron inti di eksitasi dengan x-ray adalah dasar dari teknik analisis XPS.

Variasi energi pada keadaan awal dan akhir terjadi karena sebuah atom tereksitasi oleh elektron yang ditembakkan dan elektron dari unsur akan keluar dengan karakteristik energi kinetik dari keadaan kimia elemen tersebut. Dalam hal spektrum XPS, peningkatan energi kinetik yang berhubungan dengan eksitasi elektron tingkat inti muncul sebagai pencapaian puncak dan bukan puncak tunggal.

Untuk setiap elemen, akan ada karakteristik energi ikat yang terkait dengan setiap inti orbital atom artinya setiap unsur akan menimbulkan satu set karakteristik puncak dalam spektrum fotoelektron pada energi kinetik ditentukan oleh energi foton dan energi ikat masing-masing. Puncak karakteristik tersebut sesuai dengan konfigurasi elektron dari elektron dalam atom, misalnya, 1s, 2s, 2p, 3s, dll. Elektron inti lokal yang dekat dengan nukleus memiliki karakteristik energi ikat dari elemen tertentu. Energi ikat ditentukan oleh daya tarik elektron terhadap inti.

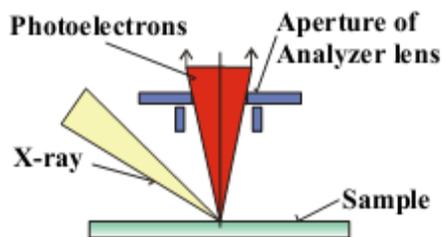
Di bawah ini terlampir referensi energi ikat untuk kulit (*shell*) dan spin-orbit setiap puncak yang dihasilkan oleh unsur Zn.

Tabel 4.1. Energi ikat atom Zn [33]

Orbital	eV [literature reference]
1s	9659 [1]
2s	1196.2 [2]
2p_{1/2}	1044.9 [2]
2p_{3/2}	1021.8 [2]
3s	139.8 [2]
3p_{1/2}	91.4 [2]
3p_{3/2}	88.6 [2]
3d_{3/2}	10.2 [2]
3d_{5/2}	10.1 [2]

Densitas muatan permukaan film tipis Zn* eksperimen ditentukan dengan XPS di lokasi yang berbeda 9 titik di permukaan. Pengujian XPS

pada lokasi yang berbeda dilakukan dimana sinar X-ray ditembakkan pada posisi yang akan kita periksa.



Gambar 3.11. Pengukuran titik (spot size) pada sample oleh sinar X ^[31]

Pengujian XPS ini dilakukan pada titik-titik lokasi yang berbeda dengan tingkat energi tertentu untuk masing-masing orbitalnya.

Table 3.1. Rentang energi pengujian XPS

Unsur	Orbital	Start eV	End eV
O	1s	542	522
C	1s	300	260
	2p	1065	960
Zn	2s	1206	1180
	3s	170	130
	3p	130	60
	3d	60	0

Data yang dihasilkan dari analisis XPS terkadang terjadi pergeseran puncak karena muatan induksi permukaan positif atau negatif. Pergeseran muatan induksi dari energi ikat eksperimen diukur dari puncak XPS dengan energi ikat yang lebih besar atau lebih kecil dari energi ikat unsur murni. Umumnya digunakan unsur karbon dan oksigen untuk koreksi data dengan mencocokkan data peak pada percobaan. Untuk itulah pada metodologi penelitian tahapan pengujian XPS ini memeriksa kehadiran unsur karbon C (1s) dan oksigen O (1s) terlebih dahulu.

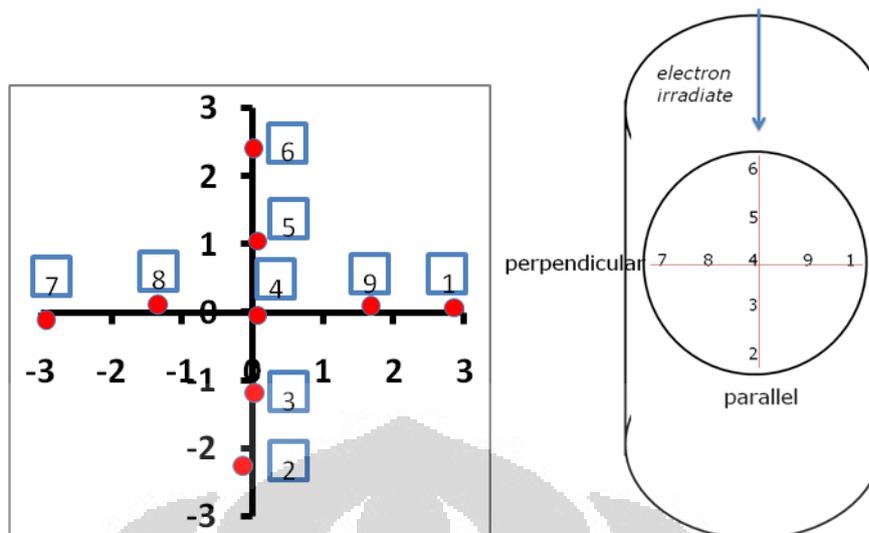
Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber energi sinar-X Mg ($K\alpha = 1253.6$ eV) dengan dua kali *scanning*. Sinar-X non-monokromatik magnesium memiliki panjang gelombang 9,89 angstrom (0,989 nm) dengan energi foton 1253 eV. Lebar energi dari sinar-X non-monokromatik sebesar 0,70 eV, yang merupakan resolusi energi akhir dari sistem yang menggunakan sinar-X non-monokromatik.

Sampel diletakkan pada meja sampel kemudian di tempatkan ke titik-titik yang akan diuji untuk mencari posisi dengan mengatur jari-jari meja sampel uji (r) dan sudutnya (θ).

Table 3.1. Posisi titik-titik pada sampel terhadap sudut

Posisi	r	θ	$x=r\cos\theta$	$y=r\sin\theta$	$x=x-36.73$	$y=y+0.35$
2	36.7	355.9	36.60606	-2.62415	-0.12394	-2.27415
3	36.8	357.6	36.76771	-1.54122	0.037712	-1.19122
4	36.8	359.4	36.79798	-0.38556	0.06798	-0.03556
5	36.8	1.1	36.79322	0.706465	0.063218	1.056465
6	36.8	3.2	36.74262	2.05423	0.01262	2.40423
7	39.6	359.6	39.59903	-0.27667	2.869034	0.073332
8	38.4	359.6	38.39906	-0.26828	1.669063	0.081716
9	35.4	359.6	35.39914	-0.24732	-1.33086	0.102676
1	33.8	359.2	33.7967	-0.4721	-2.9333	-0.1221

Titik-titik sampel yang digunakan berjumlah 9 titik dengan arah yang berbeda (sejajar dan tegak lurus) pada arah sinar elektron pada proses charging. Sehingga masing-masing titik tersebut mewakili posisi yang berbeda.



Gambar 3.11. Posisi analisa densitas muatan pada sampel

Pengukuran dan kuantifikasi kerapatan muatan permukaan dapat membantu pemahaman yang lebih baik dari interaksi molekul pada permukaan. Dengan pengujian XPS yang dilakukan pada sampel diharapkan dapat menjelaskan hubungan antara perbedaan densitas atau kerapatan muatan dengan energi ikat dari hasil uji XPS.

Pengujian XPS memberikan data mentah berupa berkas digital dengan format **des* dan kemudian diubah ke format *excel* (.xls). Kemudian data diolah dengan menggunakan *software* *origin* untuk mengetahui hasil percobaan dan pengolahan data sehingga didapat hubungan antara energi ikat pada titik-titik lokasi substrat dalam bentuk grafik.

Spektrum XPS diukur dalam hal intensitas peak dan posisi peak. Intensitas peak mengukur berapa banyak material berada pada permukaan, sedangkan posisi peak menunjukkan komposisi unsur dan kimia. Informasi ini dapat digunakan untuk mengetahui hubungan intensitas dan energi ikat dari titik-titik lokasi yang berbeda pada permukaan lapisan film.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

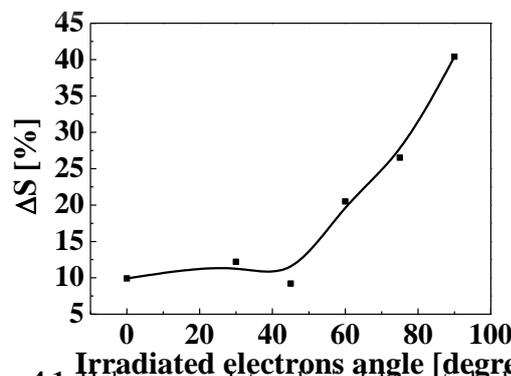
Dalam bab ini akan dibahas hasil-hasil yang diperoleh selama pelaksanaan penelitian, yang meliputi proses pembuatan lapisan *film Zn excimer* dan karakterisasinya terkait dengan pengaruh distribusi densitas muatan dan energi ikat pada lapisan *film* tersebut.

4.1. Proses Pembuatan Lapisan Film Zn Excimer

Prosedur dalam pembuatan lapisan film Zn* dengan metode *electron-assisited PVD* dalam kondisi vakum. Sistem vakum terdiri dari peralatan pompa molekul turbo, di mana variabel tekanan Argon sebesar 5.0×10^{-7} Torr, tegangan 230V, temperatur *effusion cell* 600°C, temperatur substrat 30°C, massa Zn 0,1 gram, dan waktu deposisi 1000 detik. Energi elektron 230 eV digunakan untuk mengeksitasi elektron Zn pada orbital 3p dan 3s.

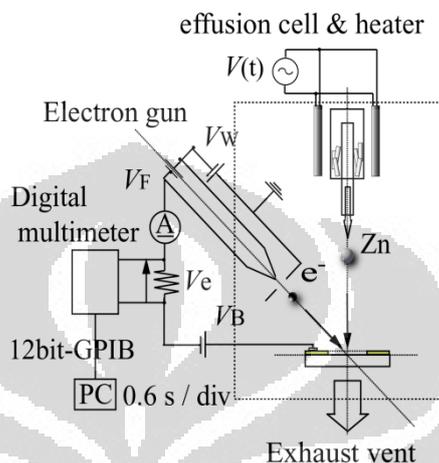
Tahapan pertama yang dilakukan adalah menembakkan elektron pada substrat sampai elektron pada permukaan substrat menjadi stabil. Kondisi *electrification* ini di monitori melalui arus elektron yang dideteksi dengan potensial drop (V_e). Elektron yang ditembakkan ke substrat akan stabil setelah 10 jam diradiasi dengan arus sekitar 0.1 μ A- 1 μ A.

Elektron ditembakkan atau diradiasi dari *electron gun* menuju substrat dengan arah 45°. Hal ini dikarenakan pada sudut tersebut, jarak ΔS antara pembentukan ionisasi Zn⁺ dan ion Zn⁻ pada substrat pada posisi yang terdekat.



Gambar 4.1. Hubungan sudut iradiasi elektron terhadap ΔS [22]

Setelah itu disiapkan Zinc dalam bentuk kawat seberat 0.1 gram ke dalam *effusion cell*. Kemudian *heater* dinyalakan sehingga temperatur *effusion cell* meningkat. Temperatur maksimum yang digunakan sebesar 600°C. Dengan temperatur tersebut, Zinc akan terpercik (evaporasi) menjadi atom-atom Zn dalam fasa gas.



Gambar 4.2. Sistem proses pembuatan lapisan film Zn excimer ^[16]

Kemudian atom-atom Zinc tersebut terionisasi dan kemudian bertumbukan dengan elektron yang ada pada permukaan substrat membentuk ion-ion Zn^- pada fasa permukaan substrat. Selanjutnya ion-ion Zn^- pada permukaan substrat ini akan berikatan dengan ion-ion Zn^+ yang terionisasi pada fasa gas. Reaksi ini disebut dengan reaksi kombinasi ion dan menghasilkan Zn_2 excimer dengan ikatan yang lebih kuat dari Zn biasa karena adanya gaya paramagnetik pada keadaan kuantum dan memiliki energi dari eksitasi.

Zinc excimer dalam keadaan yang tereksitasi ini memiliki umur atau jangka waktu yang sangat panjang karena dipengaruhi oleh spin elektron dan distorsi atom dengan eksitasi. Sehingga terbentuklah lapisan film tipis Zn excimers dengan karakteristik unik. Pembuatan lapisan film Zn excimer pada eksperimen ini menghasilkan lapisan film dengan ketebalan 0,3 μm dengan penampakan material pada gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.3. Lapisan film tipis Zn excimer pada temperature substrat 30°C

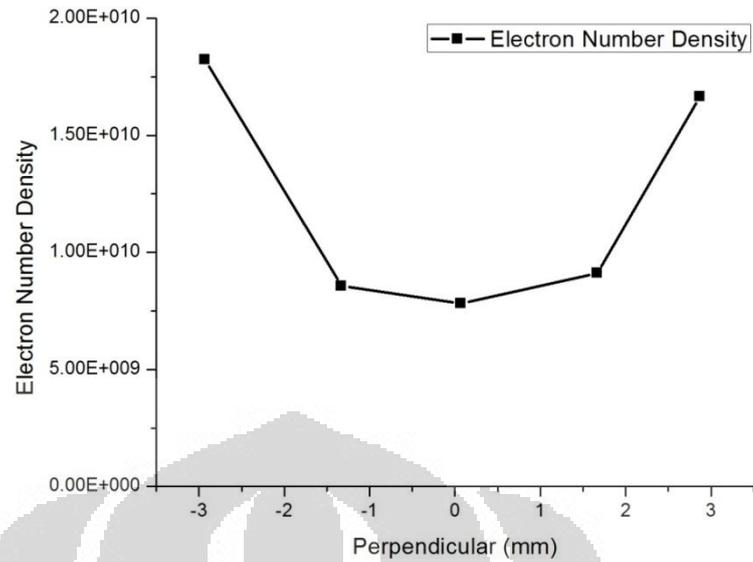
4.2. Analisis Hubungan Lokasi Sampel Terhadap Densitas Muatan

Secara terotitis, densitas muatan dari 9 lokasi pengujian dapat dihitung dengan persamaan (2.14). Hasil perhitungan tersebut tersaji pada tabel di bawah ini :

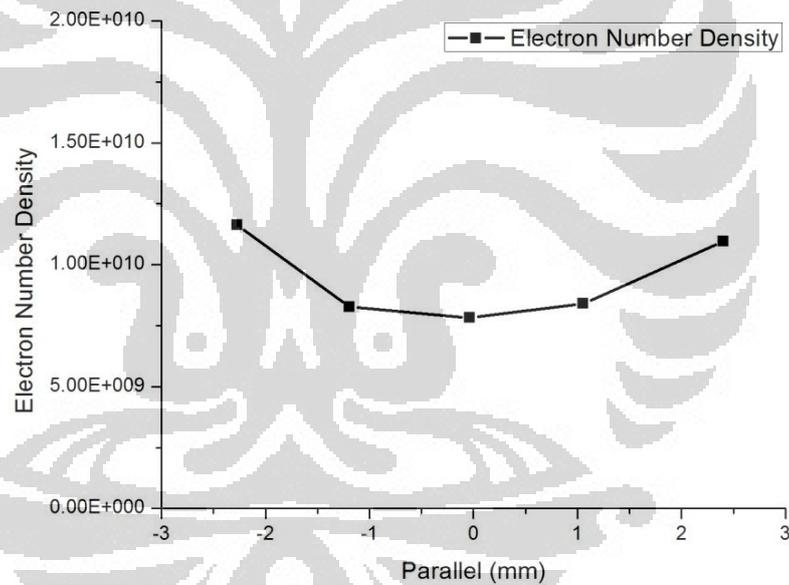
Tabel 4.1. Nilai densitas elektron pada masing-masing posisi substrat

Posisi	r	r^2	(R^2-r^2)	$(R^2-r^2)^{1/2}$	$e * (R^2-r^2)^{1/2}$	$\sigma(r)$
2	2.278	5.187	5.375	2.318	3.714×10^{-19}	1.096×10^{10}
3	1.192	1.420	9.142	3.024	4.843×10^{-19}	8.408×10^9
4	0.077	0.006	10.557	3.249	5.205×10^{-19}	7.824×10^9
5	1.058	1.120	9.442	3.073	4.922×10^{-19}	8.273×10^{10}
6	2.404	5.780	4.782	2.187	3.503×10^{-19}	1.162×10^{10}
7	2.870	8.237	2.326	1.525	2.443×10^{-19}	1.667×10^{10}
8	1.671	2.792	7.770	2.787	4.465×10^{-19}	9.120×10^9
9	1.335	1.782	8.781	2.963	4.747×10^{-19}	8.579×10^9
1	2.936	8.619	1.943	1.394	2.233×10^{-19}	1.823×10^{10}

Dengan membagi lokasi sampel pada arah sejajar dan tegak lurus terhadap *charging* dapat dibuat grafik hubungan antara densitas muatan dan lokasi sampel yang ditunjukkan pada grafik di bawah ini.

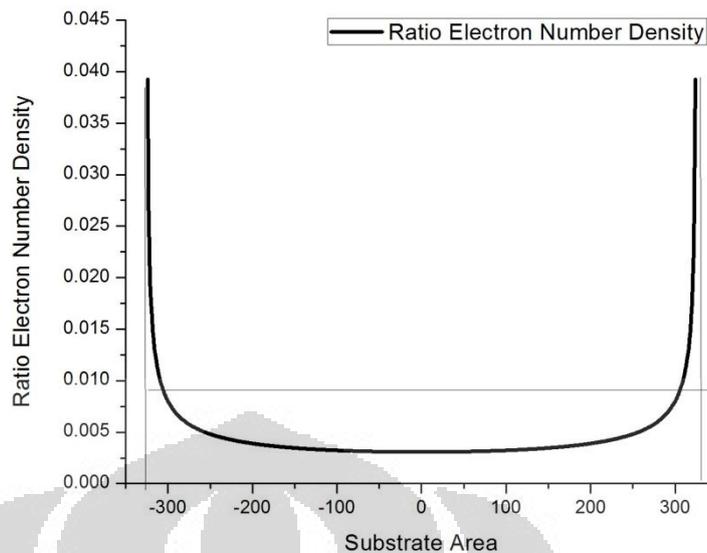


Gambar 4.4. Hubungan densitas muatan pada arah tegak lurus (eksperimen)



Gambar 4.5. Hubungan densitas muatan pada arah sejajar (eksperimen)

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa lokasi dengan jarak yang semakin jauh dari titik pusat substrat akan memiliki densitas elektron yang semakin besar. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin besar jari-jari dari titik pusat, densitas elektron akan semakin besar. Dari hubungan grafik tersebut tergambar grafik fungsi kuadrat dengan fungsi parabola cembung.



Gambar 4.6. Hubungan densitas muatan terhadap posisi atau jarak dari pusat pada area permukaan substrat secara teoritis

Untuk selanjutnya hubungan grafik ini akan menjadi acuan atau perbandingan terhadap hasil analisa data pada penelitian dan mengkaitkannya terhadap perubahan mikrokristal Zn excimer.

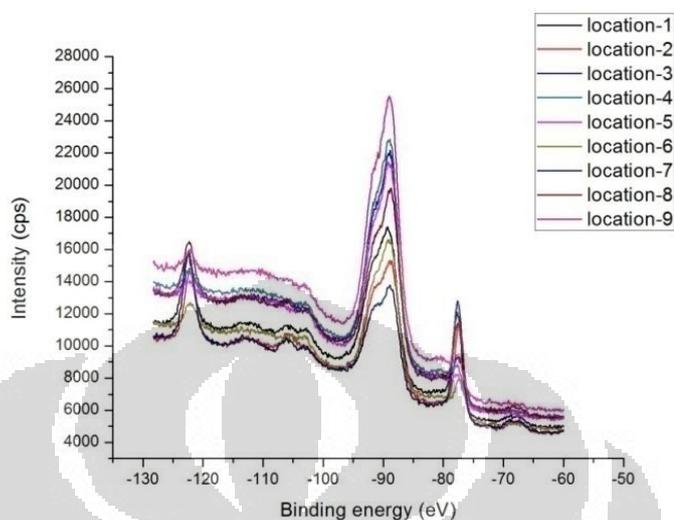
4.3. Karakterisasi mikro kristal pada lapisan Zn excimer

Karakterisasi mikro kristal pada lapisan Zn excimer ini menggunakan pengujian XPS dimana untuk mengetahui atau memastikan modifikasi material yang dilakukan dengan eksitasi (Zn excimer) dari energi ikat lapisan film yang di analisa pada masing-masing titik-titik lokasi yang berbeda. Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini dengan alat XPS (Shimadzu ESCA-1000 electron spectrometer) dimana sampel dapat langsung di uji dengan XPS pada 10 titik yang berbeda. Pengujian XPS dilakukan di Departemen Elektrik dan Elektronik Universitas Kagoshima (Jepang).

4.3.1. Analisis Data Hasil Pengujian *X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)*

Data XPS pada masing-masing orbital yang didapat pada setiap lokasi terlampir pada lampiran 1. Pada data tersebut, adanya perbedaan intensitas pada setiap posisi atau lokasi sehingga sulit sekali untuk membandingkannya

secara langsung. Sebagai contoh, grafik pada gambar 4.3 yang menggambarkan orbital 3p seperti di bawah ini.

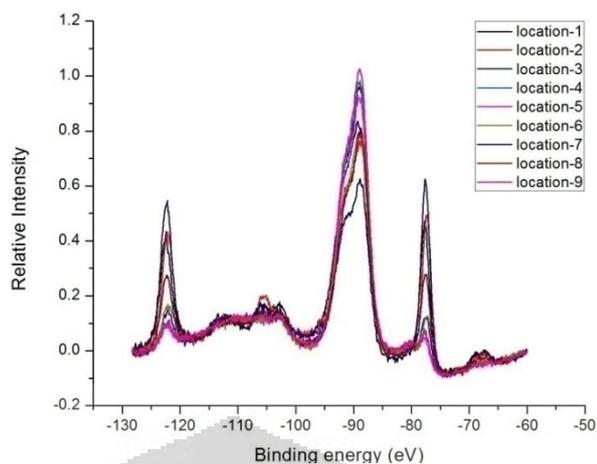


Gambar 4.7. Grafik awal hasil pengujian XPS pada orbital 3p

Sebuah perbandingan langsung dari luas puncak bukanlah analisis yang tepat^[34]. Sebuah spektrum XPS merupakan kombinasi jumlah elektron yang meninggalkan permukaan sampel dan kemampuan instrumentasi untuk merekam elektron tersebut. Tidak semua elektron yang dipancarkan dari sampel akan dicatat oleh instrumen. Karena efisiensi elektron yang dipancarkan pada data spektrum tergantung pada energi kinetik dari elektron, yang tergantung pada mode operasi dari instrumen.

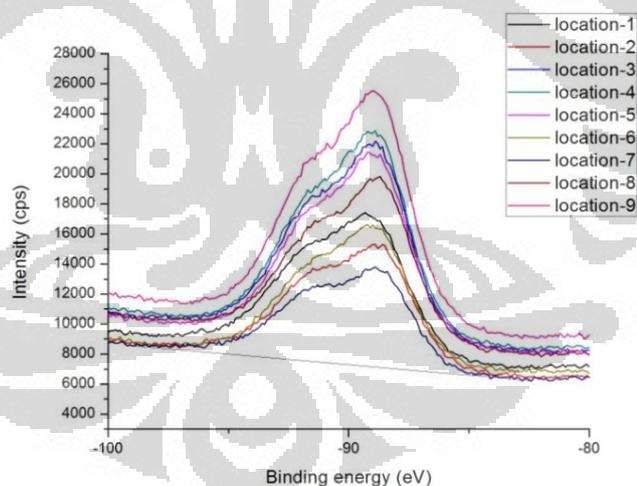
Cara terbaik untuk membandingkan intensitas XPS adalah melalui persentase atom konsentrasi yang merupakan representasi dari intensitas sebagai persentase rasio intensitas dengan intensitas total elektron dalam pengukuran. Intensitas puncak akan berubah dalam arti mutlak akan tetapi dengan perbedaan atau perbandingan yang sederajat dan akan tetap konstan secara relatif.

Untuk itu, diperlukan ‘modifikasi’ data dengan menyamakan sumbu x pada grafik dengan ‘memotong’ wilayah sumbu y. Metode ini dinamakan dengan normalisasi area.



Gambar 4.8. Normalisasi area grafik hasil pengujian XPS pada orbital 3p

Cara sederhana untuk mengetahui indikasi perubahan yang terjadi pada material modifikasi Zn excimer pada lokasi yang berbeda yaitu dengan menggunakan metode perbandingan Zn normal. Analisa peak XPS dengan rentang energi Zn normal sebagai pembandingan ditandai dengan intensitas peak yang paling pada grafik.



Gambar 4.9. Grafik pada orbital 3p dengan spektrum tertinggi

Normalisasi area pada rentang sumbu x dengan spectrum yang paling tinggi dimana kita akan menyamakan sisi kiri dan kanan dari nilai sumbu y dengan terlebih dahulu kita menyamakan salah satu sisi dengan perbandingan pada nilai intensitas (sumbu y) pada awal spectrum. Misal pada rentang sumbu x dengan nilai -98 eV sampai -82 eV. Nilai Intensitas (sumbu y) kita bagi

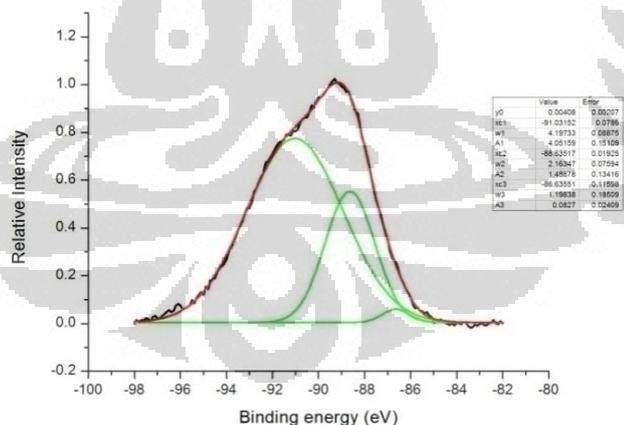
pada nilai pertama dari ‘sisi kiri’ sehingga nilai tersebut sama dengan 1. Ini merupakan perbandingan intensitas.

Selanjutnya kita menyamakan ‘sisi kanan’ dengan persamaan sebagai berikut :

$$I - \left(\frac{\Delta I}{\Delta eV} \right) \times eV + I_{akhir} + \left(\frac{\Delta I}{\Delta eV} \right) \times eV_{akhir} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana I adalah intensitas, ΔI adalah selisih dari Intensitas awal dan akhir, eV adalah energi ikat, ΔeV adalah selisih energi ikat, I_{akhir} adalah intensitas akhir, dan eV_{akhir} adalah energi ikat pada akhir grafik (rentang akhir dari sumbu x). Sehingga didapat grafik normalisasi area (lampiran2).

Peak yang dihasilkan dari XPS bukan merupakan peak tunggal sehingga diperlukan metode untuk melihat adanya kemungkinan multi peak pada setiap peaknya. Dengan teknik dekonvolusi, yaitu proses yang berbasis algoritma yang digunakan untuk membalikkan efek konvolusi pada data [35], kita dapat melihat peak yang tersembunyi. Salah satu metodenya adalah metode Gauss yang digunakan untuk menganalisa data yang didapat.



Gambar 4.10. Grafik hasil analisa metode Gauss pada lokasi 1 orbital 3p

Analisa ini dilakukan untuk setiap lokasi (9 lokasi) pada masing-masing orbital dengan menggunakan *software origin*. Pada *software* ini disediakan menu untuk analisa grafik metode gauss pada menu *fit-multi peaks*.

Hasil dari analisa grafik ini menghasilkan penampakan jumlah peak (lampiran 3).

Selanjutnya, dari hasil analisa dengan metode Gauss ini kita mendapatkan keterangan nilai sumbu x (energi ikat) dan luas area (Intensitas) dari masing-masing *peak*. Nilai energi ikat pada puncak peak disimbolkan dengan x_c (x_{c1} , x_{c2} , x_{c3} , dst) dan nilai intensitas peak disimbolkan dengan A (A_1 , A_2 , A_3 , dst) yang berarti area peak. Data tersebut kemudian disusun dan diolah berdasarkan urutan titik-titik lokasi pada sampel untuk mencari tahu hubungan antara titik-titik lokasi sampel dengan energi ikat dan intensitasnya.

4.3.2. Koreksi Pergeseran Data Energi Ikat Pengujian

Sebelum memulai proses identifikasi *peak*, harus dipastikan apakah data spektrum energi ikat yang didapat telah atau belum bergeser karena muatan induksi permukaan positif atau negatif. Referensi muatan dibutuhkan untuk memeriksa pergeseran muatan induksi dari energi ikat (BE) pengujian. Pergeseran peak untuk koreksi nilai BE tersebut dinamakan dengan "faktor koreksi muatan". Referensi muatan dilakukan dengan menambah atau mengurangi sebuah "faktor koreksi muatan" untuk masing-masing dari BE eksperimen.

Muatan yang menyebabkan pergeseran peak disebabkan karena elektron menempel pada permukaan menyebabkan kelebihan tegangan rendah (-1 sampai -20 eV), atau kekurangan elektron rendah (+1 - +15 eV) dalam 1-12 nm dari permukaan sampel karena hilangnya elektron fotoemisi. Banyaknya muatan tergantung pada berbagai faktor. Jika, secara kebetulan, muatan permukaan adalah terlalu positif, maka spektrum yang mungkin muncul akan seperti rangkaian bukit-bukit, bukan puncak tajam dalam spektrumnya.

Untuk referensi muatan digunakan unsur karbon dan oksigen untuk memeriksa pergeseran peak yang terjadi. Nilai energi ikat yang menjadi

acuan untuk kehadiran unsur karbon dan oksigen ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.2. Energi ikat atom Carbon ^[36]

Orbital	eV [literature reference]
<u>1s</u>	284.8 eV

Tabel 4.3. Energi ikat atom Oksigen ^[37]

Orbital	eV [literature reference]
<u>1s</u>	531.2 eV
<u>2s</u>	41.6 eV

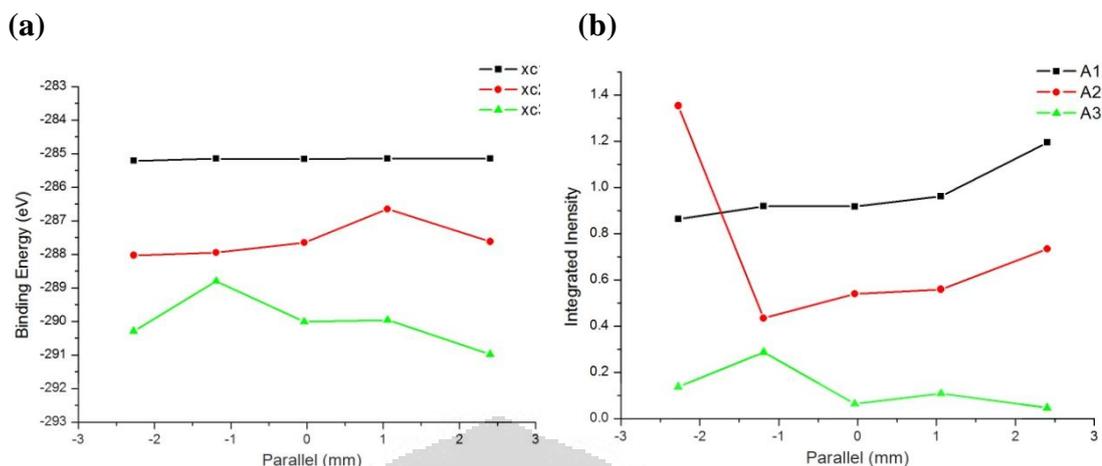
Peak energi ikat (BE) hidrokarbon dari C(1s) digunakan sebagai referensi muatan (koreksi muatan) untuk semua BE yang diperoleh dari sampel non-konduktif (isolasi) atau dari sampel konduktor yang telah sengaja diisolasi. Energi ikat C(1s) pada gugus hidrokarbon dari karbon "Adventif" akan muncul pada semua udara terbuka, material konduktif dan semi-konduktif. Biasanya ditemukan antara 284,5 eV dan 285,5 eV. Pada beberapa literatur biasanya sering menggunakan nilai 284,8 eV sebagai acuan energi ikat karbon C(1s) ^[38]. Ketika nilai BE atom C(1s) digunakan sebagai referensi muatan, maka faktor koreksi muatan adalah perbedaan antara 284,8 eV dan BE dari gugus hidrokarbon C(1s) pada data pengujian yang diukur ^[39].

4.3.3. Analisis Hubungan Lokasi Sampel dengan Energi Ikat dan Intensitas

Setiap material memiliki karakteristik energi ikat tertentu pada setiap orbitalnya. Akan tetapi untuk setiap sistem pengujian XPS yang berbeda akan mempunyai nilai energi ikat yang berbeda pula (ada selisih). Sehingga untuk membandingkannya secara langsung dengan literatur atau referensi akan menjadi relatif kurang presisi. Kehadiran *peak* energi tertentu menunjukkan adanya elemen tertentu dalam sampel yang diteliti dan intensitas puncak berhubungan dengan konsentrasi elemen dalam wilayah sampel.

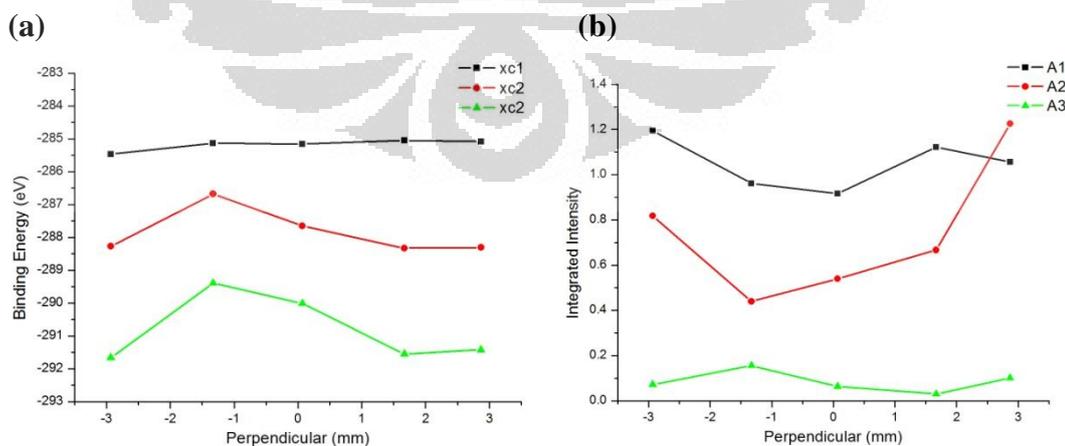
4.3.3.1. Unsur Karbon

Pengecekan dengan unsur karbon dan oksigen sangat penting untuk memeriksa kemungkinan pergeseran peak yang terjadi. Hubungan energi ikat pada lokasi arah sejajar dan tegak lurus substrat diberikan pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.11. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada unsur karbon terhadap posisi sejajar (*parallel*)

Simbol xc1, xc2, dan xc3 merupakan energi ikat peak, sedangkan simbol A1, A2, A3 merupakan nilai area intensitas masing-masing peak. Pada gambar 4.11. (a) di atas dapat dilihat energi ikat untuk unsur karbon menunjukkan garis lurus horizontal di energi ikat sebesar -285.1 eV. Berdasarkan literatur, energi ikat karbon berkisar antara -284,5 eV sampai -285,5 eV^[38]. Umumnya dipakai nilai -284.8 eV sebagai acuan nilai. Perbedaan nilai tersebut dikarenakan karena perbedaan instrument alat yang digunakan. Dalam hal ini, tidak terjadi perubahan energi ikat pada karbon karena tidak adanya perubahan pada titik-titik lokasi tersebut dan dengan asumsi nilai energi ikat -285.1 eV sebagai acuan data.



Gambar 4.12. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada unsur karbon terhadap posisi tegak lurus (*perpendicular*)

Pada gambar 4.12. (a) energi ikat untuk unsur karbon menunjukkan garis lurus horizontal di energi ikat sebesar -285.1 eV. Hal ini sesuai dengan data pada arah sejajar yang menunjukkan nilai energi ikat yang sama. Dengan demikian, tidak ada pergeseran peak pada data penelitian ini.

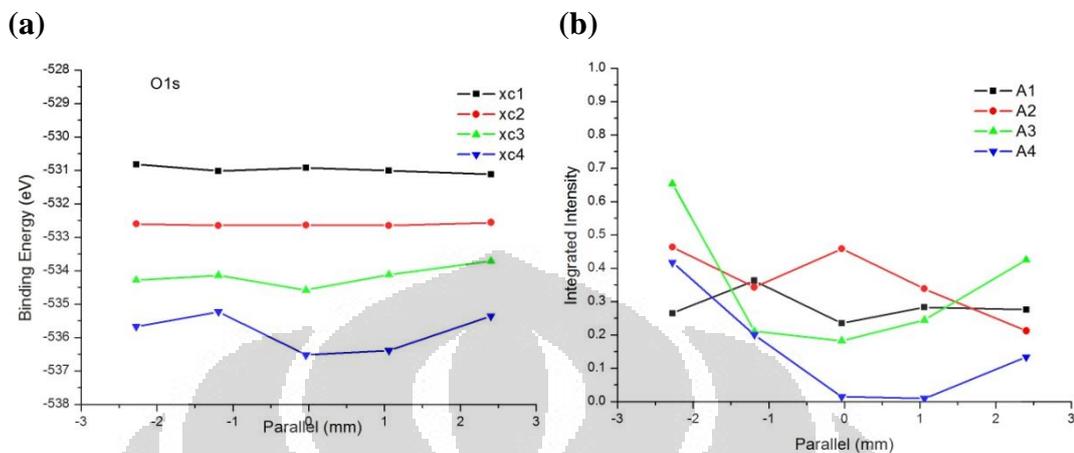
Intensitas pada daerah pinggir substrat cenderung mengalami kenaikan, ditandai pada garis merah dan hitam. Garis merah dan hijau, yang menunjukkan unsur pengikat dari atom karbon. Atom karbon terikat pada satu atom oksigen elektronegatif, memberikan puncak bergeser ke energi ikat yang lebih tinggi. Atom oksigen menarik beberapa kerapatan elektron pada atom karbon, mengurangi perisai dari muatan inti dan meningkatkan energi ikat elektron yang mengorbit di sekitarnya.

Pada posisi sejajar (gambar 4.11.) garis merah dan hijau menunjukkan perubahan bentuk garis yang terbalik dimana terjadi penurunan energi ikat pada posisi yang berlawanan. Sedangkan pada posisi tegak lurus (gambar 4.12.) garis merah dan hijau mengalami penurunan nilai energi ikat pada posisi yang sama. Terjadinya penurunan energi ikat tersebut dapat dilihat dari garis yang berbentuk agak cembung pada kedua grafik diatas. Intensitas pada daerah pinggir substrat cenderung mengalami kenaikan, ditandai pada garis merah dan hitam.

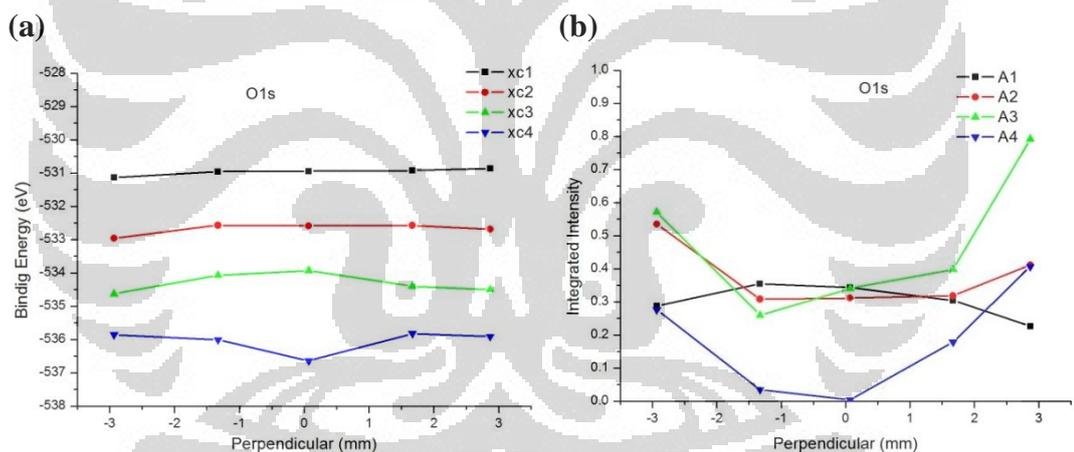
4.3.3.2. Unsur Oksigen

Simbol xc1, xc2, dan xc3 merupakan energi ikat peak, sedangkan simbol A1, A2, A3 merupakan nilai area intensitas masing-masing peak. Pada gambar 4.13. unsur oksigen tidak ada perubahan energi ikat pada setiap jarak yang berbeda dimana menunjukkan garis lurus di energi ikat -531 eV. Pada gambar 4.14.(a). unsur oksigen juga tidak ada perubahan energi ikat dengan menunjukkan garis lurus di energi ikat -531 eV. Grafik

tersebut menunjukkan kemiripan dengan grafik unsur karbon dan memperkuat tidak adanya pergeseran peak.



Gambar 4.13. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada unsur oksigen terhadap posisi sejajar (paralel)

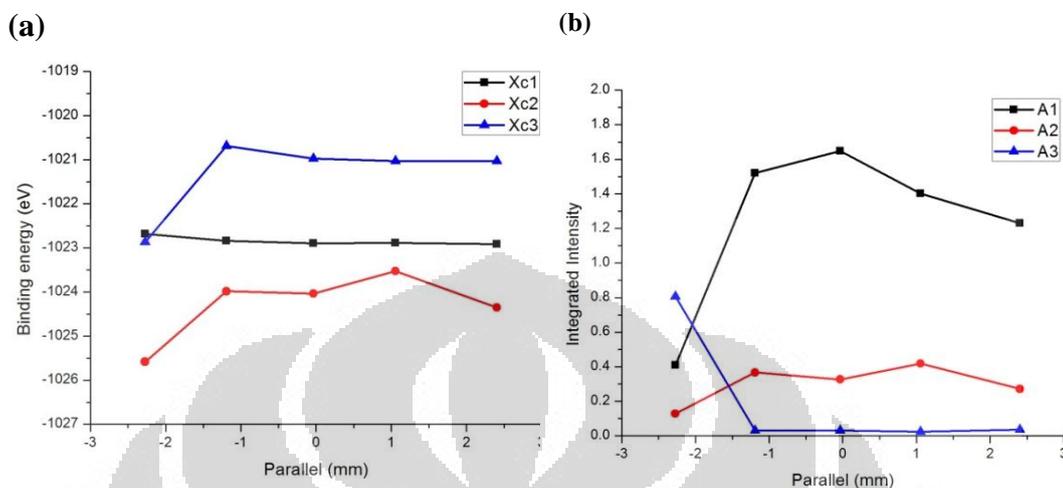


Gambar 4.14. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada unsur oksigen terhadap posisi tegak lurus (perpendicular)

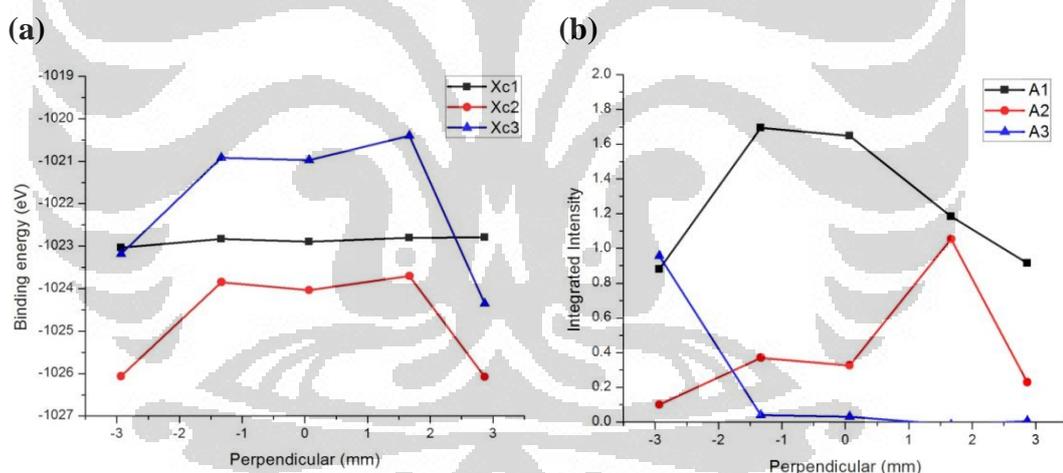
4.3.3.3. Orbital 2p

Pada gambar 4.15.(a). dapat dilihat perubahan energi ikat yang ditunjukkan pada bentuk grafik cembung. Pada grafik 4.16.(a) juga menunjukkan perubahan grafik yang sama. Dari grafik tersebut terlihat bahwa perubahan grafik cenderung berbentuk cembung pada garis merah dan biru. Energi ikat pada tepi substrat memiliki energi ikat yang lebih

rendah dibanding pada daerah tengah substrat. Sedangkan pada garis hitam cenderung horizontal atau konstan pada posisi yang berbeda.



Gambar 4.15. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 2p terhadap posisi sejajar (parallel)

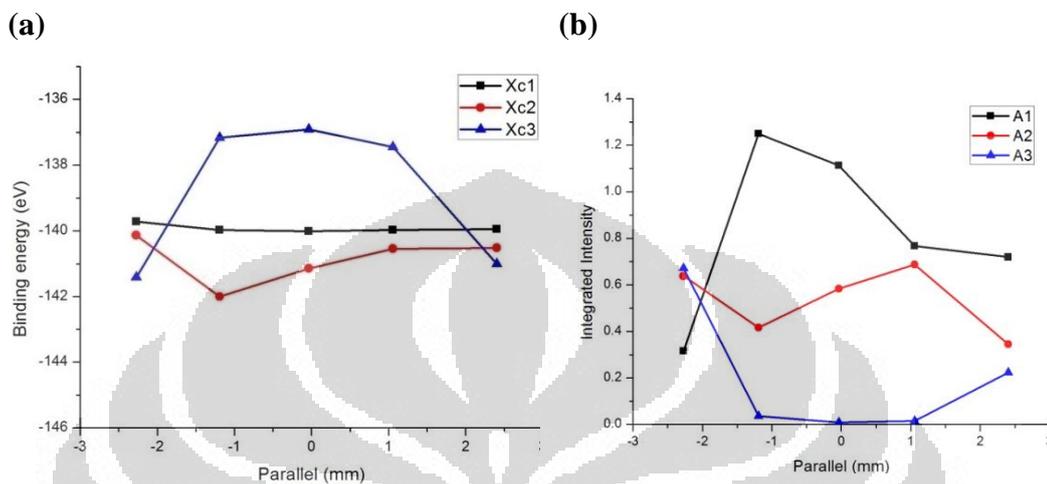


Gambar 4.16. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 2p terhadap posisi tegak lurus (perpendicular)

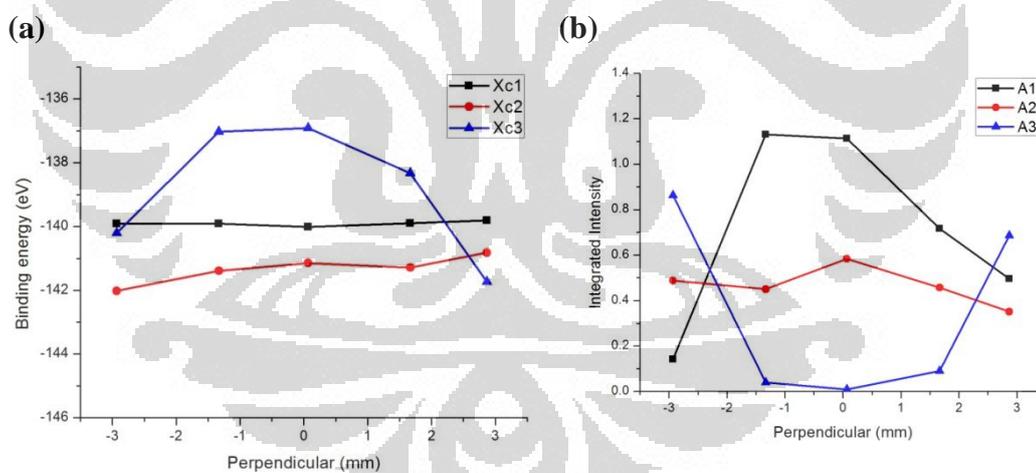
Pada grafik 4.15.(b) dan 4.16. (b), intensitas pada grafik ini umumnya memiliki intensitas yang lebih rendah pada posisi tepi substrat dibanding pada tengah substrat yang ditandai pada garis hitam. Pada garis merah perubahan intensitasnya menyerupai perubahan energi ikatnya yang cenderung menurun pada daerah tepi substrat. Sedangkan pada garis biru

intensitasnya cenderung berlawanan dengan perubahan energi ikatnya dengan kenaikan intensitas pada daerah tepi.

4.3.3.4. Orbital 3s



Gambar 4.17. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 3s terhadap posisi sejajar (paralel)

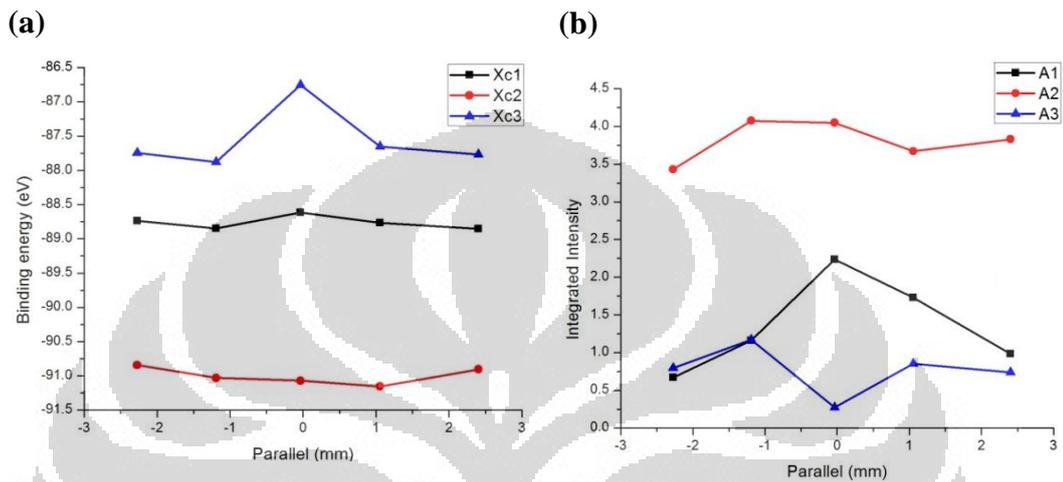


Gambar 4.18. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 3s terhadap posisi tegak lurus (perpendicular)

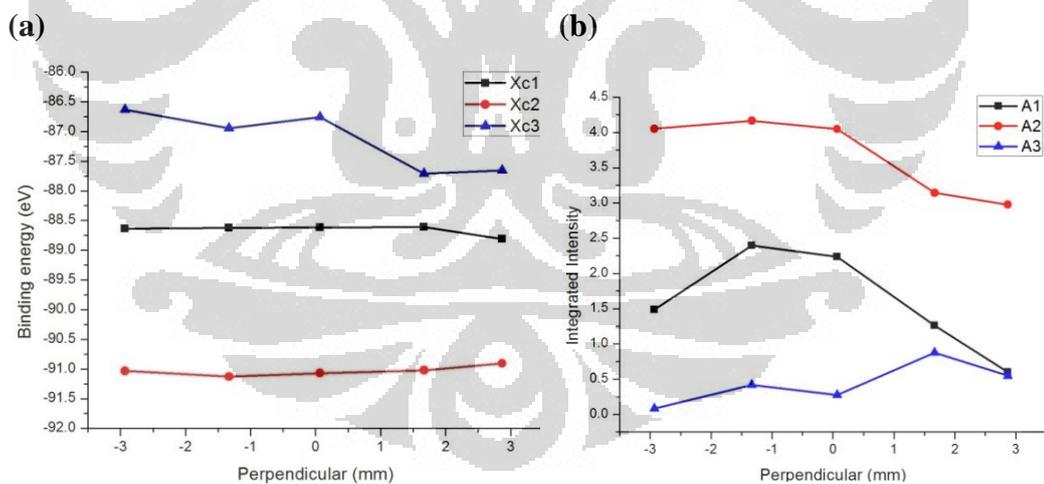
Pada gambar 4.17 dan gambar 4.18 garis hitam cenderung berbentuk garis horizontal di energi ikat -140 eV. Sedangkan intensitasnya cenderung mengalami penurunan pada daerah tepi substrat. Pada garis biru cenderung mengalami penurunan energi ikat pada kedua tepi substrat sedangkan intensitasnya mengalami kenaikan pada daerah tepi. Pada garis

merah perubahan energi ikat sedikit terjadi dan intensitasnya menyerupai perubahan energi ikatnya dengan perubahan yang sebaliknya.

4.3.3.5. Orbital 3p



Gambar 4.19. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 3p terhadap posisi sejajar (parallel)



Gambar 4.20. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 3p terhadap posisi tegak lurus (perpendicular)

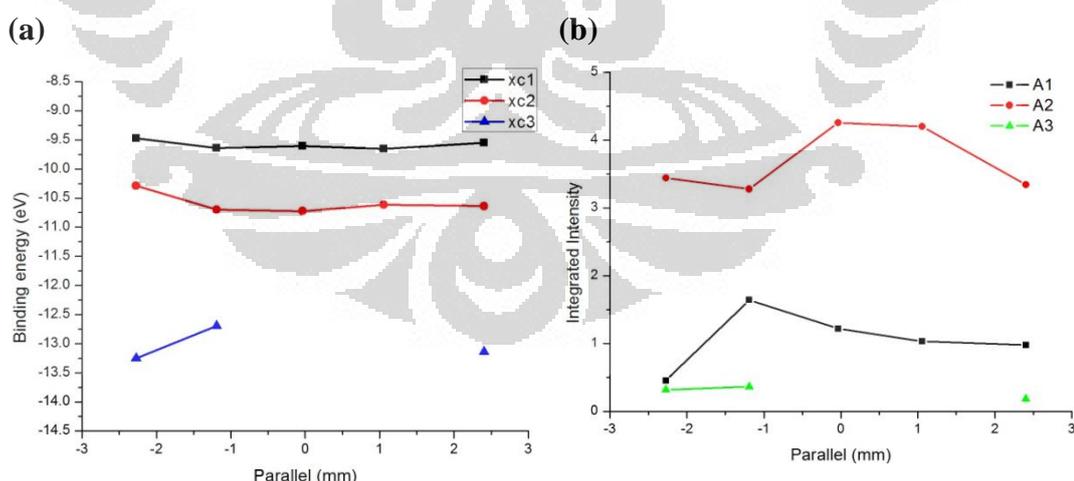
Pada gambar 4.19 dan 4.20 perubahan energi ikat pada garis hitam menunjukkan garis horizontal dengan intensitas yang mengalami penurunan pada daerah tepi substrat. Pada garis merah menunjukkan energi ikat yang

cenderung konstan dengan sedikit penurunan pada daerah tepi, sedangkan intensitasnya juga sedikit mengalami penurunan pada daerah tepi. Pada garis biru energi ikatnya mengalami penurunan pada daerah tepi, sedangkan intensitasnya mengalami perubahan yang berlawanan.

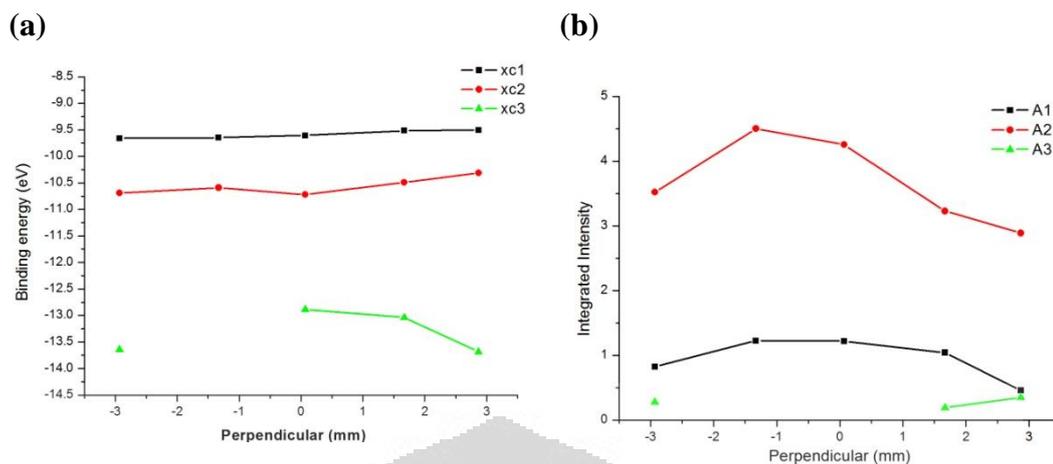
4.3.3.6. Orbital 3d

Pada gambar 4.21 dan 4.22 terlihat bahwa garis hitam berbentuk horizontal yang menunjukkan energi ikat yang relatif konstan. Sedangkan intensitasnya menunjukkan perubahan dimana pada bagian tepi substrat lebih rendah yang ditandai dengan penurunan garis tersebut pada daerah tepi.

Pada garis merah menunjukkan sedikit perubahan pada energi ikat dimana terjadi sedikit kenaikan pada daerah tepi, sedangkan intensitasnya cenderung menurun pada daerah tepi. Untuk garis hijau atau biru sulit untuk mendeteksi kehadiran peak pada setiap lokasi dikarenakan intensitas yang sangat kecil sehingga hanya sebagian titik lokasi saja yang bisa dikonfirmasi.



Gambar 4.21. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 3d terhadap posisi sejajar (parallel)



Gambar 4.22. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada orbital 3d terhadap posisi tegak lurus (perpendicular)

Dari grafik-grafik tersebut diatas dapat dilihat tiga garis yang mengindikasikan kehadiran suatu unsur atau senyawa. Pada deposisi Zn excimer ini, kemungkinan 3 garis itu adalah mewakili unsur Zn, interaksi Zn-O, dan Zn-C pada permukaan substrat.

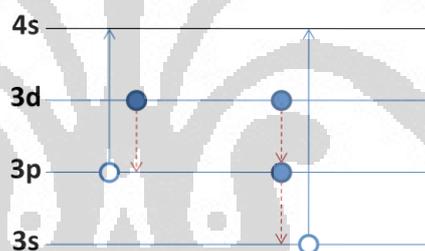
Pada garis merah mewakili hubungan Zn-C dan pada garis biru mewakili hubungan Zn-O. Pada garis biru terlihat bahwa pada lokasi pinggir substrat energi ikatnya cenderung menurun dengan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan lokasi tengah substrat. Energi ikat tergantung juga pada keadaan oksidasi atom, efek dari pergeseran kimia ini disebabkan oleh perbedaan densitas muatan elektron dalam ikatan oksidasi yang berbeda. Penting untuk dicatat bahwa pergeseran puncak XPS merupakan indikator kuat dari transfer elektron dari satu spesies kimia yang lain.

Garis hitam pada grafik mewakili unsur Zn dimana pada setiap orbitalnya cenderung tidak mengalami perubahan energi ikat pada setiap lokasi substrat yang berbeda. Hal tersebut diindikasikan dengan garis yang cenderung lurus pada grafik. Ini berarti bahwa Zn excimer yang terbentuk pada permukaan substrat tidak mengalami perubahan interaksi antar Zn excimer ataupun Zn. Akan tetapi, Intensitas dari grafik ini mengalami perubahan yang signifikan dimana pada daerah tengah substrat memiliki intensitas yang lebih tinggi dibanding pada tepi substrat. Adanya perbedaan intensitas tersebut merupakan pengaruh dari

perbedaan densitas elektron yang mempengaruhi eksitasi dalam proses pembentukan excimer.

Jika pada orbital Zn secara sempurna ditempati oleh pasangan elektron maka elektron yang tereksitasi akan menghasilkan intensitas yang maksimum. Akan tetapi, jika jumlah elektron yang ditempati pada orbital tersebut berkurang maka intensitasnya akan cenderung menurun. Hal ini dapat dijelaskan dengan adanya kompensasi dari orbital lain dengan energi yang lebih rendah atau dengan efek Auger.

Misalnya, pada bilangan orbital 3p intensitasnya cenderung menurun karena orbital 3p dikompensasi oleh orbital 3d. Umumnya keadaan orbital 3d adalah $3d^{10}$ sebagai bilangan elektron maksimum. Akan tetapi jika orbital 3d memiliki bilangan orbital $3d^9$ atau $3d^8$ maka intensitasnya akan berkurang. Dalam hal ini, dapat diperkirakan adanya *hole* pada orbital 3p.



Gambar 4.23. Berkurangnya elektron pada orbital 3d akibat adanya hole pada orbital 3p atau 3s (Auger Effect)

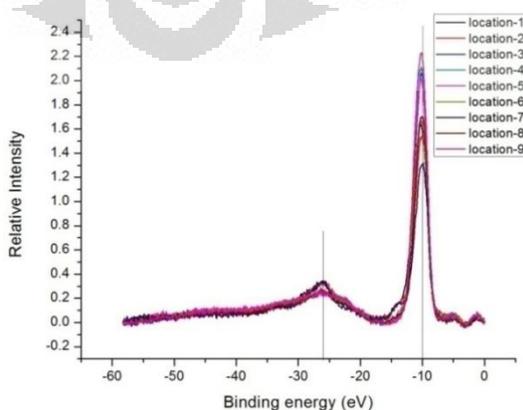
Dengan metode eksitasi pada lapisan inti atom menjadikan komposisi elektron menjadi berkurang dan atom bersifat menjadi 'lebih positif'. Hal ini dapat dijelaskan dengan model Z+1 dengan adanya lubang yang ditinggalkan oleh elektron (*hole*). Atom merupakan suatu satuan dasar materi, yang terdiri atas inti atom dan awan elektron bermuatan negatif yang mengelilinginya. Inti atom terdiri dari proton yang bermuatan positif, dan neutron yang bermuatan netral. Ketika jumlah elektron pada atom berkurang maka atom seolah-olah menjadi lebih positif. Z+1 model 'meningkatkan' muatan positif pada atom akibat berkurangnya komposisi elektron.

Dengan adanya lubang atau *hole* kita dapat menganggap ada 31 positron dalam atom dimana ditempati oleh unsur Gallium (Ga). Orbital 3d pada unsur Gallium memiliki energi ikat sebesar $\sim 18\text{eV}$ [40]. Sehingga energi ikat pada atom Zn yang memiliki sebuah *hole* atau $3d^9$ sebesar 18eV . Sedangkan untuk kehadiran dua *hole*, dengan model ini maka kita dapat menganggap ada 32 positron yang ditempati oleh atom Germanium (Ge). Sehingga energi ikat pada orbital $3d^8$ atom Zn akan sebesar energi ikat orbital 3d atom Ge yaitu 26eV [41].

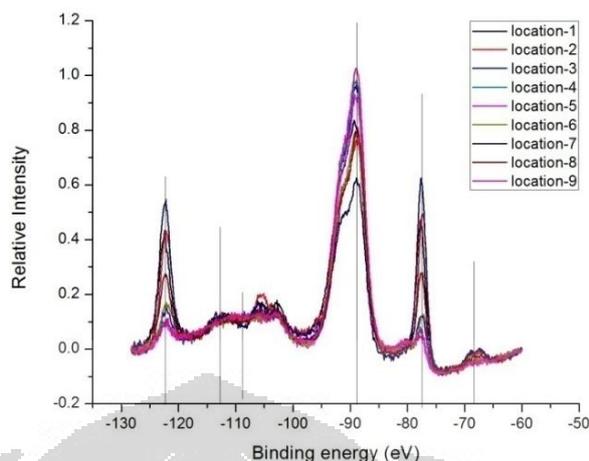
Adanya hole tersebut mengindikasikan kehadiran Zn excimer. Pada grafik-grafik diatas menunjukkan intensitas Zn excimer berkurang pada daerah tepi substrat di tingkat energi ikat Zn. Zn excimer merupakan material modifikasi yang memiliki energi ikat yang lebih besar (negatif) dibanding normal Zn. Adanya perbedaan intensitas pada grafik menunjukkan persebaran yang terjadi pada lapisan film.

Pembentukan Zn excimer merupakan interaksi antar Zn melalui proses eksitasi. Interaksi ini akan mempengaruhi tingkat energi pada masing-masing atom Zn. Perubahan yang terjadi akan sama pada setiap orbital Zn. Akan tetapi sulit untuk mendeteksi perubahan yang terjadi pada orbital inti atom dengan energy ikat yang lebih besar karena presentasinya akan sangat kecil. Pada orbital terluar atom, energy ikatnya lebih kecil sehingga akan relatif lebih mudah untuk mendeteksi perubahan yang terjadi.

Untuk melihat lebih jelas perubahan energi ikat dan intensitas Zn excimer kita dapat membandingkan grafik XPS pada orbital 3d dan 3p dibawah ini.



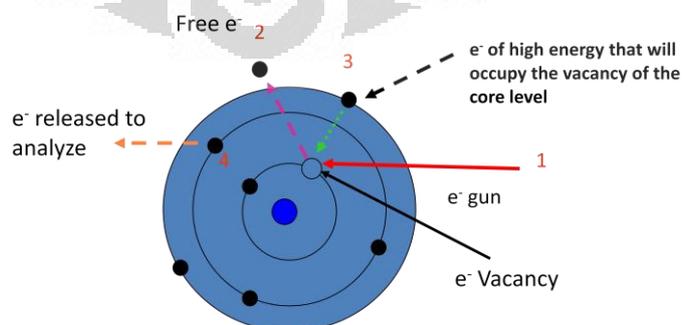
Gambar 4.24. Grafik XPS orbital 3d



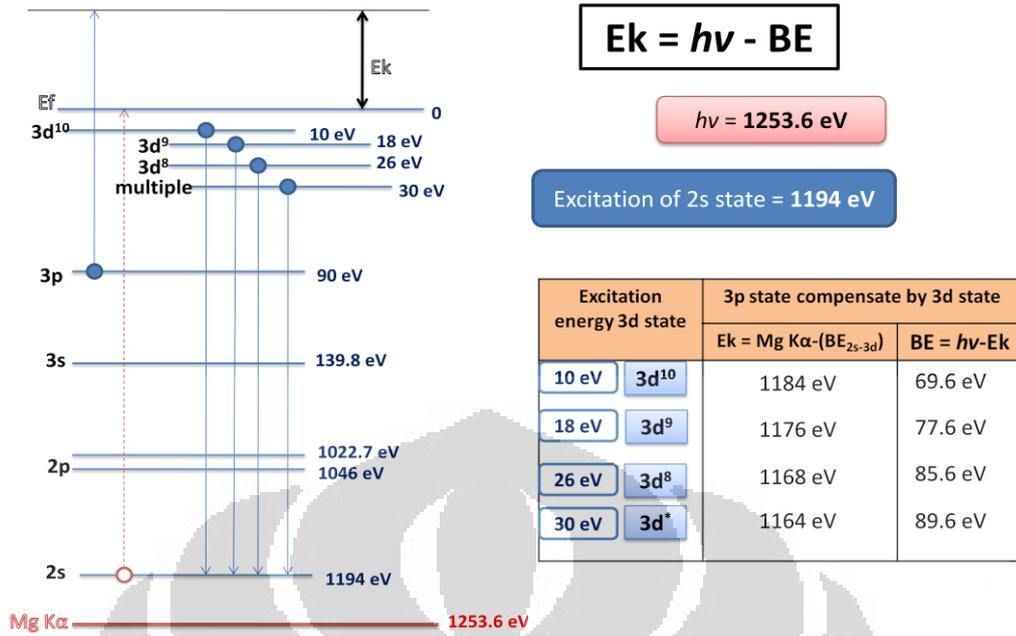
Gambar 4.25. Grafik XPS orbital 3p

Pada kedua grafik tersebut dapat dilihat adanya peak pada energi ikat yang lebih tinggi dari Zn. Pada grafik orbital 3d, adanya hole pada orbital tersebut menimbulkan peak pada energi ikat yang lebih tinggi dari Zn. Dari grafik tersebut dapat dilihat adanya peak dengan intensitas yang besar pada energi ikat 26 eV. Adanya peak tersebut mengkonfirmasi kehadiran hole pada orbital 3d.

Untuk orbital 3p, munculnya peak-peak tersebut akibat adanya kompensasi dari orbital 3d dengan efek Auger. Iradiasi sumber x-ray menghapus elektron dari tingkat inti menyebabkan elektron meninggalkan atom. Sebuah tingkat elektron yang lebih tinggi akan menempati kekosongan tersebut. Energi yang dilepaskan diberikan kepada tingkat elektron kedua yang lebih tinggi. Ini merupakan elektron Auger yang akan meninggalkan atom dan terdeteksi oleh detector ^[42].

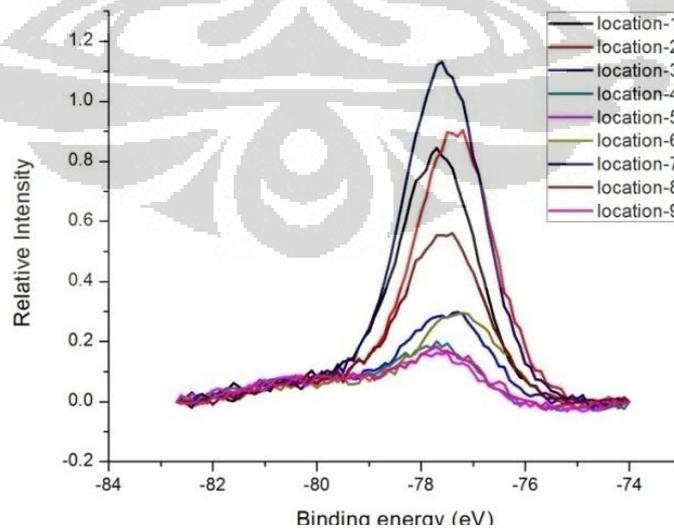


Gambar 4.26. Elektron Auger

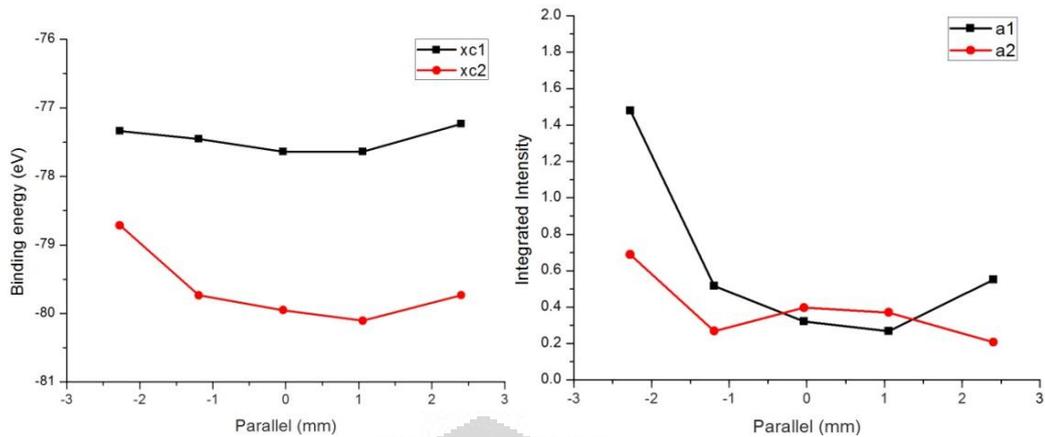


Gambar 4.27. Efek Auger pada orbital 3p akibat kontribusi orbital 3d

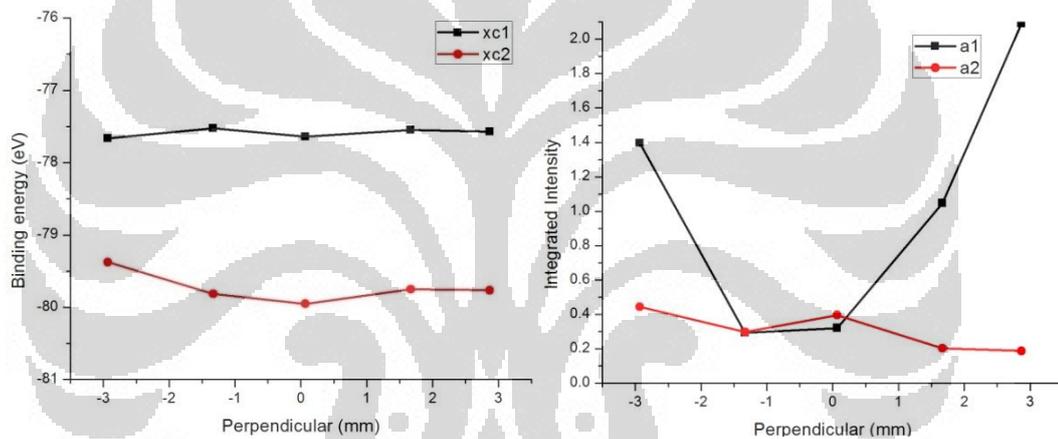
Ketika elektron inti 2s meninggalkan *vacancy* atau kekosongan, maka elektron dari tingkat energi tinggi 3d akan turun ke bawah untuk menempati kekosongan tersebut dengan melepaskan energi. Kemudian elektron dengan tingkat energi 3p akan meninggalkan atom dan terdeteksi pada *analyzer*. Pada gambar diatas, dengan perhitungan energi kinetik yang dihasilkan, dapat diketahui darimana peak-peak pada orbital 3p terjadi.



Gambar 4.28. Peak orbital 3p pada energi ikat 77eV



Gambar 4.29. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada peak orbital 3d 77eV terhadap posisi sejajar (parallel)



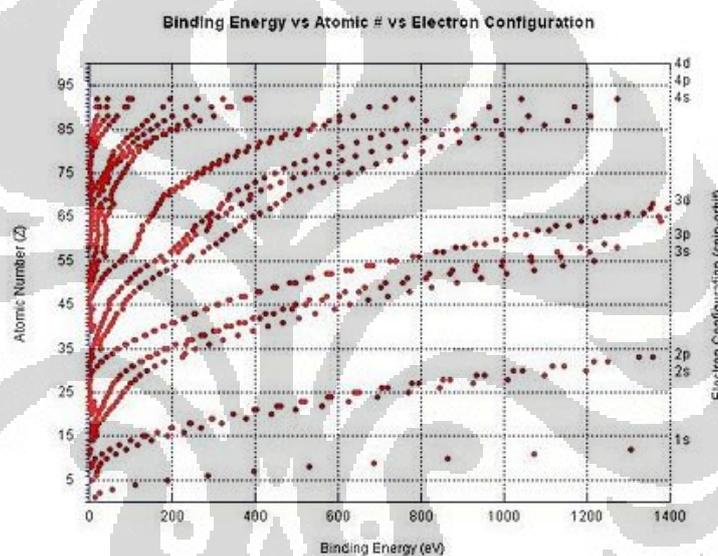
Gambar 4.30. Hubungan (a) energi ikat, dan (b) intensitas pada peak orbital 3d 77eV terhadap posisi tegak lurus (perpendicular)

Misalnya pada orbital 3p di energi ikat 77eV, dengan analisis gauss dapat dilihat perubahan peak tersebut terhadap lokasi substrat pada gambar 4.28, 4.29, dan 4.30. Dari gambar tersebut terlihat urutan intensitas yang berbeda dibandingkan pada posisi peak di energi ikat 90eV.

Dari grafik-grafik tersebut dapat dilihat intensitas pada daerah tepi substrat memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan pada daerah tengah substrat. Hal ini menunjukkan Zn excimer paling banyak terbentuk pada daerah tepi substrat yang memiliki densitas elektron yang tinggi.

4.4. Hubungan Perubahan Energi Ikat dan Intensitas Terhadap Mikrokristal Zn Excimer

Energi ikat elektron adalah ukuran dari energi yang dibutuhkan untuk elektron bebas dari orbit atom mereka. Hal ini lebih dikenal sebagai energi ionisasi ^[43]. *Binding Energy* (BE) atau energi ikat merupakan karakteristik dari elektron inti untuk setiap elemen. BE ditentukan oleh daya tarik elektron terhadap inti. Jika daya tarik elektron dari inti berkurang maka BE akan menurun. Akhirnya, akan ada titik ketika elektron akan bebas dari inti. Elektron energi ikat (BE) dihitung dengan mengacu pada tingkat Fermi.



Gambar 4.31. Hubungan energi ikat terhadap bilangan atom dan konfigurasi elektron [69]

Energi ionisasi berbeda untuk elektron dari orbital atom atau molekul yang berbeda. Umumnya energi ionisasi ke-(n +1) lebih besar dari energi ionisasi ke-n. Elektron dalam orbital yang semakin dekat dengan inti akan mengalami kekuatan elektrostatis tarik-menarik yang lebih besar.

Dengan jari-jari atom yang semakin berkurang, menjadi sulit untuk menghilangkan elektron yang lebih dekat dimana nukleus lebih bermuatan positif. Hal ini dianggap sebagai ukuran dari kecenderungan sebuah atom atau ion untuk menyerahkan sebuah elektron, atau kekuatan yang mengikat

elektron. Semakin besar energi ionisasi, semakin sulit untuk menghilangkan elektron.

Pada prinsipnya, posisi puncak dalam bentuk energi ikat memberikan informasi mengenai kondisi kimia untuk suatu material. Perubahan energi ikat berarti perubahan kristal struktur. Zn excimer merupakan material modifikasi yang memiliki energi ikat yang lebih besar (negatif) dibanding Zn. Adanya perbedaan intensitas pada grafik menunjukkan persebaran Zn excimer yang terjadi pada lapisan film.

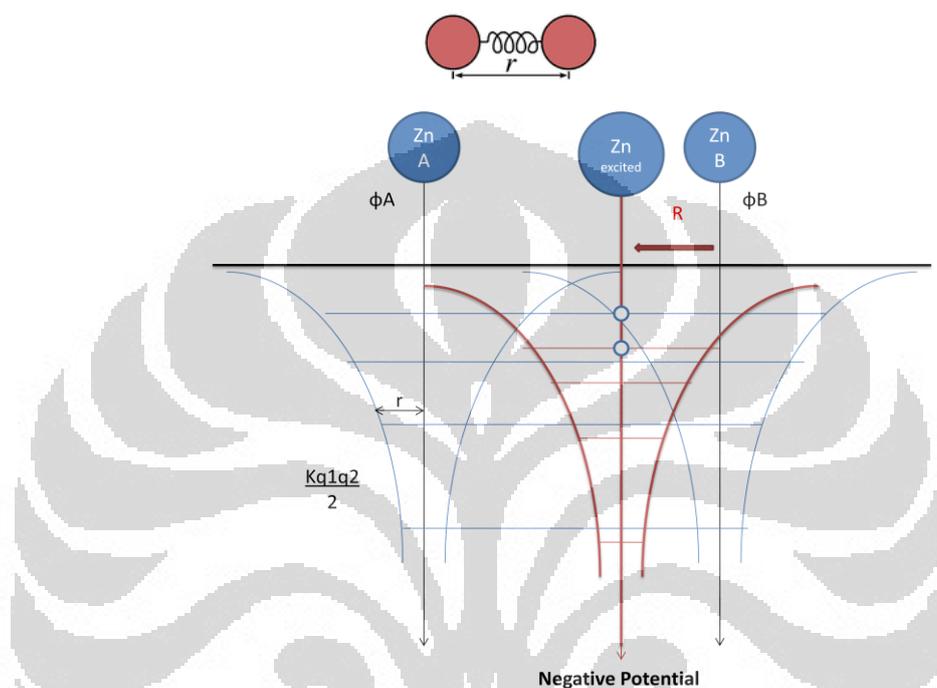
Sebagai dua atom, fungsi gelombang dari dua atom tidak tumpang tindih. Energi dari "molekul" merupakan energi ganda atom. Sebagai dua atom saling mendekati, gaya Coulomb antara dua inti meningkatkan energi potensial.

$$V_{n-n}(R) = \frac{(ze)^2}{4\pi\epsilon_0 R} \dots\dots\dots(4.2)$$

Adanya akumulasi kerapatan elektron antara dua inti., daya tarik antara elektron dan akumulasi dua inti mengkompensasi tolakan antara dua inti dan interaksi elektron-elektron. Juga, energi kinetik dari dua elektron yang lebih rendah karena lebih banyak ruang untuk bergerak sebagai elektron dapat mentransfer dari satu atom ke yang lain. Jadi, total energi molekul akan lebih meningkat dengan R berkurang.

Sebuah molekul dari dua atom disebut molekul diatomik. Konfigurasi dari sebuah molekul diatomik ditentukan oleh R jarak antara kedua atom. Kurva energi potensial dari sebuah molekul diatomik adalah fungsi dari R. Dalam kurva potensial coulomb pergeseran koordinat keadaan tereksitasi akan bergeser kearah kiri. Orbit (elips) merepresentasikan orbit elektron dari atom stasioner nya pada keadaan kuantumnya. Jari-jari orbit r merepresentasikan jarak orbital dengan inti atom^[44].

Getaran dari keadaan dasar elektronik dan setelah menyerap sebuah foton dari energi yang diperlukan, membuat transisi ke keadaan elektronik tereksitasi. Konfigurasi elektron dari keadaan baru dapat mengakibatkan pergeseran dari posisi keseimbangan molekul. kurva yang mewakili potensial Coulomb.



Gambar 4.32. Diagram energi potensial Coulomb

Penghapusan elektron dari ikatan orbital menyebabkan meningkatnya ikatan dan kurva energi potensi menjadi lebih rendah (negatif) sebagai fungsi dari panjang ikatan. Ketika atom tereksitasi, massa atom menjadi 'lebih besar', sehingga serangkaian keadaan kuantum Zn B dialihkan ke rangkaian kuantum Zn eksitasi. Jari-jari Bohr dari semua keadaan kuantum terkait dialihkan ke radius yang lebih besar seperti digambarkan pada gambar 4.32.

Kurva merah menunjukkan transisi dari keadaan normal n ke keadaan tereksitasi. Pada saat yang sama posisi kesetimbangan inti bergerak dengan eksitasi ke nilai lebih besar dari r . partikel akan memiliki energi potensial yang lebih besar dari keadaan normal dan jarak molekul menurun dengan energi getaran meningkat.

Pada skala atom atau molekul, semua partikel memberikan gaya tarik menarik dan tolakmenolak satu sama lain. Peningkatan gaya tarik menarik atom Zn akan merubah bentuk struktur hexagonal mikrokristalnya. Dengan kata lain, struktur mikrokristal Zn akan semakin mendekati struktur kubik.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kuwayama, M. et al.^[15] dengan menggunakan energi elektron 210 eV didapat mikrostruktur Zn excimer berbentuk kubik seperti gambar 4.33 di bawah ini. Gambar tersebut diambil dengan AFM ($5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$)



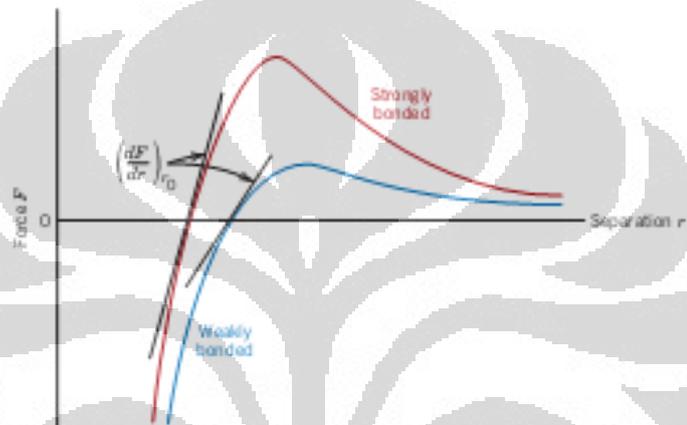
Gambar 4.33. Morfologi struktur kristal Zn excimer berbentuk kubik^[15]

Pada analisa grafik diketahui persebaran Zn excimer ini ditandai dengan intensitas pada grafik XPS. Pada peak energi ikat normal Zn, intensitasnya akan berkurang, sedangkan pada energi ikat eksitasi Zn intensitasnya akan meningkat pada daerah tepi substrat.

Jika gaya tarik menarik antara dua (atau lebih) atom cukup kuat maka atom akan semakin sulit untuk dipisahkan jika diberikan gaya. Hal ini berkaitan pada peningkatan sifat mekanis akibat interaksi atom tersebut.

Pada skala atom, regangan elastis makroskopik diwujudkan sebagai perubahan kecil dalam jarak interatomik. Besarnya modulus elastisitas adalah ukuran resistensi untuk pemisahan atom yang berdekatan, yaitu kekuatan ikatan interatomik. Modulus elastisitas ini sebanding dengan kemiringan kurva gaya-pemisah pada jarak kesetimbangan interatomik:

$$E \propto \left(\frac{dF}{dr} \right)_{r_0} \dots\dots\dots(4.3)$$



Gambar 4.34. kurva gaya-pemisah untuk ikatan interatomik kuat dan lemah ^[45]

Gambar 4.34. menunjukkan kurva gaya-pemisah (force-separation) untuk material yang memiliki ikatan interatomik kuat pada garis merah dan ikatan interatomik lemah pada garis biru, yang diindikasikan dengan perbedaan kemiringan r_0 untuk masing-masing kurva.

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dalam pengaruh densitas elektron pada lokasi lapisan film excimer, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Distribusi densitas muatan akan mempengaruhi pembentukan Zn excimer dengan perubahan intensitas.
2. Intensitas Zn excimer akan menurun pada energi ikat normal Zn, sedangkan pada energi ikat Zn eksitasi intensitasnya akan naik.
3. Pembentukan Zn excimer ditandai dengan perubahan energi ikat.
4. Perubahan energi ikat mempengaruhi mikrokristal yang terbentuk pada lapisan film.
5. Sifat mekanik Zn excimer memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan Zn normal.

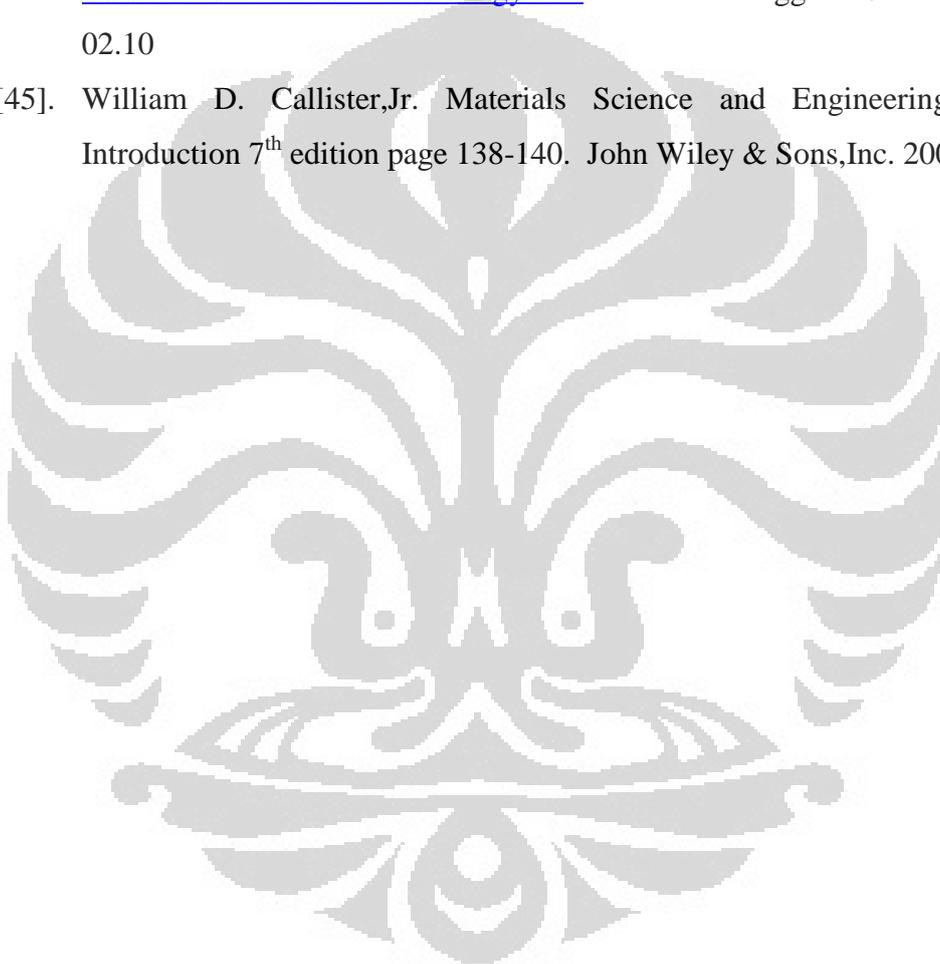
DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Mulliken, R.S. (1967). *Spectroscopy, Molecular Orbitals, and Chemical Bonding*. Science 157 (3784): 13–24.
- [2]. N.Itoh, and A,M Stoneham, *Materials Modification by Electronics Excitation*, United Kingdom: Cambridge University, 2001, 58-70.
- [3]. Hamasaki, M., Obara, M., Obara,K., and Manaka,H.. *A Quantum Dynamic Approach to the Condensation Processes of Zinc Atoms by the Inner-core Excitation due to Ion-Recombination*. International Journal of Technology (2011) 2 : 130-138.
- [4]. Hamasaki, M., Obara, M., Obara,K., and Manaka,H.. *New Approach for Sustainable Energy Systems due to the Excitation of Inner-core Electrons on Zinc Atoms Induced by Surface-ion-recombination*. AIP Conference Proceedings volume 1415. 2011. Halaman 43-46.
- [5]. http://en.wikipedia.org/wiki/Charge_density, diunduh tanggal 10 Maret 2012, 12.20
- [6]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc>, diunduh tanggal 25 Maret 2012, 09.30
- [7]. <http://cornellchem.wikispaces.com/Zinc>
- [8]. <http://www.miniphysics.com/2010/12/hexagonal-close-packed-structure.html>
- [9]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Excitation>
- [10]. http://en.wikipedia.org/wiki/Electron_excitation diunduh tanggal 26 April 2012, 10.53
- [11]. <http://www.bristol.ac.uk/synaptic/research/techniques/figures/fluorescence.gif>
- [12]. http://en.wikipedia.org/wiki/Excited_state diunduh tanggal 27 April 2012, 01.18
- [13]. <http://ridge.icu.ac.jp/biobk/BioBookCHEM1.html#Links>
- [14]. A.V. Kulkarni and R Paratap. *Materials science*. 8,449-452 (1986)
- [15]. Kuwayama, M. et al. *Approximants of Icosahedron Quasicrystals Grown from Single Element Vapor Source, Zinc, Induced by Inner-core Electron Excitation*.

- [16]. Obara, K. *How We Can Produce Sustainable Society from Nanoscience and Nanotechnology for Next Generation-Prospects of Excited Dimers with Long Lifetime-*. AIP Conference Proceedings volume 1415. 2011. Halaman 11-20.
- [17]. Obara, Masumi. *Crystallographic study of structural relaxation of the structure features and Zn were generated by excimer inner shell electron excitation method*. Graduate School of Engineering & Science, Kagoshima Univ .2012.
- [18]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Excimer> diunduh tanggal 26 April 2012, 11.08
- [19]. http://en.wikipedia.org/wiki/Angular_momentum_coupling diunduh tanggal 27 April 2012, 14.34
- [20]. http://en.wikipedia.org/wiki/Selection_rule diunduh tanggal 27 April 2012, 14.50
- [21]. N.Kouchi, Y.Hatano, *Charged Particle and Photon Interaction with Matter*. New York: Marcel Dekker.2004
- [22]. M.Taniguchi, S.Owatari, Y.Oiwane, M.Yamaguchi, K.Obara . *Critical Electron Energy for Surface Diffusibility on Zn Micro-Crystals Formed by Electron -Assisted PVD*. Graduate School of Engineering & Science, Kagoshima Univ. 2011.
- [23]. A.V. Kulkarni and R Paratap. *Materials science*. 8,449-452 (1986)
- [24]. N.D.Lang. W.Kohn. *Theory of Metal Surfaces: Charge Density and Surface Energy*.
- [25]. *Electromagnetism (2nd Edition)*, I.S. Grant, W.R. Phillips, Manchester Physics, John Wiley & Sons, 2008, [ISBN 978-0-471-92712-9](https://doi.org/10.1002/9780471927129)
- [26]. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/elefie.html> diunduh tanggal 15 Mei 2012, 09.55
- [27]. http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_field diunduh tanggal 16 Mei 2012, 19.26
- [28]. Hamasaki, Mitsugu. *Quantum-mechanical study of the condensation process of zinc atoms in the vapor phase growth using the inner-shell*

- electron excitation due to ion recombination*. Graduate School of Engineering & Science, Kagoshima Univ .2012.
- [29]. William D. Greason (1992). *Electrostatic discharge in electronics*. Research Studies Press. p. 48. ISBN 978-0-86380-136-5. Retrieved 4 December 2011.
- [30]. Dmitry Zemlyanov, *Introduction to X-ray Photoelectron Spectroscopy and XPS application*. Birck Nanotechnology Center, Purdue University. 2007.
- [31]. Roger Smart, Stewart McIntyre, Mike Bancroft, et al. X-ray Photoelectron Spectroscopy. Department of Physics and Materials Science City University of Hong Kong Surface Science Western, UWO.
- [32]. Paynter, Royston. XPS theory. INRS-Énergie, Matériaux et Télécommunications.
- [33]. http://srdata.nist.gov/xps/EngElmSrchQuery.aspx?EType=PE&CSOpt=Retri_ex_dat&Elm=Zn diunduh tanggal 5 April 2012, 15.23
- [34]. www.casaxps.com diunduh tanggal 24 Juni 2012, 21.43
- [35]. O'Haver T. "[Intro to Signal Processing - Deconvolution](#)". University of Maryland at College Park. Retrieved 2007-08-15.
- [36]. <http://srdata.nist.gov/xps/DataDefinition.aspx> diunduh tanggal 5 April 2012, 17.47
- [37]. http://www.webelements.com/oxygen/orbital_properties.html diunduh tanggal 5 April 2012, 18.02
- [38]. D.J. Miller, M.C. Biesinger, N.S. McIntyre, *Surface Interface Analysis*. 2002; 33, 299.
- [39]. *Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy*, ed. J.T.Grant and D.Briggs, published by IM Publications, 2003, Chichester, UK
- [40]. http://srdata.nist.gov/xps/EngElmSrchQuery.aspx?EType=PE&CSOpt=Retri_ex_dat&Elm=Ga diunduh tanggal 30 Mei 2012, 19.16
- [41]. http://srdata.nist.gov/xps/EngElmSrchQuery.aspx?EType=PE&CSOpt=Retri_ex_dat&Elm=Ge diunduh tanggal 30 Mei 2012, 19.17

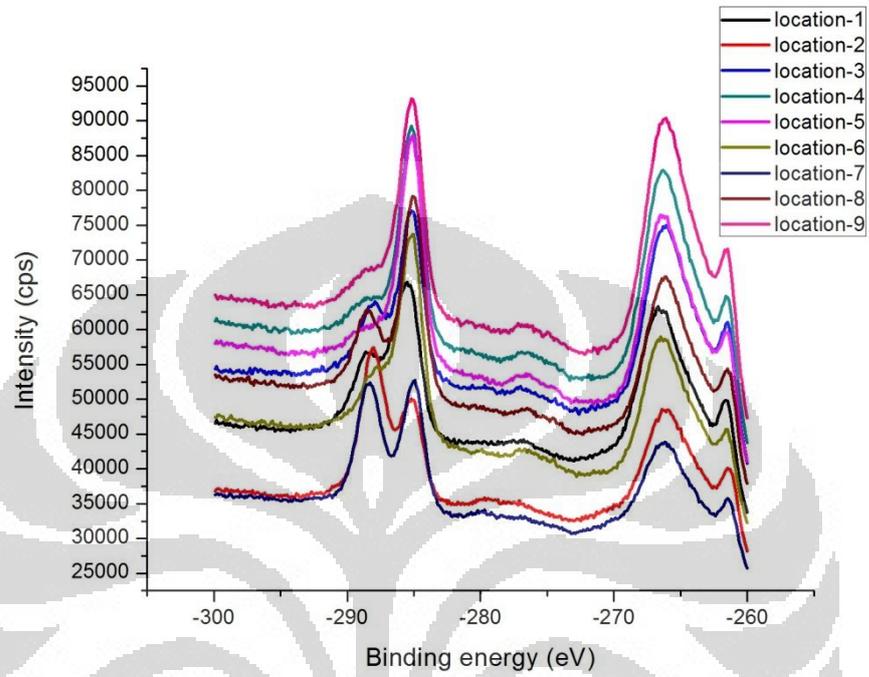
- [42]. David Echevarría Torres. X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS). University of Texas at El Paso College of Science Chemistry Department.2006.
- [43]. Nic, M.; Jirat, J.; Kosata, B., eds. (2006–). "[Ionization energy](#)". *IUPAC Compendium of Chemical Terminology* (Online ed.). DOI:10.1351/goldbook.I03199. ISBN 0-9678550-9-8.
- [44]. <http://www.intalek.com/Index/Projects/Research/NaturalLengthContractio>
[nMechanismDueToKineticEnergy.htm](http://www.intalek.com/Index/Projects/Research/NaturalLengthContractio) diunduh tanggal 19 Juli 2012, 02.10
- [45]. William D. Callister,Jr. Materials Science and Engineering : An Introduction 7th edition page 138-140. John Wiley & Sons,Inc. 2007.



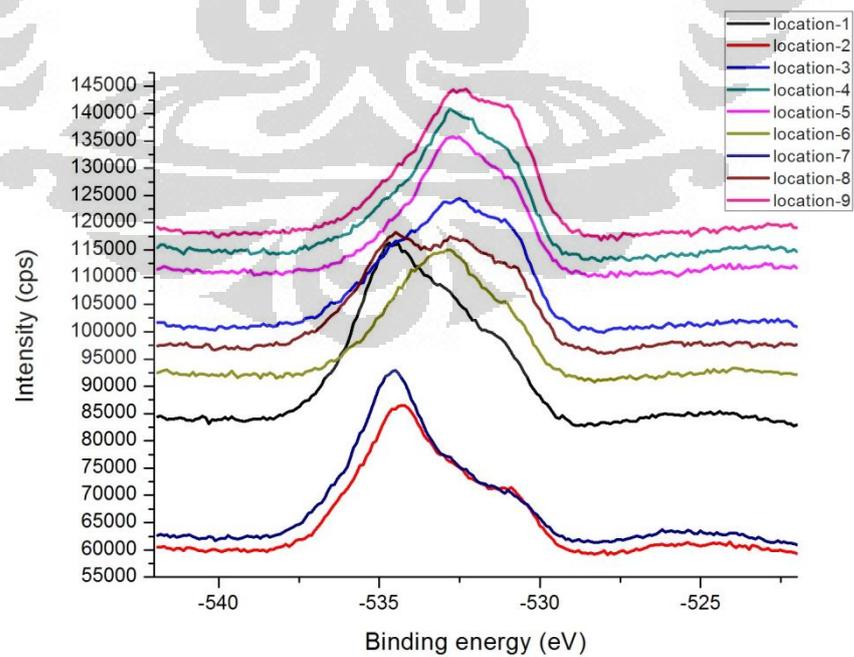
Lampiran 1

Hasil XPS untuk masing-masing posisi

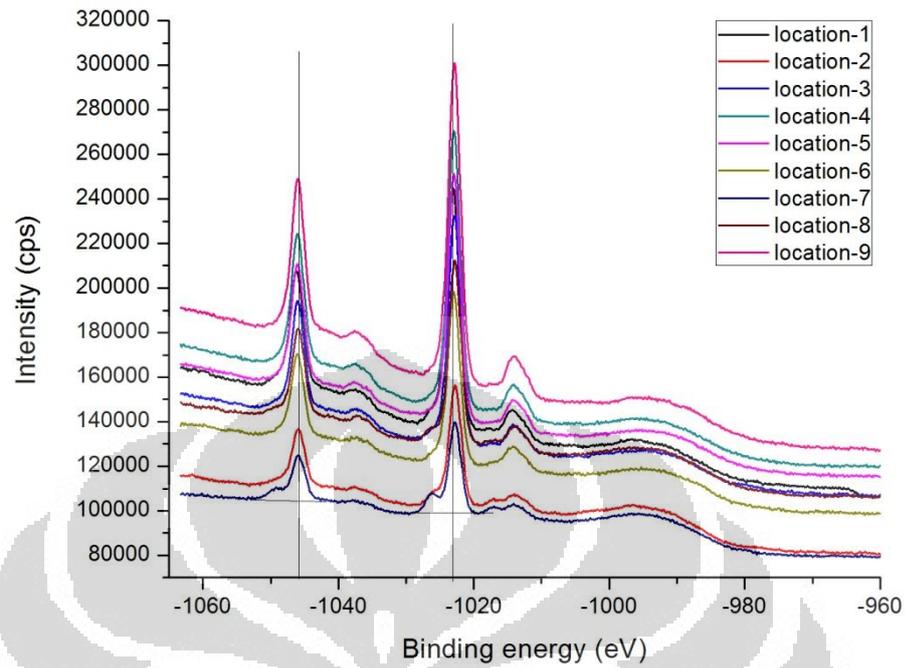
1.1. Karbon 1s



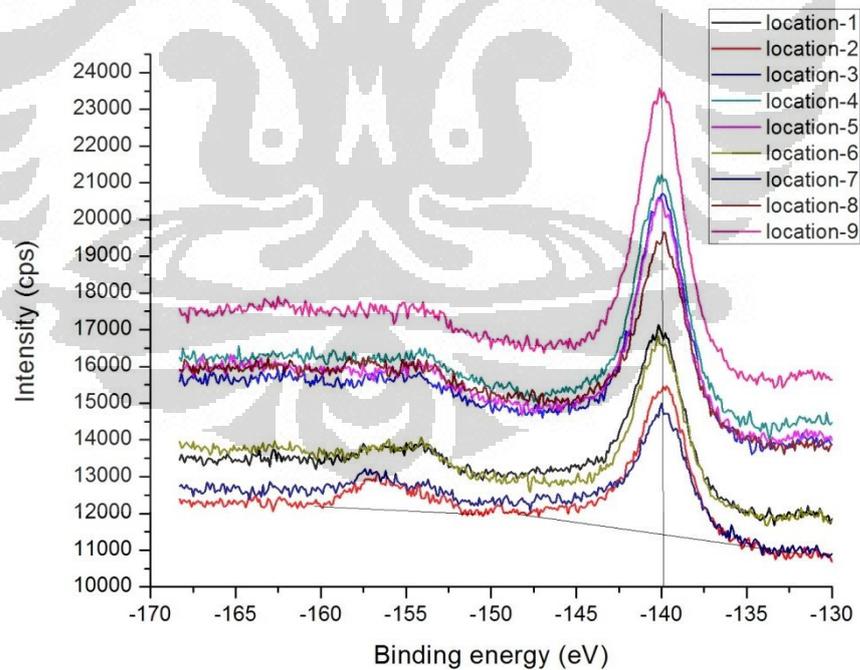
1.2. Oksigen 1s



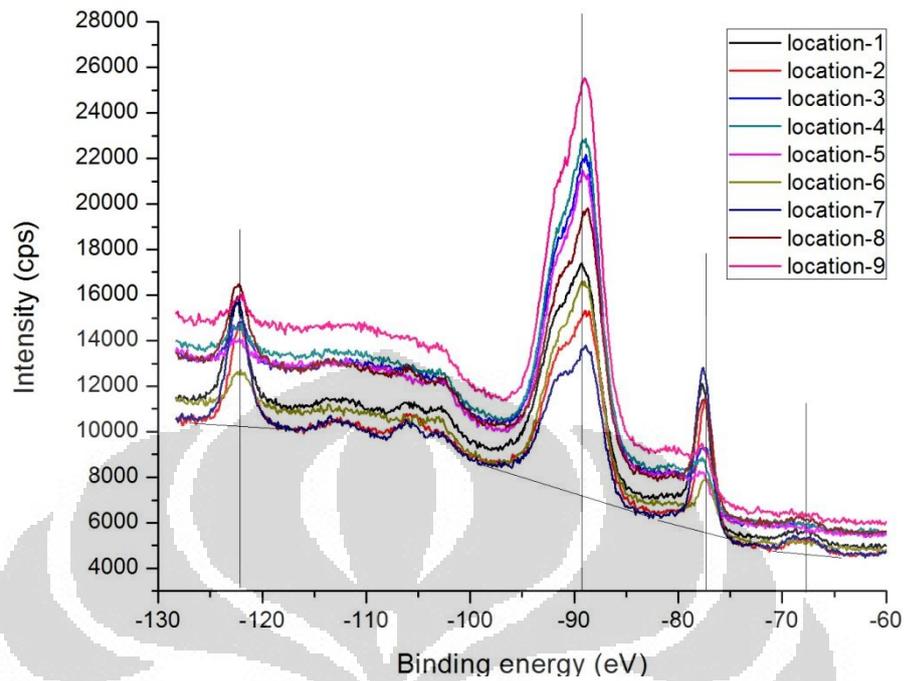
1.3.Orbital 2p



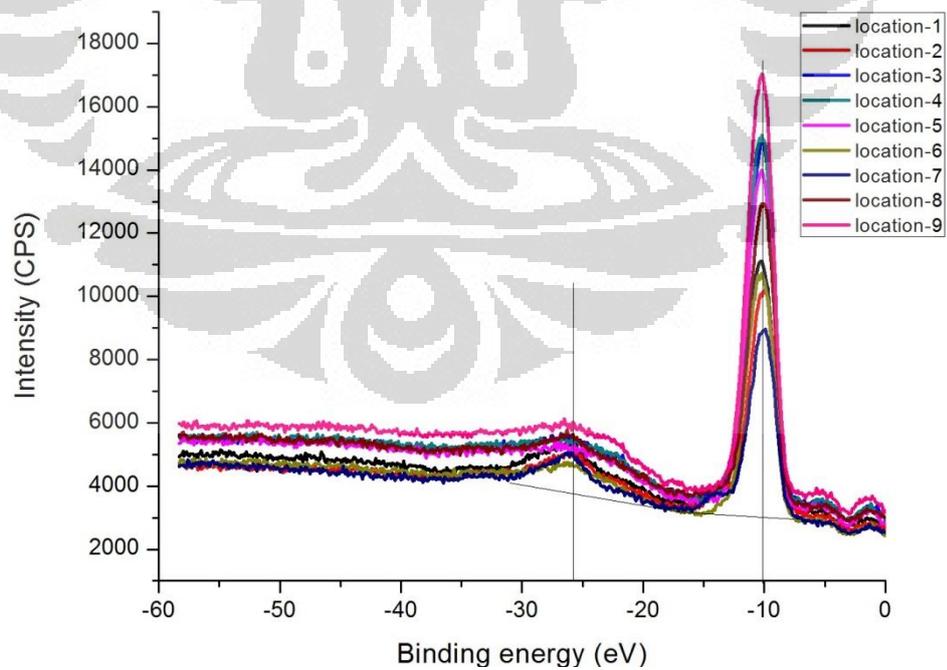
1.4.Orbital 3s



1.5.Orbital 3p



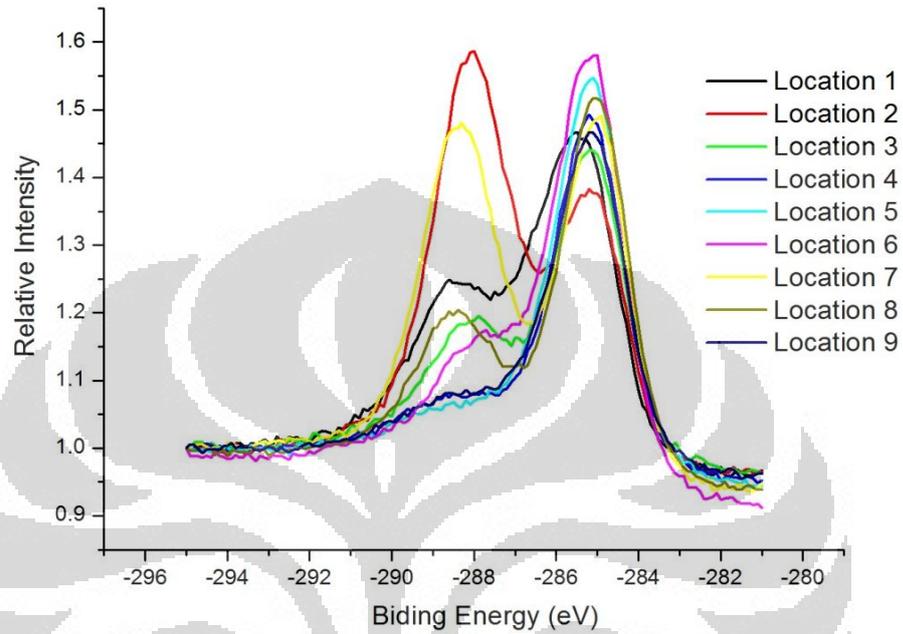
1.6.Orbital 3d



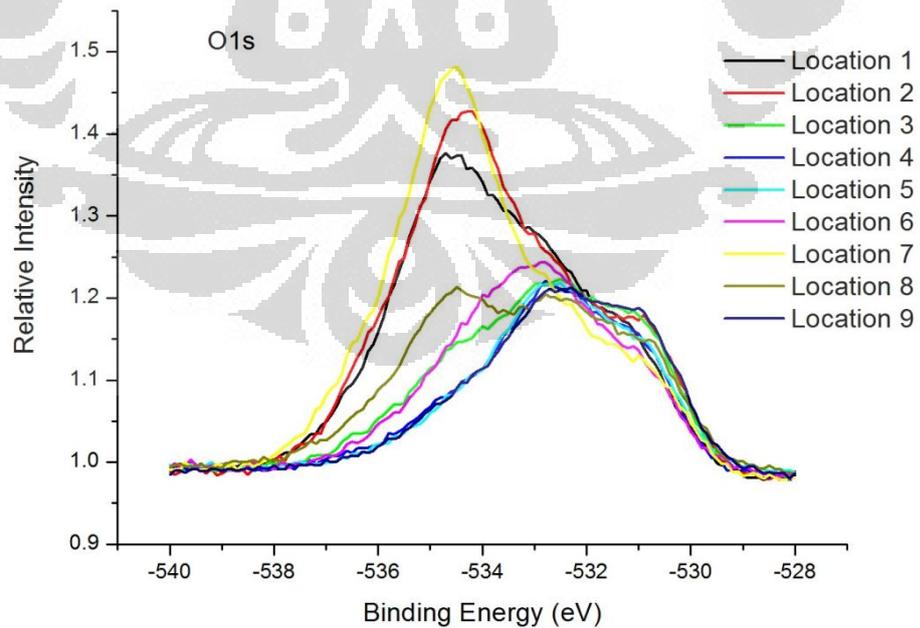
Lampiran 2

Pengolahan Data Grafik XPS setelah Normalisasi Area

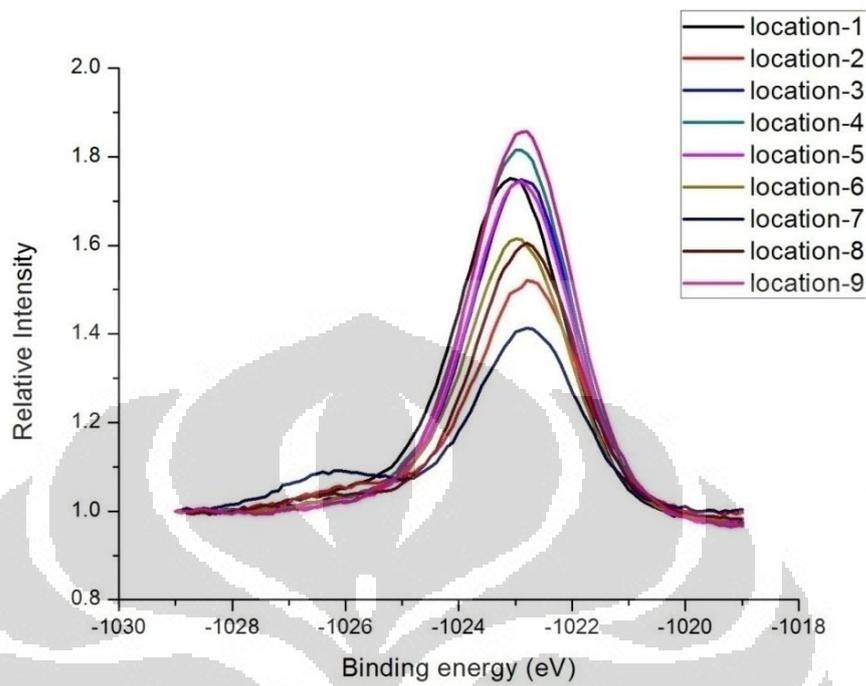
2.1. Karbon 1s



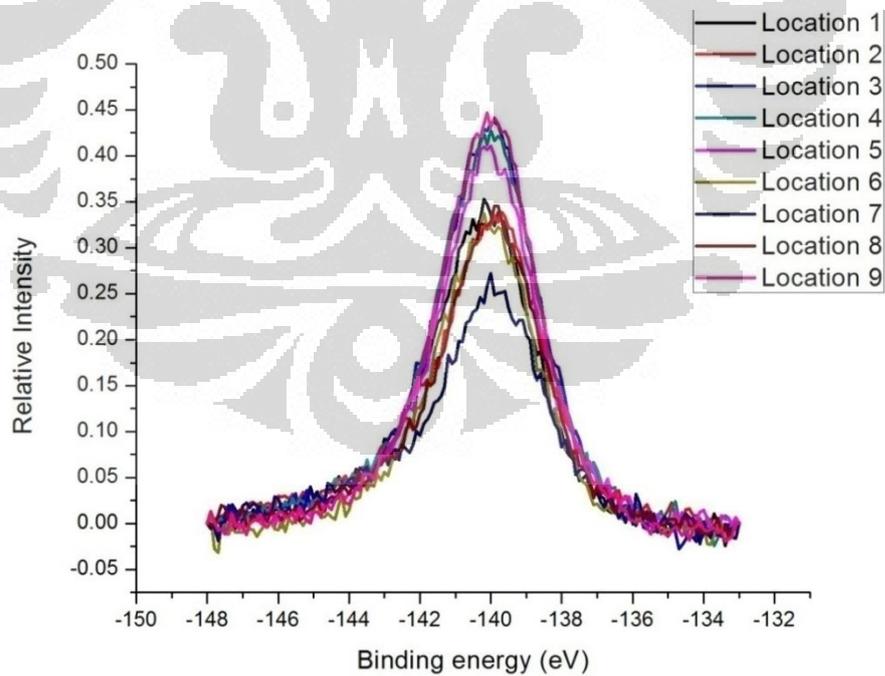
2.2. Oksigen 1s



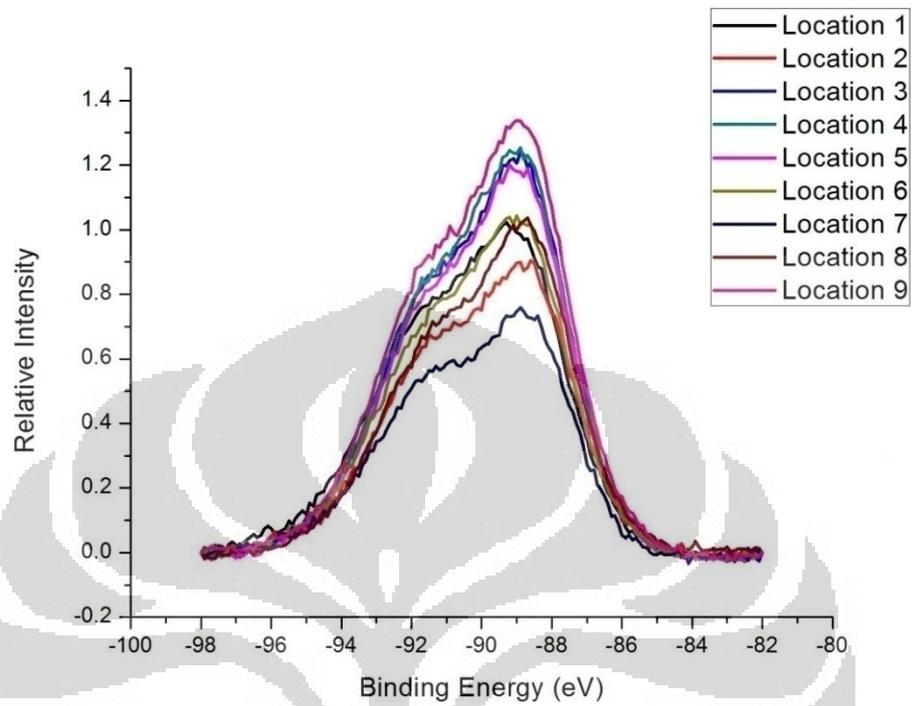
2.3. Orbital 2p



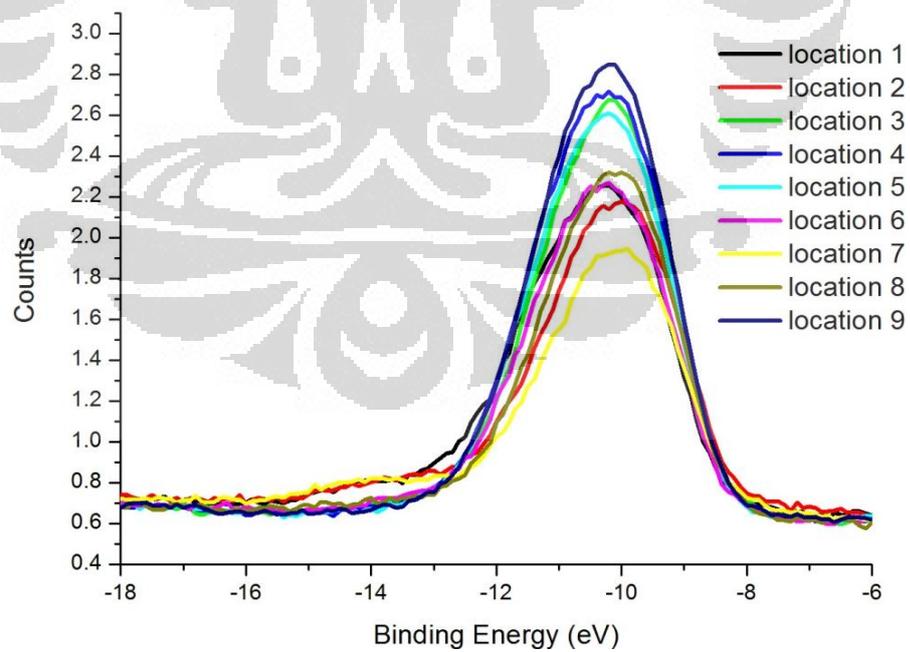
2.4. Orbital 3s



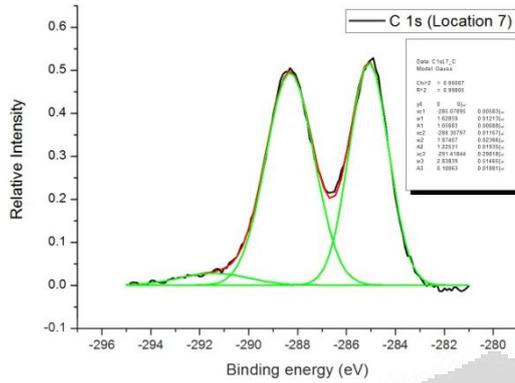
2.5. Orbital 3p



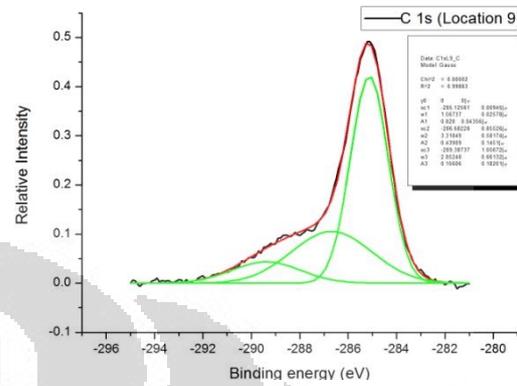
2.6. Orbital 3d



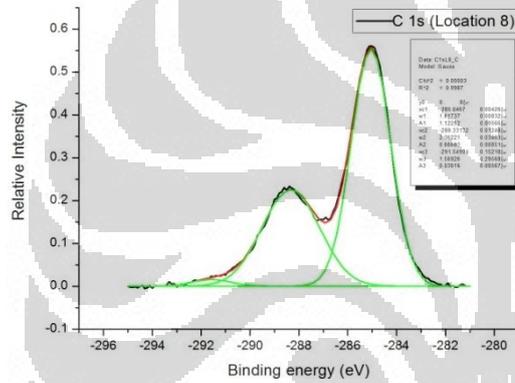
3.1.g. Lokasi 7



3.1.i. Lokasi 9

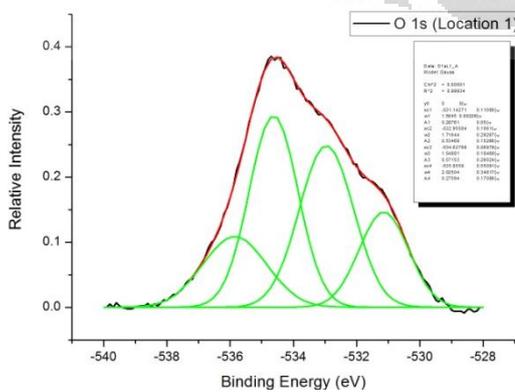


3.1.h. Lokasi 8

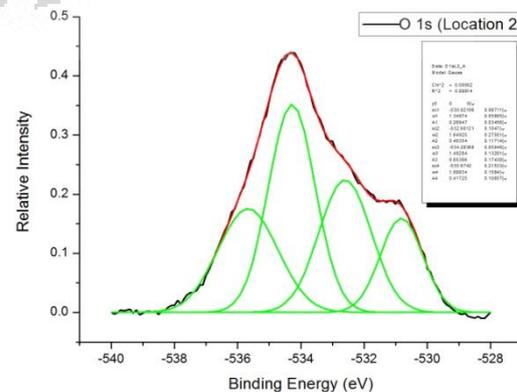


3.2. Oksigen 1s

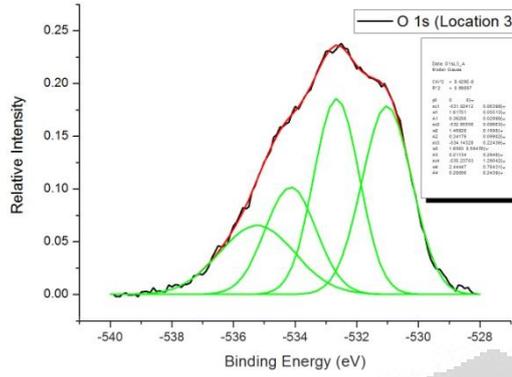
3.2.a. Lokasi 1



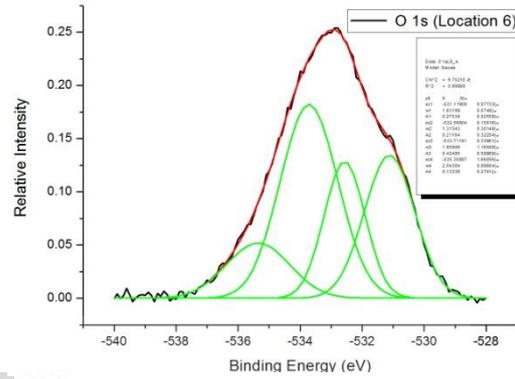
3.2.b. Lokasi 2



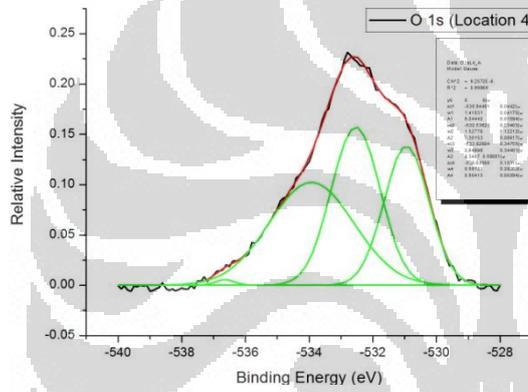
3.2.c. Lokasi 3



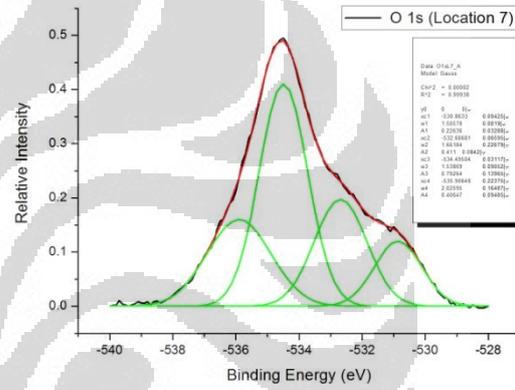
3.2.f. Lokasi 6



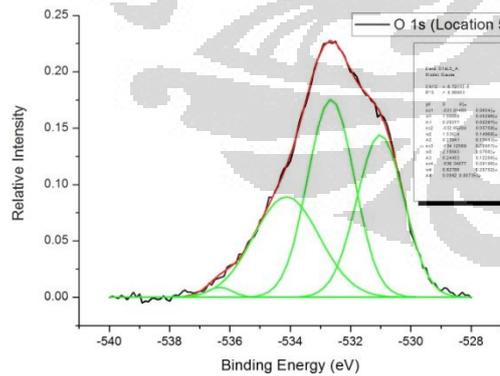
3.2.d. Lokasi 4



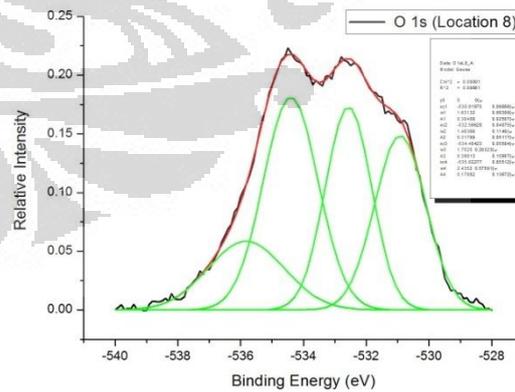
3.2.g. Lokasi 7



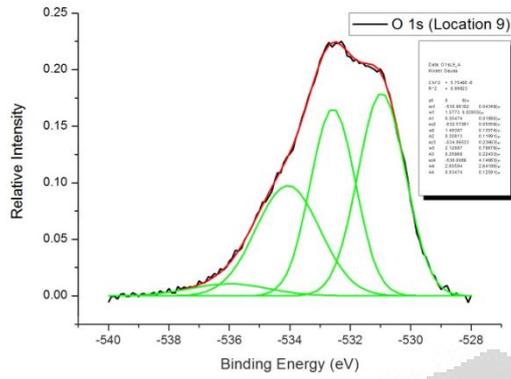
3.2.e. Lokasi 5



3.2.h. Lokasi 8

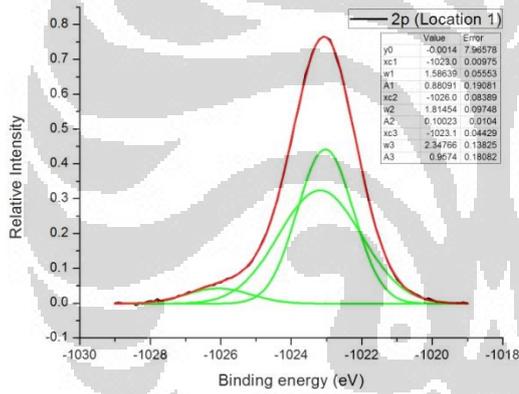


3.5.i. Lokasi 9

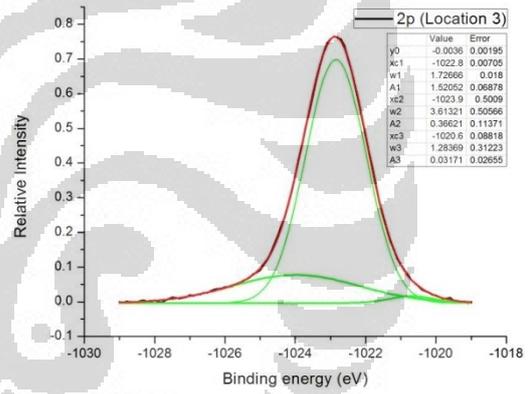


3.3.Orbital 2p

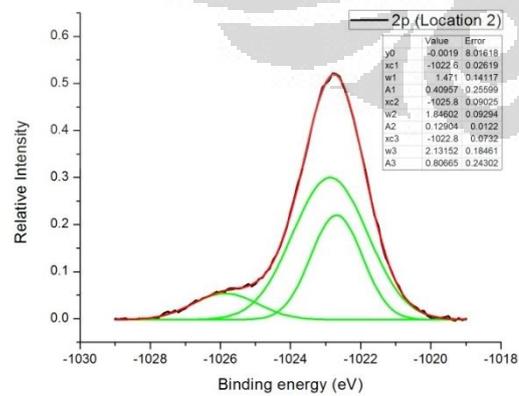
3.3.a. Lokasi 1



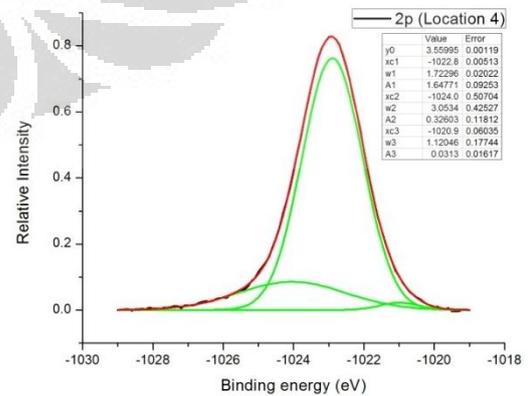
3.3.c. Lokasi 3



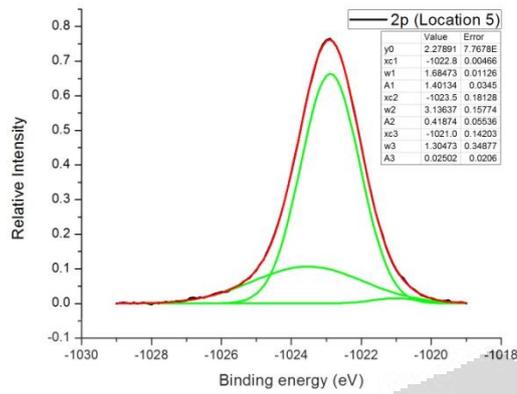
3.3.b. Lokasi 2



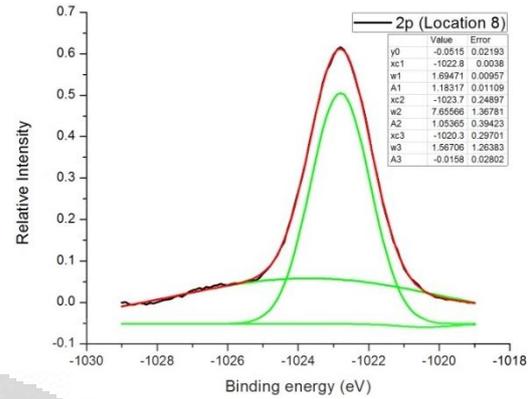
3.3.d. Lokasi 4



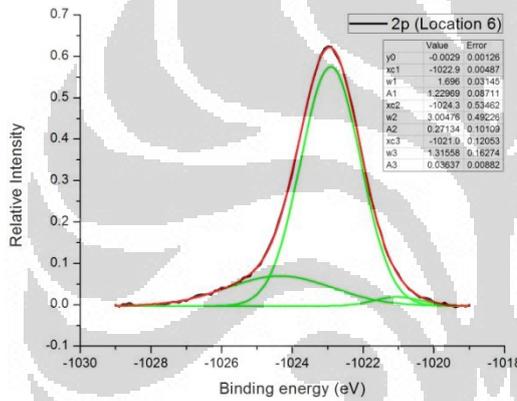
3.3.e. Lokasi 5



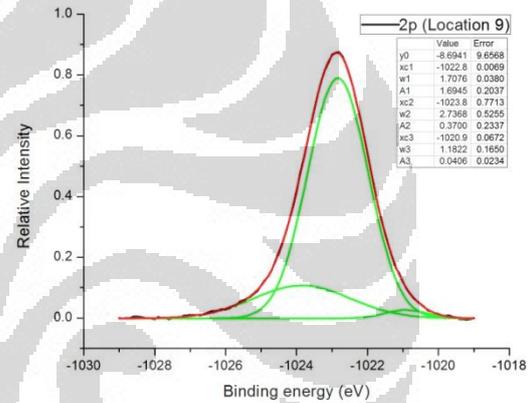
3.3.h. Lokasi 8



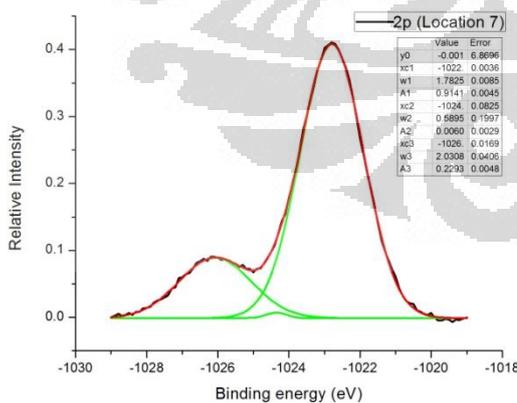
3.3.f. Lokasi 6



3.3.i. Lokasi 9

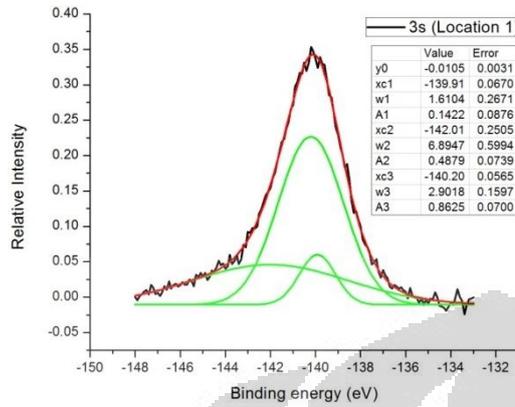


3.3.g. Lokasi 7

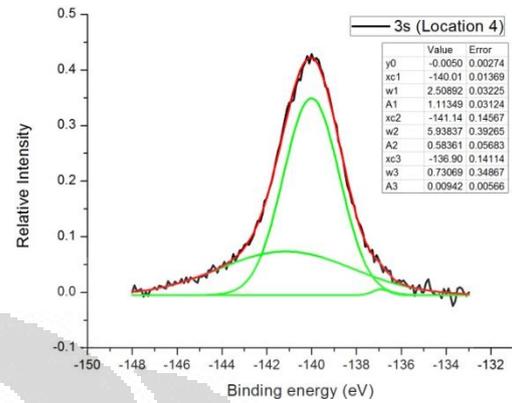


3.4.Orbital 3s

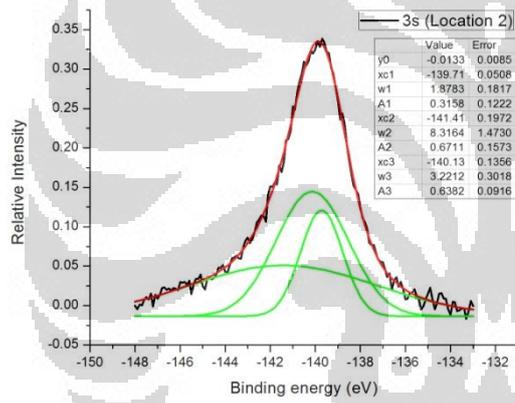
3.4.a. Lokasi 1



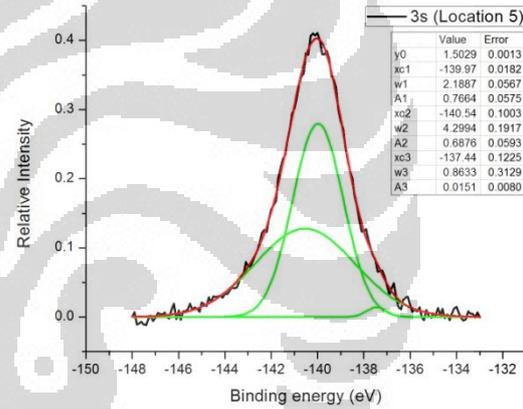
3.4.d. Lokasi 4



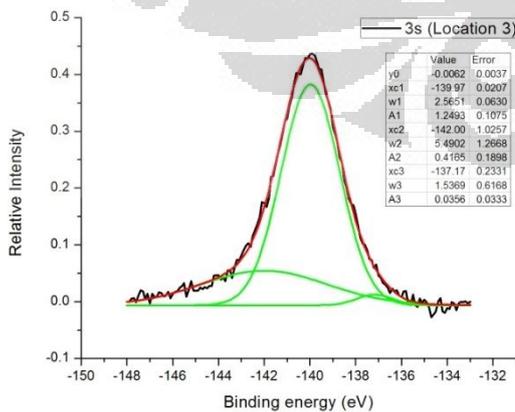
3.4.b. Lokasi 2



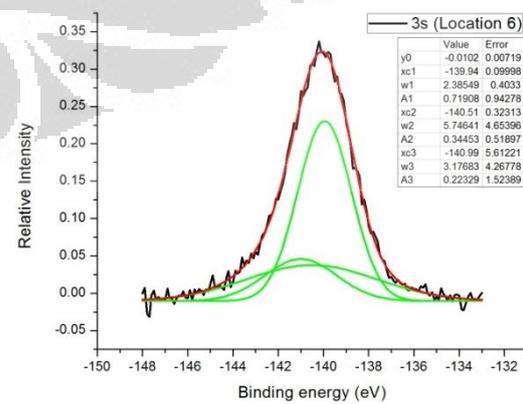
3.4.e. Lokasi 5



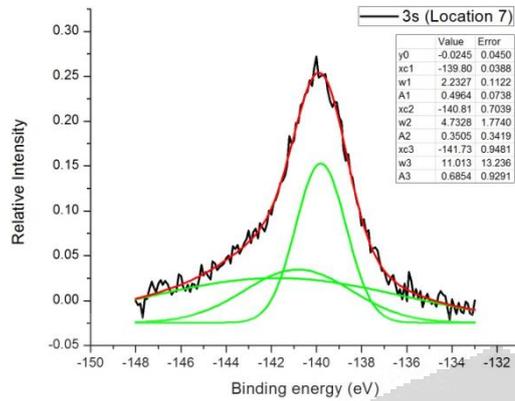
3.4.c. Lokasi 3



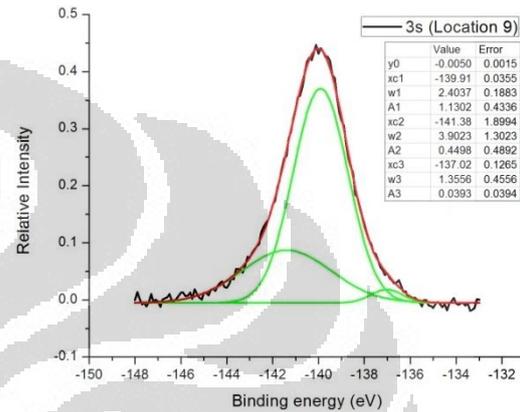
3.4.f. Lokasi 6



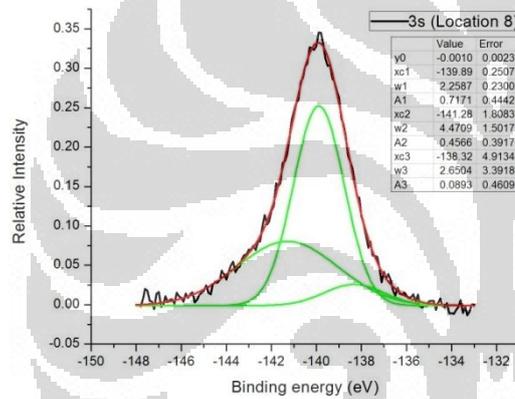
3.4.g. Lokasi 7



3.4.i. Lokasi 9

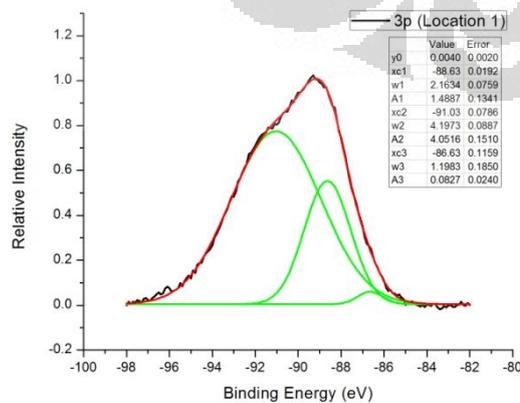


3.4.h. Lokasi 8

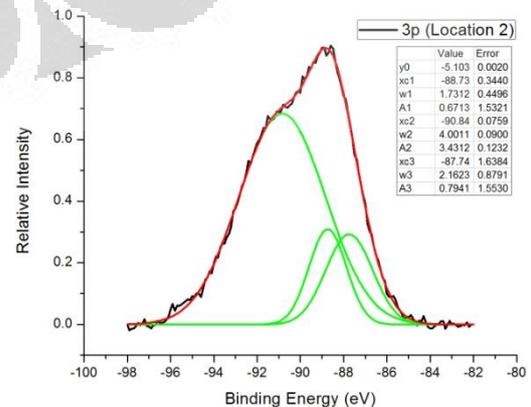


3.5.Orbital 3p

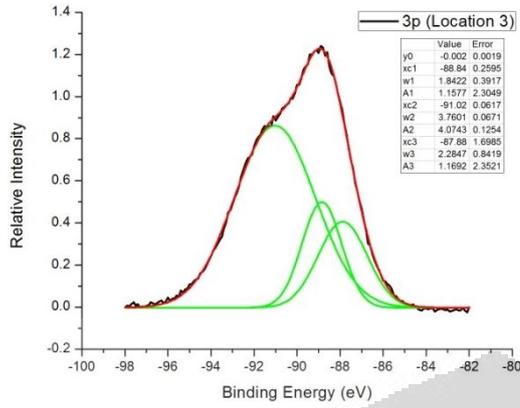
3.5.a. Lokasi 1



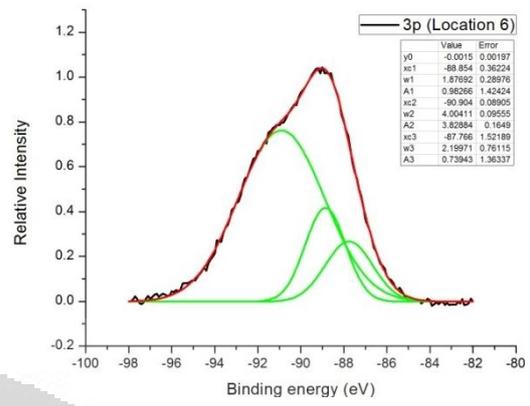
3.5.b. Lokasi 2



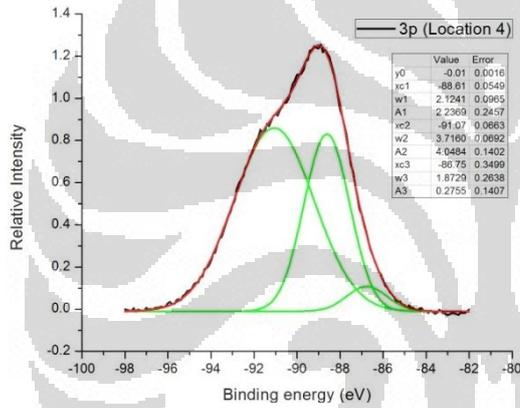
3.5.c. Lokasi 3



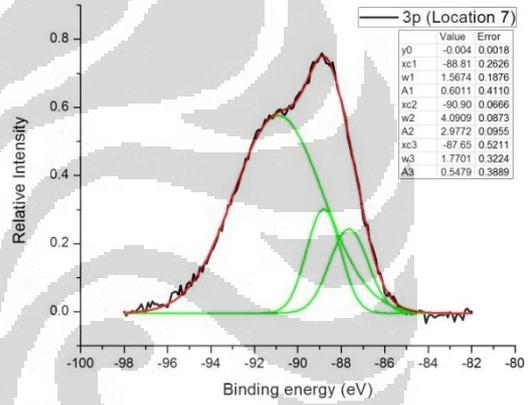
3.5.f. Lokasi 6



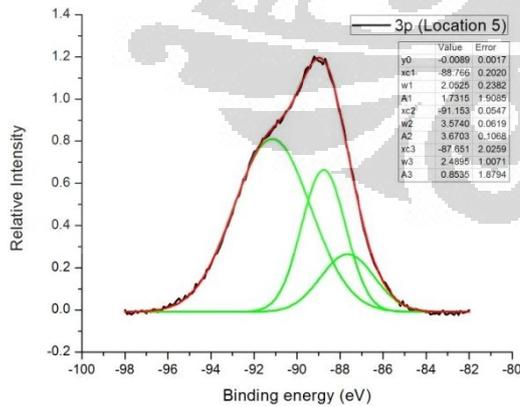
3.5.d. Lokasi 4



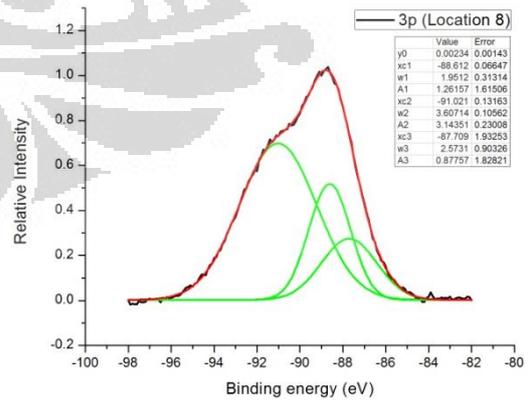
3.5.g. Lokasi 7



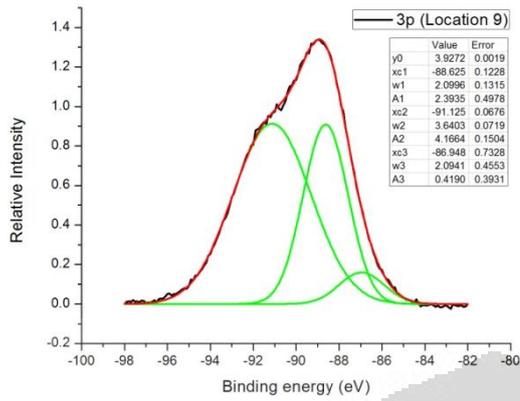
3.5.e. Lokasi 5



3.5.h. Lokasi 8

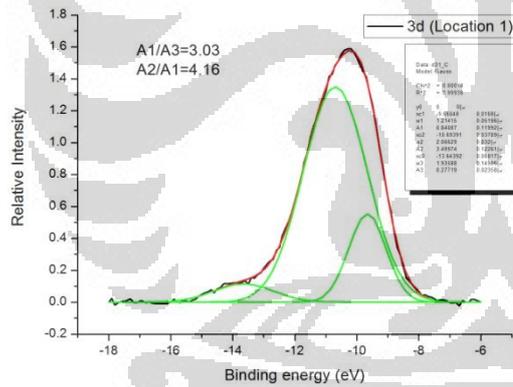


3.5.i. Lokasi 9

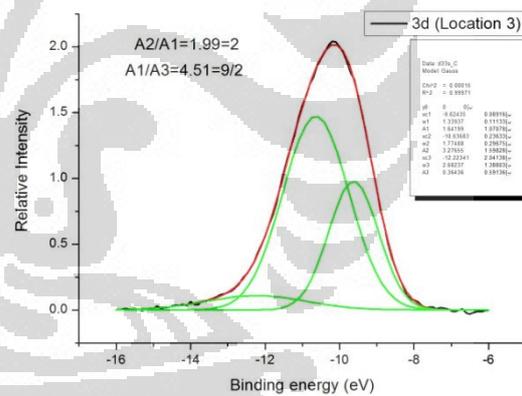


3.6.Orbital 3d

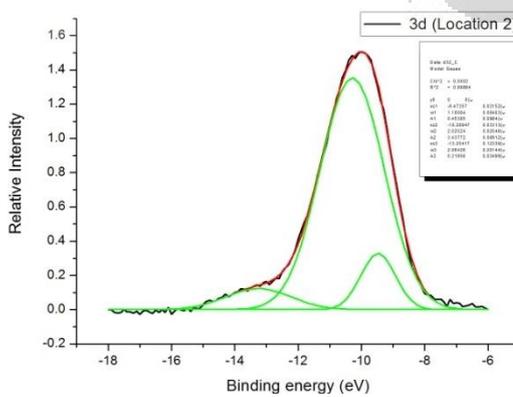
3.6.a. Lokasi 1



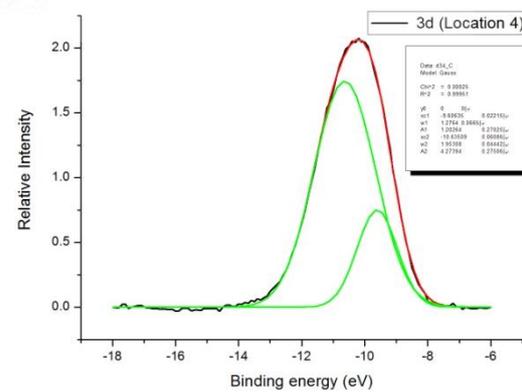
3.6.c. Lokasi 3



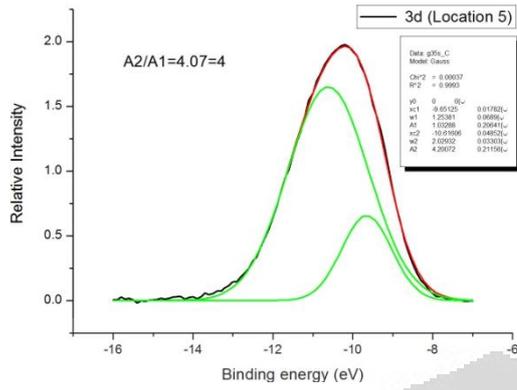
3.6.b. Lokasi 2



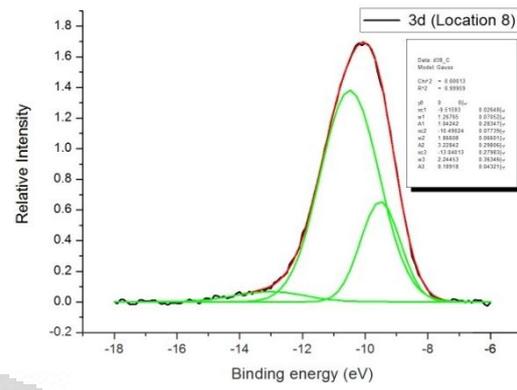
3.6.d. Lokasi 4



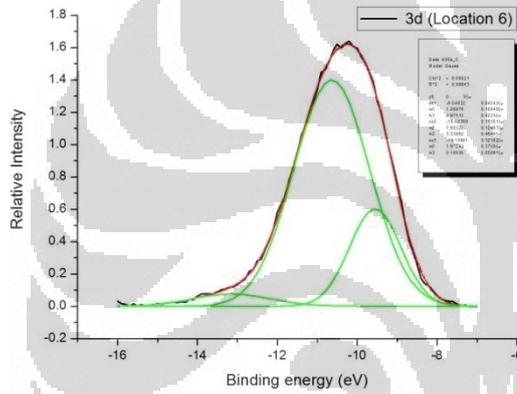
3.6.e. Lokasi 5



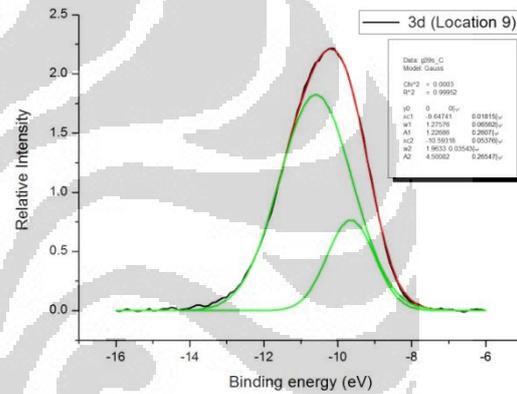
3.6.h. Lokasi 8



3.6.f. Lokasi 6



3.6.i. Lokasi 9



3.6.g. Lokasi 7

