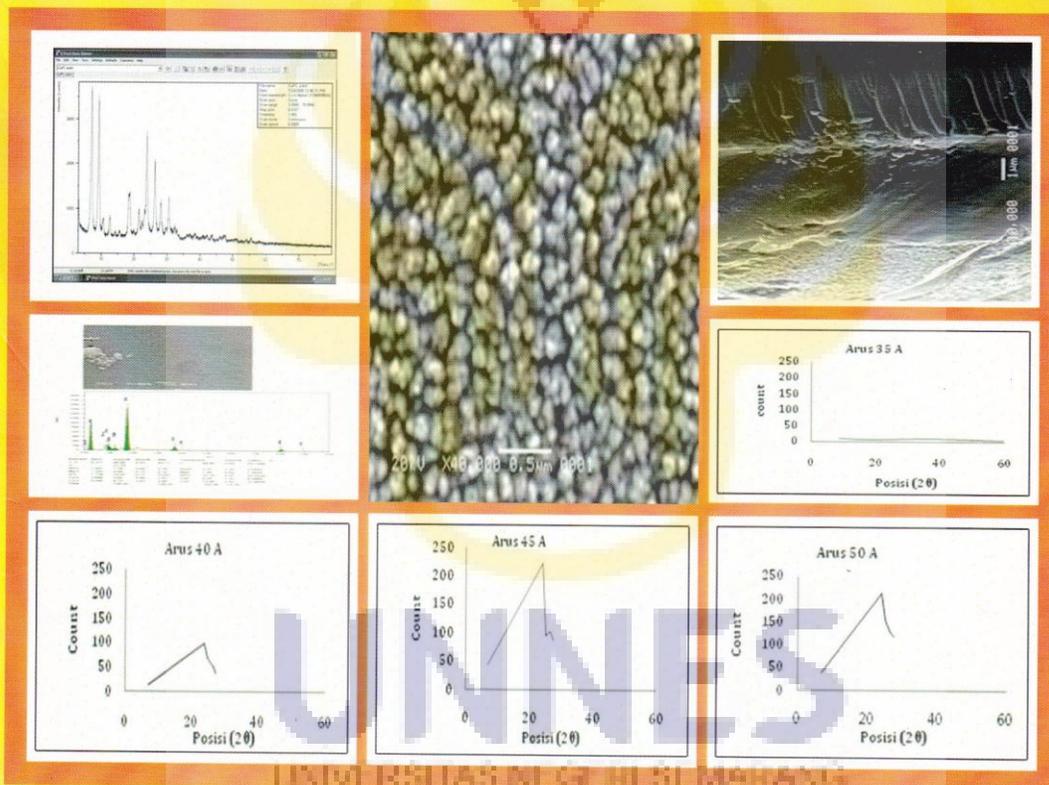


# Karakterisasi Film Tipis

Teori, Penerapan dan Analisis Hasil Deposisi Film Tipis



**Drs. Sujarwata, M.T.**  
**Dr. Putut Marwoto, M.S.**

**UU No 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta**

**Fungsi dan Sifat hak Cipta Pasal 2**

1. Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi pencipta atau pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.

**Hak Terkait Pasal 49**

1. Pelaku memiliki hak eksklusif untuk memberikan izin atau melarang pihak lain yang tanpa persetujuannya membuat, memperbanyak, atau menyiarkan rekaman suara dan/atau gambar pertunjukannya.

**Sanksi Pelanggaran Pasal 72**

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)



**deepublish | publisher**

Jl. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman  
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581  
Telp/Faks: (0274) 4533427  
Hotline: 0838-2316-8088  
Website: www.deepublish.co.id  
E-mail: deepublish@ymail.com

---

**Katalog Dalam Terbitan (KDT)**

---

**SUJARWATA**

Karakterisasi Film Tipis Teori, Penerapan dan Analisis Hasil Deposisi Film Tipis/oleh  
Sujarwata dan Putut Marwoto.--Ed.1, Cet. 1--Yogyakarta: Deepublish, Oktober 2014.

x, 76 hlm.; 25 cm

ISBN 978-602-280-399-7

1. Film

I. Judul

791.43

---

Desain cover : Unggul Pebri Hastanto  
Penata letak : Ika Fatria Iriyanti

**PENERBIT DEEPUBLISH**  
**(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)**  
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

---

Isi diluar tanggungjawab percetakan

---

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau  
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini  
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

# **Karakterisasi Film Tipis**

Teori, Penerapan dan Analisis Hasil Deposisi Film  
Tipis



Drs. Sujarwata, M.T.

Dr. Putut Marwoto, M.S.

## Kata Pengantar

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah robbil 'alamin. Segala puji bagi Allah SWT atas segala nikmat, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku berjudul **Karakterisasi Film Tipis**. Dalam penyusunannya buku, penulis memperoleh banyak bantuan berbagai pihak, karena itu ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada: segenap dosen fisika FMPIA UNNES dan teman-teman Program Pascasarjana Ilmu Fisika UGM.

Isi buku ini sengaja disajikan secara praktis dan lengkap sehingga dapat membantu para siswa, mahasiswa, dosen, guru serta para praktisi industri. Penekanan dan cakupan bidang yang dibahas dalam buku ini sangat membantu dan berperan sebagai sumbangsih pemikiran dalam mendukung pemecahan permasalahan yang selalu muncul didalam deposisi film tipis, karakterisasi dan aplikasi dalam bidang sensor gas. Oleh karena itu, buku ini disusun secara integratif antar disiplin ilmu yaitu bahan semikonduktor, metode deposisi film tipis, karakterisasi menggunakan XRD dan SEM serta aplikasi dalam elektronika, sehingga skill yang diperlukan terkait satu dengan lainnya.

Tiada gading yang tak retak, begitupun dengan buku ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Untuk itu melalui kata pengantar ini penulis sangat terbuka menerima kritik dan saran membangun sehingga secara bertahap penulis dapat memperbaikinya. Saya ucapkan selamat membaca dan memahami teknik deposisi film tipis yang dijelaskan dalam buku ini. Semoga bermanfaat dan bisa memberikan pencerahan bagi dosen, guru, mahasiswa dan pembaca yang mengawali untuk mendedoposisikan lapisan tipis. Akhir kata penulis berharap agar buku ini bermanfaat bagi semua pembaca. Amiin Ya Robbal Alamin .Wassalamualaikum Wr.Wb

Semarang, 2014

Sujarwata

# Daftar Isi

<b>1</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Masalah dan Kerangka Pemecahannya	3
1.3	Tujuan Buku Ini	4
1.4	Manfaat	5
<b>2</b>	<b>MATERIAL SEMIKONDUKTOR</b>	<b>6</b>
2.1	Konduktor, Isolator dan Semikonduktor	6
2.2	Karakteristik Material Semikonduktor	8
2.3	Bahan Semikonduktor	8
2.3.1	Semikonduktor Intrinsik (murni)	9
2.3.2	Semikonduktor Ekstrinsik (Tak Murni)	9
2.3.3	Jenis Semikonduktor Ekstrinsik	11
<b>3</b>	<b>SEMIKONDUKTOR ORGANIK CuPc (<i>Copper Phthalocyanine</i>)</b>	<b>14</b>
3.1	Material <i>phthalocyanine</i>	14
3.2	Material <i>Copper phthalocyanine</i> (CuPc)	16
3.3	Struktur, reaktivitas dan sifat material <i>copper phthalocyanine</i> (CuPc)	17
3.4	Kandungan unsur dalam CuPc	19
<b>4</b>	<b>DEPOSISI FILM TIPIS</b>	<b>22</b>
4.1	Metode deposisi film tipis	23
4.2	Metode Deposisi <i>Metal Organic Chemical Vapor Deposition</i> (MOCVD)	26
4.2.1	Metode PA-MOCVD	27
4.2.2	Metode <i>sol-gel spin-coating</i>	29

4.2.3	Metode <i>dc magnetron sputtering</i> . . . . .	30
4.2.4	Metode <i>Glow Discharge-Induced Sublimation</i> (GDS) . . . . .	33
4.2.5	Metode penguapan hampa udara <i>vacuum evaporator</i> (VE) . . . . .	37
4.3	XRD ( <i>X-ray diffraction</i> ) . . . . .	39
4.3.1	Prinsip kerja XRD ( <i>X-ray diffraction</i> ) . . . . .	41
4.3.2	Data yang diperoleh dari XRD ( <i>X-ray diffraction</i> ) . . . . .	44
4.3.3	Keuntungan penggunaan XRD ( <i>X-ray diffraction</i> ) . . . . .	45
4.4	SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ) . . . . .	45
4.4.1	Prinsip kerja SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ) . . . . .	46
4.4.2	Kelebihan SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ) . . . . .	47
4.4.3	SEM dilengkapi dengan ED-X . . . . .	48
<b>5</b>	<b>HASIL DEPOSISI DAN KARAKTERISASI FILM TIPIS CuPc</b>	<b>51</b>
5.1	Metode deposisi Film Tipis CuPc . . . . .	51
5.2	Hasil Deposisi Film Tipis CuPc . . . . .	53
5.3	Pengujian Struktur Kristal dengan X-RD . . . . .	54
5.4	Hasil SEM dengan Variasi Arus . . . . .	58
5.5	Hasil SEM Penampang Melintang . . . . .	60
5.6	Pengembangan dan Aplikasi Flm Tipis . . . . .	61
5.6.1	<i>Organic Field Effect Transistor</i> (OFET) . . . . .	62
5.6.2	Karakterisasi film tipis CuPc . . . . .	66
5.6.3	Peralatan utama dalam penelitian . . . . .	67
<b>6</b>	<b>PENUTUP</b>	<b>69</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>70</b>
	<b>INDEKS</b>	<b>73</b>
	<b>GLOSARIUM</b>	<b>75</b>

# Daftar Tabel

2.1	Hambatan Jenis . . . . .	10
3.1	Kandungan unsur CuPc dari SEM EDX (Sujarwata dan Putut M, 2013) . . . . .	20
5.1	Puncak difraksi X-RD dari serbuk dan film tipis CuPc . . . . .	55
5.2	Kuat arus sebagai parameter deposisi film tipis CuPc . . . . .	58
5.3	Peralatan utama untuk deposisi film tipis . . . . .	68



# Daftar Gambar

2.1	Ikatan kovalen silikon dalam dua dimensi . . . . .	9
2.2	Semikonduktor Tipe P . . . . .	12
2.3	Semikonduktor Tipe N . . . . .	13
3.1	Struktur kimia senyawa turunan <i>phthalocyanine</i> (Yin, 2001) . . . . .	15
3.2	Struktur molekul CuPc (Puigdollers, 2006) . . . . .	17
3.3	Hasil scanning elemental ED-X (Sujarwata dan Putut M, 2013) . . . . .	20
4.1	Skema sistem reaktor PA-MOCVD (Sugianto dkk, 2004) . . . . .	28
4.2	Sistem reaktor <i>dc magnetron sputtering</i> (Sulhadi, 2010) . . . . .	32
4.3	Metode evaporasi . . . . .	38
4.4	Vakum evaporasi (VE) Model JEOL JEE-4X . . . . .	38
4.5	<i>Diffractometer</i> ( <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction">https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction</a> ) . . . . .	40
4.6	<i>Difraksi sinar x</i> ( <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction">https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction</a> ) . . . . .	42
4.7	(a). Kristal, (b). <i>Amorf</i> (Smallman dan Bishop, 2000): 13 . . . . .	44
4.8	Skema dasar SEM (Smallman dan Bishop, 1999: 144) . . . . .	47
4.9	Hamburan dari elektron jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 1999: 142) . . . . .	48
5.1	Hasil deposisi film tipis CuPc diatas susbrat . . . . .	53
5.2	Pengaruh resistansi film tipis terhadap arus . . . . .	54
5.3	Spektrum XRD dari Serbuk CuPc . . . . .	54
5.4	Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 35 A . . . . .	56
5.5	Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 40 A . . . . .	56
5.6	Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 45 A . . . . .	57
5.7	Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 50 A . . . . .	57
5.8	Hasil Morfologi SEM dengan Arus 40 A . . . . .	59

5.9 Hasil Morfologi SEM dengan Arus 45 A . . . . .	59
5.10 Hasil Morfologi SEM dengan Arus 50 A . . . . .	60
5.11 Hasil Morfologi SEM Penampang Melintang dengan Arus 40 A . . . . .	60
5.12 Hasil Morfologi SEM Penampang Melintang dengan Arus 45 A . . . . .	61
5.13 Hasil Morfologi SEM Penampang Melintang dengan Arus 50 A . . . . .	61
5.14 Skema hasil akhir proses pembuatan OFET . . . . .	63
5.15 Hasil proses pembuatan OFET . . . . .	63
5.16 Hasil pemotongan substrat pada proses pembuatan OFET . . . . .	64
5.17 Hasil akhir proses pembuatan OFET . . . . .	64
5.18 Hasil pembuatan OFET terpasang pada PCB . . . . .	65



# Bab 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Phthalocyanine* adalah suatu bahan semikonduktor organik yang belum begitu banyak dibahas atau ditulis secara mendalam dalam buku-buku yang beredar pada saat ini dan merupakan semikonduktor bahan celupan organik. *Phthalocyanine* sangat stabil dengan panas secara alami dan cocok untuk deposition film tipis dengan sublimasi panas. Suatu tinjauan ulang tentang material semikonduktor ini telah dipublikasikan oleh Leznoff dan Lever pada tahun 1989. Material semikonduktor ini juga memberikan harapan yang besar untuk *photoconductive and photovoltaic response*, dimana riset keadaan arus telah dikembangkan pada saat ini.

Material semikonduktor organik CuPc (*Copper Phthalocyanine*) merupakan topik menarik untuk dibahas, sebab mempunyai kepekaan tinggi terhadap oksidasi/ reduksi gas sehingga dapat diterapkan untuk lapisan aktif sensor gas. Perkembangan bentuk sensor gas pada saat sekarang ini masih memerlukan pengetahuan yang canggih terhadap struktur maupun bentuk dari film sebagai hasil deposisi. Kenyataannya menunjukkan bahwa struktur dan bentuk permukaan film berpengaruh terhadap karakteristik sensor gas. Bahan *Phthalocyanine* dan paduannya memiliki aspek potensi komersial dan menawarkan aplikasi lebih unggul dibanding dengan silikon (Si). Bahan ini juga memperlihatkan kepekaan tinggi pada elektron akseptor gas dan absorpsi permukaan kristal diikuti oleh reaksi transfer muatan yang mempengaruhi pembawa muatan dan peningkatan konduktivitas.

Fokus utama yang dibahas dalam buku ini adalah deposisi film tipis berbasis semikonduktor organik CuPc dengan metode penguapan hampa udara pada suhu ruang. Untuk keperluan ini, maka film tipis CuPc akan dideposisikan di atas substrat Si. Dari hasil deposisi diharapkan terbentuknya film tipis, kemudian dikarakterisasi struktur kristalnya menggunakan *X-Ray Diffraction* (X-RD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Film tipis adalah lapisan tipis yang mempunyai ketebalan dalam orde mikrometer hingga nanometer. Film tipis dapat dibuat dari bahan organik, anorganik, logam maupun campuran logam organik (*organometalic*) yang memiliki sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor dan insulator. Film tipis banyak digunakan sebagai bahan sensor karena murah proses produksinya dan sifat elektrisnya dapat diatur melalui parameter pada saat proses pembuatannya. Proses produksi film tipis dapat menggunakan teknik *Sputtering*, evaporasi dan CVD (*Chemical Vapour Deposition*). Parameter ketebalan film tipis, seperti suhu operasi dan proses deposisi berpengaruh terhadap karakteristik film tipis.

Deposisi film tipis dapat bekerja secara optimum pada suhu kamar sebagai sensor gas. Pendeteksian sensor gas didasarkan pada peristiwa oksidasi reduksi yang terjadi antara permukaan film dengan gas. Namun permasalahan yang masih muncul berkaitan dengan pembuatan sensor gas adalah waktu respon. Deposisi film di atas substrat dengan metode penguapan hampa udara (Model JEOL JEE-4X) telah dilaksanakan oleh penulis. Aktivitas ini merupakan langkah awal untuk mengembangkan sensor gas. Deposisi film dilakukan dengan 2 variabel, yaitu: waktu deposisi dan arus. Karakteristik film dianalisis didasarkan struktur mikro menggunakan *X-Ray Diffraction* (X-RD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil deposisi film tipis kemudian dikarakterisasi struktur kristalnya menggunakan XRD, sedangkan morfologi dengan SEM.

Sensor kimia yang diaplikasikan untuk mendeteksi adanya gas beracun sangat pesat pengembangannya dalam dekade terakhir ini. Hal ini disebabkan oleh pengembangan sensor kimia yang cenderung lebih murah, lebih kecil dan lebih *mobile* dari pada instrumen analitis tradisional yang banyak digunakan saat ini. Beberapa contoh pengembangan sensor kimia antara lain untuk monitoring proses pembakaran, emisi gas buang kendaraan, memonitor emisi gas proses industrial seperti pembangkit listrik dan degradasi oli mesin.

## 1.2 Masalah dan Kerangka Pemecahannya

Deposisi film tipis dengan metode penguapan ruang hampa udara belum banyak dibahas dalam buku tentang pengaruh struktur kristal terhadap kecepatan deposisi. Oleh karena itu, perlu adanya buku yang membahas tentang pengaruh ketebalan dan struktur kristal terhadap kecepatan deposisi secara sistematis. Dalam hal ini, perlu adanya buku yang membahas secara mendalam tentang hasil deposisi film tipis dengan metode penguapan pada ruang hampa dan mempelajari struktur kristal terhadap kecepatan deposisi.

Karakteristik elektrik film tipis merupakan parameter penting untuk menentukan material semikonduktor aktif sebagai divais sensor gas. Perubahan tanggapan sensor gas mudah diamati dengan mengubah karakteristik elektriknya dengan mengubah hambatan listrik ( $R$ ) dan tegangan ( $V$ ) semikonduktor. Resistansi film tipis dipengaruhi oleh arus saat dilakukan deposisi film tipis, hal ini menunjukkan bahwa kecepatan deposisi menentukan resistansi. Bagaimanapun juga, saat sekarang penelitian tentang peristiwa ini masih belum menjelaskan. Oleh sebab itu, studi lebih lanjut perlu dilakukan untuk menjelaskan pengaruh kecepatan deposisi terhadap karakteristik resistansi bahan semikonduktor aktif.

Film tipis dapat dibuat dari bahan organik, anorganik, logam maupun campuran logam organik yang memiliki sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor dan insulator. Film tipis banyak digunakan sebagai bahan sensor, karena murah proses produksinya dan sifat elektrisnya dapat diatur melalui parameter pada proses pembuatannya. Proses produksi film tipis dapat menggunakan teknik *sputtering*, evaporasi dan CVD (*chemical Vapour Deposition*). Parameter deposisi film tipis, seperti : ketebalan film tipis, suhu operasi dan proses deposisi berpengaruh terhadap karakteristiknya.

Buku ini mamaparkan deposisi film tipis dengan variabel arus pada alat VE *vacuum evaporator*. Karakteristik film tipis dilakukan analisis didasarkan struktur mikro dengan *X-Ray Diffraction* (X-RD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Selanjutnya hasil X-RD untuk sample dianalisis oleh ICDD ((International Centre for Diffraction Data). Pada sisi lain, permukaan dan ketebalan film dianalisis dengan gambar hasil dari SEM.

Hasil penelitian ditemukan adanya kerusakan permukaan film tipis karena proses *doping*, sehingga mempengaruhi konduktivitas. Penelitian tentang sensor gas berbasis film tipis diorientasikan pada pemanfaatan kristal tunggal organik sebagai saluran (*channel*) pada material untuk meneliti sifat intrinsik. Selain itu, hal mendasar lain menjadi orientasi penelitian sensor gas adalah pencarian materi semikonduktor berperan sebagai lapisan aktif. Sebagian besar pembuatan sensor gas menggunakan semikonduktor anorganik sebagai lapisan tipis yang aktif. Namun karena adanya mobilitas yang masih rendah, sehingga diperlukan tegangan operasi besar. Penelitian tentang pemanfaatan bahan organik sebagai material semikonduktor dan piranti telah banyak dilakukan peneliti.

Dengan memvariasi parameter film tipis saat proses deposisi diharapkan permasalahan, seperti: mobilitas pembawa muatan, waktu respon, waktu pulih dapat ditingkatkan. Pengembangan film tipis sebagai sensor gas yang lebih praktis dan kesensitivan tinggi terus dikembangkan, salah satunya lapisan tipis dari bahan CuPc (*Copper phthalocyanine*). Deposisi film tipis ini nantinya diharapkan dapat bekerja secara optimum pada suhu kamar sebagai sensor gas. Pendeteksian yang mengaplikasikan sensor gas didasarkan pada peristiwa oksidasi reduksi yang terjadi antara permukaan film tipis dengan gas.

### 1.3 Tujuan Buku Ini

Pengembangan teknologi di bidang mikromaterial sangat menentukan keunggulan bangsa di masa akan datang, baik dalam bidang sains, teknologi maupun ekonomi, oleh karena itu kita tidak bisa menghindarinya. Sejumlah negara banyak meningkatkan riset ini karena menyadari hal itu sangat penting untuk meraih keunggulan riset tersebut. Namun peralatan yang diperlukan untuk mengembangkan riset ini, khususnya peralatan karakterisasi dan deposisi film tipis sangat mahal.

Peralatan seperti *X-Ray Diffraction* (X-RD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan contoh peralatan standar untuk karakterisasi mikromaterial/ nanomaterial dan harganya sangat mahal. Hingga saat ini pemerintah kita belum mampu menyediakan semua peralatan yang dibutuhkan. Di lain pihak, riset tersebut tetap dikembangkan di perguruan tinggi dan lembaga penelitian.

Buku ini bertujuan memberikan alternatif untuk memahami karakterisasi film tipis yang dapat kita lakukan dalam kondisi keterbatasan fasilitas alat. Memang terkadang hasil riset kurang eksak, tetapi cukup memberikan informasi tentang sifat-sifat mikromaterial yang sedang kita pelajari. Jelas, hal ini lebih baik dari pada kita diam saja tidak melakukan apa-apa dan mengeluh karena keterbatasan peralatan yang ada. Adapun tujuan secara khusus yang dibahas dalam buku ini adalah deposisi film tipis yang dapat diaplikasikan sebagai lapisan aktif pada sensor gas beracun, sebagai berikut:

- (a). Metode deposisi film tipis.
- (b). Proses deposisi film tipis dilakukan dengan variabel arus.
- (c). Karakterisasi film tipis menggunakan X-RD dan SEM
- (d). Analisis hasil karakterisasi untuk menentukan struktur kualitas film tipis.

## 1.4 Manfaat

Sensor gas berbasis film tipis sangat intensif dikembangkan sejak satu dasawarsa belakangan ini. Hal ini karena beberapa keunggulan, yakni piranti elektronika murah dan hemat energi dalam operasionalnya. Buku ini memberikan pemahaman film tipis dan pemanfaatan diberbagai bidang antara lain:

- a). Sektor industri akan memberikan harapan komersial untuk memproduksi sensor gas, sebab 200 mg bahan dapat dibuat sensor berkisar antara 50 hingga 75 buah.
- b). Bidang kesehatan dapat dimanfaatkan sebagai pemantau kualitas udara ruang maupun lingkungan bebas, sehingga didapatkan udara sehat.
- c). Elektronika menjadi dasar pengembangan teknologi di bidang mikro-elektronika bahkan nano-elektronika, sehingga diperoleh piranti elektronika yang lebih kecil dan *mobile*.
- d). Fisika khususnya zat padat/material akan memberikan suatu harapan untuk dikembangkan lebih lanjut photoconductive dan photovoltaic response.
- e). Akademik diharapkan dapat memberikan kontribusi pemikiran tentang perkembangan sensor gas secara detail dari sisi bahan maupun struktur sensor.

## Bab 2

# MATERIAL SEMIKONDUKTOR

## 2.1 Konduktor, Isolator dan Semikonduktor

Bahan- bahan yang berhubungan dengan arus listrik dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

### 1). Bersifat Konduktor

Konduktor adalah bahan yang dapat menghantarkan arus listrik sehingga sering disebut penghantar listrik yang baik. Pada konduktor yang baik, jumlah elektron bebas terletak pada lintasan yang paling luar adalah banyak dan bebas bergerak. Misalkan pada bahan tembaga setiap atom tembaga menyumbangkan 1 elektron bebas. Tembaga sebagai zat yang memiliki nomor atom 29, mempunyai satu elektron bebas pada kulit terluarnya, elektron ini yang bertugas untuk menghantarkan listrik ketika penghantar tersebut diberi tegangan.

### 2). Bersifat Isolator

Isolator adalah bahan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik, hampir seluruh bahan non logam adalah isolator. Contoh isolator adalah asbes, kayu kering, gelas, plastik, karet, udara dll. Dalam bahan isolator, elektron-elektron tidak bebas bergerak. Hal ini karena setiap atom bahan isolator terikat dengan kuat satu dengan yang lainnya. Pada isolator, setiap muatan elektron terikat oleh inti atomnya, sehingga pada suhu ruangan tidak mungkin adanya pengaliran arus listrik. Apabila isolator diberi tegangan besar sehingga menghasilkan energi listrik yang mampu mengatasi energi pengikat elektron, elektron akan dapat berpindah. Dengan demikian isolator dapat mengalirkan arus listrik.

### 3). Bersifat Semikonduktor

Semikonduktor adalah sebuah bahan (material) yang memiliki sifat konduktivitas listrik yang berada di antara isolator dan konduktor. Sebuah material semikonduktor bersifat sebagai isolator pada temperatur yang sangat rendah, namun pada temperatur ruangan bersifat sebagai konduktor. Bahan semikonduktor yang sering digunakan adalah silikon (Si), germanium (Ge), dan gallium arsenide. Terdapat dua jenis semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik, semikonduktor intrinsik biasanya hanya terdiri dari Ge atau Si saja, sedangkan semikonduktor ekstrinsik gabungan dari dua jenis bahan atau lebih.

Semikonduktor sangat berguna dalam bidang elektronik, karena konduktansinya yang dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan materi lain (biasa disebut materi *doping*). Salah satu alasan utama kegunaan semikonduktor dalam elektronik adalah sifat elektroniknya dapat diubah banyak dalam sebuah cara terkontrol dengan menambah sejumlah kecil ketidakmurnian. Ketidakmurnian ini disebut dopan. Pada umumnya, komponen dasar aktif elektronika terbuat dari bahan-bahan semikonduktor misalnya dioda, transistor, dan IC (*Integrated Circuit*).

Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada di antara isolator dan konduktor. Sebuah semikonduktor bersifat sebagai isolator pada temperatur yang sangat rendah, namun pada temperatur ruangan bersifat sebagai konduktor. Bahan semikonduktor yang sering digunakan adalah silikon (Si), germanium (Ge), dan gallium arsenide. Terdapat dua jenis semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik, semikonduktor intrinsik biasanya hanya terdiri dari Ge atau Si saja, sedangkan semikonduktor ekstrinsik gabungan dari dua jenis bahan atau lebih. Semikonduktor sangat berguna dalam bidang elektronik, karena konduktansinya yang dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan materi lain (biasa disebut materi *doping*).

Salah satu alasan utama kegunaan semikonduktor dalam elektronik adalah sifat elektroniknya dapat diubah banyak dalam sebuah cara terkontrol dengan menambah sejumlah kecil ketidakmurnian. Ketidakmurnian ini disebut dopan. Pada umumnya, komponen dasar aktif elektronika terbuat dari bahan-bahan semikonduktor misalnya dioda, transistor, dan IC (*Integrated Circuit*).

## 2.2 Karakteristik Material Semikonduktor

Semikonduktor elemental terdiri atas unsur-unsur yang terdapat pada sistem periodik golongan IV A seperti silikon (Si), Germanium (Ge) dan Karbon (C). Karbon semikonduktor ditemukan dalam bentuk kristal intan. Semikonduktor intan memiliki konduktivitas panas tinggi sehingga dapat digunakan untuk mengurangi efek panas pada pembuatan semikonduktor laser. Semikonduktor gabungan terdiri atas senyawa yang dibentuk dari logam unsur periodik golongan IIB dan IIIA (valensi 2 dan 3) dengan non logam golongan VA dan VIA (valensi 5 dan 6) sehingga membentuk ikatan stabil (valensi 8). Semikonduktor gabungan III dan V misalnya GaAs dan InP, sedangkan gabungan II dan VI misalnya CdTe dan ZnS.

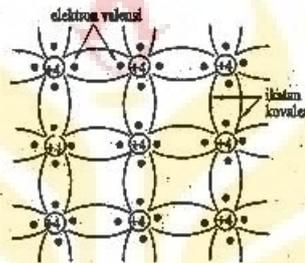
## 2.3 Bahan Semikonduktor

Material semikonduktor adalah suatu material yang mempunyai daya hantar listriknya antara konduktir dan isolator. Tahanan jenis semikonduktor sekitar  $10^{-3}$  m sampai dengan  $10^{+3}$  m. Atom-atom bahan semi konduktor membentuk krrystal dengan struktur *tetrahedral*, dengan ikatan kovalen. Bahan semikonduktor yang banyak dipakai dalam elektkronika adalah silikon (Si) dan Germanium (Ge). Pada  $0^0$  K SI mempunyai lebar pita terlarang (energy gap) 0,785 eV, sedang untuk Ge 1,21 eV. Baik Si maupun Ge mempunyai elektron valensi 4. Ada 2 jenis bahan semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik (murni) dan semi konduktor ekstrinsik (tidak murni). Untuk semikonduktor ekstrinsik ada 2 tipe yaitu tipa P dan tipe N.

Semikonduktor elemental terdiri atas unsur-unsur yang terdapat dalam sistem periodik pada golongan IV A seperti silikon (Si), Germanium (Ge) dan Karbon (C). Unsur karbon (C) pada semikonduktor ditemukan dalam bentuk kristal intan. Semikonduktor intan memiliki konduktivitas panas tinggi sehingga dapat digunakan untuk mengurangi efek panas pada pembuatan semikonduktor laser. Semikonduktor gabungan terdiri atas senyawa yang dibentuk dari logam unsur pada sistem periodik golongan IIB dan IIIA (yang mempunyai valensi 2 dan 3) dengan non logam golongan VA dan VIA (valensi 5 dan 6) sehingga membentuk ikatan yang stabil (valensi 8). Semikonduktor gabungan III dan V misalnya GaAs dan InP, sedangkan gabungan II dan VI misalnya CdTe dan ZnS.

### 2.3.1 Semikonduktor Intrinsik (murni)

Si dan Ge merupakan 2 jenis semikonduktor yang penting dalam elektronika. Keduanya terletak pada kolom 4 dalam tabel periodik dan mempunyai elektron valensi 4. Struktur kristal Si dan Ge berbentuk tetrahedral dengan setiap atom memakai bersama sebuah elektron valensi dengan atom-atom tetangganya. Gambar 2.1 memperlihatkan bentuk ikatan kovalen dalam 2 dimensi. Pada temperatur mendekati harga nol mutlak, elektron kulit terluar terikat dengan erat, sehingga tidak terdapat elektron bebas.



Gambar 2.1: Ikatan kovalen silikon dalam dua dimensi

Energi yang diperlukan untuk memutus sebuah ikatan kovalen adalah sebesar 1,1 eV untuk silikon dan 0,7 eV untuk germanium. Pada temperatur ruang (300 °K), sejumlah elektron mempunyai energi yang cukup besar untuk melepaskan diri dari ikatan dan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi menjadi elektron bebas.

### 2.3.2 Semikonduktor Ekstrinsik (Tak Murni)

Si dan Ge merupakan salah satu contoh dari bahan semikonduktor. Jika suhu kedua bahan ini meningkat di atas suhu kamar maka kedua bahan ini akan bersifat konduktor. Sedangkan jika suhu kedua bahan tersebut turun menjadi di bawah suhu kamar maka nilai tahanannya meningkat dan jika sudah mencapai titik maksimal maka kedua bahan ini akan bersifat isolator. Terdapat 3 klasifikasi utama dalam elektronika yang sering dijumpai yakni: isolator, konduktor dan semikonduktor. Perbedaan mendasar ketiga jenis bahan adalah terletak pada tahanan jenis tiap bahan. Untuk isolator memiliki tahanan jenis ( $10^4 - 10^{14}$ )  $\Omega\text{m}$ , konduktor memiliki tahanan jenis ( $10^{-7} - 10^{-8}$ )  $\Omega\text{m}$ , semikonduktor memiliki tahanan jenis ( $10^{-3} - 3 \times 10^3$ )  $\Omega\text{m}$ .

Tabel 2.1 adalah contoh hambatan jenis dari bahan-bahan untuk isolator, konduktor dan semikonduktor.

Tabel 2.1: Hambatan Jenis

Konduktor	(Ohm-meter)	Isolator	(Ohm-meter)	Semikonduktor	(Ohm-meter)
Aluminium	$2,63 \times 10^{-8}$	Gelas	$10^{10} - 10^{14}$	Silicon	$2,3 \times 10^{-1}$
Karbon	$3500 \times 10^{-8}$	Mika	$10^{11} - 10^{15}$	Germanium	$4,5 \times 10^{-1}$
Tembaga	$1,72 \times 10^{-8}$	Kwarsa	$10^{18}$		
Perak	$1,47 \times 10^{-8}$	Kayu	$10^8 - 10^{11}$		
Wolfram	$5,51 \times 10^{-8}$	Kaca	$10^{12} - 10^{13}$		
Baja	$4,0 \times 10^{-7}$				

Pada bahan konduktor, ketika suhu meningkat maka tahanannya juga akan mengalami peningkatan, sedangkan pada bahan semikonduktor jika suhu pada semikonduktor meningkat maka tahanannya juga akan turun. Dari uraian yang telah dijelaskan di atas nilai tahanan pada bahan jenis isolator adalah yang tertinggi dari semua bahan, sehingga memiliki sifat yang kurang baik dalam menghantarkan arus listrik. Pada bahan konduktor nilai tahanan jenisnya adalah yang terendah sehingga sangat baik digunakan sebagai penghantar arus listrik. Semikonduktor memiliki nilai tahanan jenis berada diantara isolator dan konduktor, sehingga bahan semikonduktor memiliki dua sifat yang berbeda. Kedua sifat itu adalah semikonduktor dapat bersifat sebagai isolator maupun konduktor. Bahan semikonduktor banyak digunakan pada komponen aktif elektronika, misalnya pada dioda, transistor, OLED (*Organic Light-Emitting Diode*) dan IC (*Integrated Circuit*).

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Semikonduktor murni memiliki jumlah proton dan elektron seimbang tetapi jika ditambahkan bahan yang tidak murni, maka semikonduktor akan berubah menjadi tidak murni, proses ini dinamakan "*doping*". Proses *doping* dengan menambahkan bahan *antimony*, *arsenic* atau *phosphorus* yang memiliki kelebihan elektron pada semikonduktor murni, menyebabkan semikonduktor memiliki kelebihan elektron dan menjadikannya sebagai semikonduktor tipe-N. Proses *doping* menambahkan bahan *indium*, *aluminium* dan *boron* yang memiliki kelebihan proton menyebabkan semikonduktor memiliki kelebihan proton dan menjadikannya sebagai semikonduktor tipe-P.

Hasil kedua *doping* inilah yang digunakan pada komponen elektronika seperti pada diode dan transistor. Diode merupakan penggabungan 2 tipe semikonduktor tipe-N dan tipe-P, sedangkan transistor merupakan penggabungan 3 semikonduktor tipe-N, tipe-P dan salah satu dari tipe-N atau tipe-P, sehingga pada transistor bipolar terdapat 2 konfigurasi gabungan semikonduktor yaitu P-N-P atau N-P-N. Dalam elektronika kita tidak mungkin terlepas dari apa yang dinamakan bahan listrik.

### 2.3.3 Jenis Semikonduktor Ekstrinsik

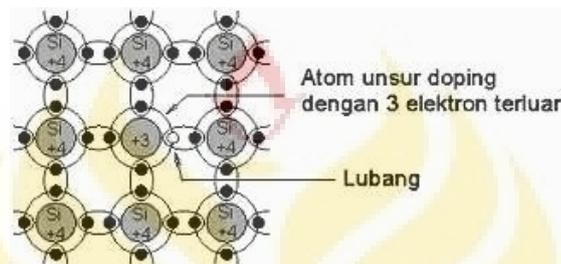
Semikonduktor ekstrinsik terdapat 2 tipe semikonduktor, yaitu semikonduktor tipe P dan semikonduktor tipe N. Semikonduktor tipe P adalah semikonduktor yang terdiri dari campuran atom-atom yang tidak memiliki elektron bebas dan bersifat menerima elektron. Misalnya unsur Ge bercampur dengan gallium (Ga). Pada semikonduktor jenis p, lubang (*hole*) bertindak sebagai muatan positif, oleh karena itu komponen ini sering disebut sebagai pembawa muatan minoritas.

Semikonduktor tipe N adalah semikonduktor intrinsik yang dicampur dengan atom lain sehingga menyebabkan kenaikan jumlah elektron negatif yang bebas, misalnya unsur silikon (Si) dengan arsen (As). Semikonduktor tipe N, lubang (*hole*) bertindak sebagai muatan negatif, oleh karena itu komponen ini sering disebut pembawa muatan minoritas, sedangkan elektron sebagai muatan positif disebut pembawa muatan mayoritas. Penggabungan semikonduktor tipe P dan semikonduktor tipe N pada komponen elektronika diantaranya adalah dioda dan transistor.

#### A. Semikonduktor tipe P

Semikonduktor tipe P diperoleh dari semikonduktor intrinsik yang mendapat pengotor dengan atom asing yang bervalensi 3, misalnya Al atau Ga. Karena perbandingan atom pengotor dengan atom asli sangat kecil, maka setiap atom pengotor hanya bervalensi 3, maka hanya menyediakan 3 elektron dalam ikatan kovalen, sehingga kekurangan (*hole*). Pengotoran ini menyebabkan meningkatnya jumlah *hole* (sebagai pembawa muatan mayoritas). Sedangkan pembawa muatan minoritasnya adalah elektron bebas yang terbentuk adalah elektron bebas yang terbentuk akibat suhu.

Semikonduktor ini memiliki pembawa muatan mayoritasnya *hole* bermuatan positif maka semikonduktor ini disebut tipe P. Jadi bukan berarti semikonduktor tipe P bermuatan positif, tetapi semikonduktor ini tetap netral. Karena atom pengotor menyediakan kekurangan elektron maka disebut aseptor. *Hole* mudah terisi elektron dan elektron pengisi meninggalkan *hole* baru dan seterusnya sehingga ada gerakan *hole*.



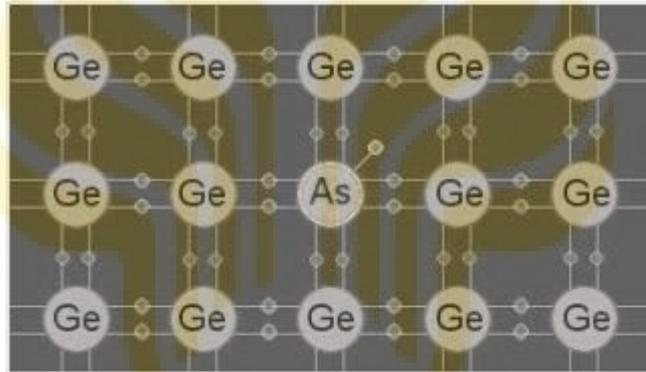
Gambar 2.2: Semikonduktor Tipe P

#### B. Semikonduktor tipe N

Semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor intrinsik yang mendapat *doping* atom-atom asing. Konsentrasi pengotoran ini sangat kecil, dengan perbandingan atom pengotor (asing) dengan atom asli berkisar antara 1 : 100 juta sampai dengan 1 : 1 juta. Tujuan ini adalah agar bahan mempunyai satu jenis pembawa muatan saja (elektron bebas atau *hole* saja) dan untuk memperbesar daya hantar listrik. Semikonduktor tipe N adalah semikonduktor ekstrinsik yang diperoleh dari semikonduktor intrinsik yang dikotori dengan atom asing yang bervalensi 5, seperti: As, Pb dan P.

Perbandingan atom pengotor dengan atom asli sangat kecil maka setiap atom pengotor dikelilingi atom asli. Elektron valensi yang ke 5 dari atom pengotor tidak terikat dalam ikatan kovalen sehingga menjadi elektron bebas. Bahan ini jumlah elektron bebas akan meningkat sesuai jumlah atom pengotornya sehingga elektron bebas menjadi pembawa muatan mayoritas dan *hole* menjadi pembawa muatan minoritas. Karena pembawa muatan mayoritasnya adalah elektron bebas, sedang elektron bebas bermuatan negatif maka semikonduktor yang terbentuk diberi nama semikonduktor tipe N.

Kotoran donor adalah suatu unsur pentavalen (unsur yang mempunyai 5 elektron valensi) yang dipakai untuk mengotori semikonduktor intrinsik sehingga menjadi semikonduktor tipe-N. Setiap atom kotoran donor membentuk empat ikatan kovalen dengan empat atom semikonduktor di sampingnya, menyisakan elektron kelima yang terikat lemah dan mudah berpindah jika ada medan listrik yang dikenakan. Elektron-elektron yang dimasukkan untuk mengotori semikonduktor murni dengan kotoran donor membuat tipe-N ini resistivitasnya rendah. Taraf pengotoran yang umum dalam semikonduktor adalah 0,01 ppm. Kotoran donor yang banyak dipakai adalah *fosfor*, *arsen* dan *antimon*.



Gambar 2.3: Semikonduktor Tipe N

Untuk meningkatkan jumlah elektron bebas di dalam Si kita memerlukan unsur yang ada 5 elektron valen seperti As. Apabila As ditambah ke dalam Si ia dinamakan *doping*. Selepas *doping* ikatan kovalen Si dan As, berlaku ikatan kovalen hanya boleh 4 elektron tetapi As ada 5 elektron. Oleh itu semikonduktor ini mempunyai 1 elektron bebas yang mempunyai ikatan yang sangat lemah. Disebabkan jumlah elektron lebih dari lubang (*hole*), maka disebut tipe N.

## Bab 3

# SEMIKONDUKTOR ORGANIK

## CuPc (*Copper Phthalocyanine*)

Material semikonduktor umumnya dimanfaatkan untuk bahan komposisi elektronika dan aplikasi sangat luas seperti pada divais *integrated circuit* (IC), transistor dan lain-lainnya. Sehingga saat ini dibutuhkan pengetahuan komposisi bahan semikonduktor dan akibat komponen teraliri arus listrik. Pengetahuan tentang bahan penyusun semikonduktor yang banyak dikembangkan pada saat ini dengan teknologi film tipis, sehingga tidak asing lagi tentang percampuran bahan semikonduktor tersebut atau *doping*. Pemahaman pengelompokan bahan, pengertian semikonduktor dan aplikasi komposisi semikonduktor tipe (P dan N) sangat penting. Teknologi semikonduktor dan pengembangan ke arah teknologi film tipis akan didapatkan divais (peralatan) yang makin praktis dan bersifat *mobile*.

### 3.1 Material *phthalocyanine*

Material *Phthalocyanine* telah menyita perhatian para peneliti terutama bidang piranti opto-elektronik dan *Organic Light Emitting Diode* (OLED). Dimana material semikonduktor organik *phthalocyanine* dapat digunakan sebagai *Hole Transport Layer* dan aplikasi sensor gas berbasis film tipis. *Phthalocyanine* merupakan keluarga dari turunan *Phorphyrin* yang stabil, mempunyai tingkat kesimetrian yang tinggi, planaritas dan delokalisasi elektron tinggi (Yin, 2001). Senyawa *phthalocyanine* mempunyai indeks bias kompleks yang bergantung pada fungsi panjang gelombang. Senyawa *phthalocyanine* mempunyai struktur kimia yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Struktur kimia senyawa turunan *phthalocyanine* (Yin, 2001)

Material semikonduktor organik *phthalocyanine* dan paduannya memiliki aspek potensi komersial yang sangat baik dan menawarkan beberapa aplikasi yang lebih unggul dibanding dengan semikonduktor silikon (Si). Material semikonduktor ini juga memperlihatkan adanya kepekaan yang sangat tinggi pada elektron akseptor gas dan absorpsi pada permukaan kristal yang diikuti oleh adanya reaksi transfer muatan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Zhou et al, 1996). *Phthalocyanine* merupakan logam kompleks yang sangat sesuai untuk divais (peralatan) sensor gas dan sangat sensitif terhadap gas NO<sub>2</sub> (nitrogen dioksida). Logam *phthalocyanine* (MPc) adalah material semikonduktor organik yang mempunyai kepekaan sangat tinggi terhadap akseptor elektron gas, seperti gas NO<sub>2</sub>. Untuk mendeposisikan lapisan (film) tipis dari material semikonduktor MPc metode yang paling banyak digunakan adalah penguapan pada vakum tinggi. Fakta menunjukkan bahwa material MPc mempunyai daya larut yang sangat rendah terhadap pelarut material organik.

Material semikonduktor organik telah dilakukan riset/ penelitian sejak tahun 1940. Setelah ditemukan material semikonduktor organik, kemudian dibuat suatu dioda berbasis molekul oleh Aviram pada tahun 1974. Hal inilah yang menyebabkan riset mengenai piranti organik berkembang semakin pesat. Piranti elektronika berbasis semikonduktor organik diproduksi dalam bentuk film tipis, karena material tersebut mempunyai rapat pembawa muatan yang kecil. Prinsip kerja dari piranti-piranti elektronik tersebut adalah adanya sambungan antara logam dan semikonduktor organik, sehingga ketika logam dan semikonduktor disambungkan terjadi proses perpindahan elektron dari logam menuju pada semikonduktor organik (Ishii et al, 1999).

Divais dengan prinsip kerja yang memanfaatkan sambungan logam dan semikonduktor antara lain: OFET, OLED dan OPV. Transistor efek medan organik (OFET) adalah transistor yang menggunakan semikonduktor organik, dimana sambungan antara logam semikonduktor dipengaruhi oleh efek medan listrik (Horowitz, 1998). OLED pertama kali ditemukan sekitar tahun 1987, dimana OLED (*Organic Light Emitting Diode*) atau dioda cahaya organik biasanya diproduksi dalam bentuk (*thin film*).

Bahan semikonduktor organik yang biasa digunakan dalam pembuatan OLED terdiri atas *small molecules* dan polimer. OLED ini digunakan sebagai layar televisi, komputer, layar *hand phone* dan lain-lainnya. Prinsip kerja OLED berbeda dengan LED, jika LED berdasarkan sambungan elektrik antara tipe (P dan N) dari material yang didoping, sedangkan *display* OLED menggunakan senyawa organik yang mengeluarkan cahaya apabila diberi arus listrik.

### 3.2 Material *Copper phthalocyanine* (CuPc)

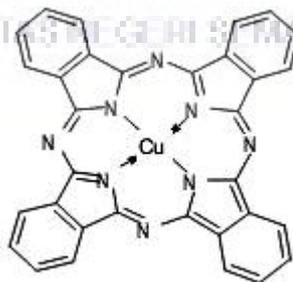
Substansi, berbagai nama lain dari zat kimia material semikonduktor organik CuPc (*Copper Phthalocyanine*) adalah (29H, 31H-*phthalocyaninato* (2-)-N29, N30, N31, N32). *Copper Phthalocyanine* (CuPc) juga dikenal sebagai material semikonduktor *monastral blue*, *phthalo blue*, *Helio blue*, *thalo blue*, *Winsor blue*, *phthalocyanine blue*, C.I. *pigment blue* 15:2, *copper phthalocyanine blue*, *copper tetrabenzoporphyrine*, Cu-*Phthaloblue*, PB-15, PB-36 dan C.I. 74160.

Banyak nama lain yang pada umumnya digunakan dari material semikonduktor organik CuPc (*Copper Phthalocyanine*) yang beredar di perdagangan dengan sinonim yang ada. Bahan *copper phthalocyanine* sering disebut sebagai CuPc, juga merupakan bahan utama yang digunakan dalam penelitian sel surya organik. Material CuPc (*Copper Phthalocyanine*) dapat dengan mudah diproses menjadi film tipis untuk digunakan dalam pembuatan perangkat elektronika dan divais lain yang sangat menarik (<https://en.wikipedia.org/wiki/CuPc>). Disamping itu senyawa *copper phthalocyanine* memiliki kegunaan dalam pengembangan komputasi kuantum karena durasi elektron dapat eksis dalam keadaan superposisi kuantum (Warner et al, 2013).

Dikarenakan kestabilannya material *phthalo blue* atau CuPc, maka dapat juga digunakan pada tinta, pelapis dan bermacam-macam plastik. Pigmen tersebut tidak dapat larut dan tidak memiliki kecenderungan untuk berubah dalam materi. Hal ini merupakan pigmen standar yang digunakan dalam tinta cetak dan industri kemasan. *Phthalo blue* disebut juga dengan nama *cool blue* (biru dingin) dan mempunyai bias terhadap warna hijau. Material *phthalo blue* memiliki kekuatan yang tinggi dan dengan mudah mengalahkan dalam campuran bila dikombinasikan dengan warna lain. Hal ini disebabkan material *phthalo* memiliki warna pewarnaan yang transparan dan dapat diaplikasikan dengan menggunakan teknik kaca. Produksi industri dari bahan ini mencapai 10.000 ton per tahun pada tahun 1980-1990s di Jepang sendiri (<https://en.wikipedia.org/wiki/CuPc>).

### 3.3 Struktur, reaktivitas dan sifat material *copper phthalocyanine* (CuPc)

Rumus molekul dari *phthalocyanine blue* (CuPc) adalah  $(C_{32}H_{16}N_8Cu)$  merupakan campuran yang kompleks tembaga dengan phthalosianin. Massa molekul adalah 576,08, titik leleh  $600\text{ }^{\circ}C$  (dengan dekomposisi), substansi yang praktis tidak larut dalam air (lebih besar dari  $0,1\text{ g}/100\text{ ml}$  pada  $20\text{ }^{\circ}C$ ), akan tetapi larut dalam asam sulfat pekat dan mempunyai Kepadatan adalah  $\sim 1,6\text{ g}/\text{cm}^3$ . Warna dari CuPc disebabkan karena  $\pi$   $\pi^*$ -transisi elektronik, dengan panjang gelombang maksimum  $\lambda_{max} \sim 610\text{ nm}$ . Senyawa material CuPc memiliki sifat kimia *non-biodegradable* dan tidak beracun untuk ikan maupun tanaman. Tidak ada bahaya tertentu yang berkaitan dengan senyawa *copper phthalocyanine* (CuPc). (<https://en.wikipedia.org/wiki/CuPc>).



Gambar 3.2: Struktur molekul CuPc (Puigdollers, 2006)

Material semikonduktor organik seperti *phthalocyanine* telah mendapatkan perhatian besar dalam beberapa tahun ini terutama sebagai detektor gas, komponen aktif sel surya, LED, *photovoltaik*, pewarna dan sistem optik penyimpan data (El-Nahass et al, 2006). CuPc merupakan semikonduktor organik yang menunjukkan sensitivitas yang sangat tinggi untuk mendeteksi gas seperti NO<sub>2</sub> dan Cl<sub>2</sub>. Pada bahan organik tingkat energi teratas yang ditempati elektron biasa disebut sebagai HOMO dan tingkat energi terbawah yang tidak ditempati elektron biasa disebut sebagai LUMO dengan lebar celah energi diantara keduanya. *Copper phthalocyanine* (CuPc) merupakan bahan semikonduktor organik yang mempunyai sifat sebagai semikonduktor tipe-p, dengan LUMO sebesar 3,5 eV dan HOMO sebesar 5,2 eV (Triyana, 2004). Pembuatan divais elektronika semikonduktor CuPc dapat dibuat lapisan tipis dengan menggunakan logam tertentu sebagai elektroda.

Pada permulaan OFET (*Organic Field Effect Transistor*) diproduksi dari bahan *polythiophene film* pada akhir tahun 1970. Dengan adanya bahan ini memungkinkan untuk mengawali adanya deposisi film tipis berbasis semikonduktor organik yang memiliki jarak molekul lebih kecil. Pada saat ini banyak variasi campuran semikonduktor organik yang dikarakterisasi untuk fabrikasi OFET dan sintesis material baru. Material organik paling banyak digunakan pada fabrikasi OFET adalah tipe *conjugated organic oligomers* dan *polymer* berbasis semikonduktor organik. *Polymer* dan molekul kecil telah digunakan sejak permulaan, dikarenakan menjanjikan keuntungan. Beberapa keuntungan semikonduktor organik jika dibandingkan semikonduktor inorganik berbasis Si, yakni ramah lingkungan, mudah dan murah dalam fabrikasi serta hemat operasionalnya. Kelemahan utama pada bahan tersebut adalah adanya unjuk kerjanya yang masih lebih rendah dari pada molekul kecil, maka perlu dilakukan riset untuk perbaikan.

Ketika terjadi perbedaan pembawa muatan, maka semikonduktor diklasifikasikan sebagai *P-type* dan *N-type*. Pada *P-type semiconductors* pembawa muatan mayoritas adalah lubang, sedangkan semikonduktor *N-type*, pembawa muatan mayoritas adalah elektron. Aplikasi riil semikonduktor organik paling banyak diteliti adalah *P-type*. Sedangkan *N-type* tidak banyak diteliti karena mobilitas efek medan relatif rendah. Disamping itu kepekaan terhadap udara dan embun kurang baik sehingga jarang untuk fabrikasi OFET. Dalam buku akan paparkan deposisi film tipis CuPc menggunakan vakum evaporator pada suhu ruang dan karakterisasinya dengan X-RD dan SEM.

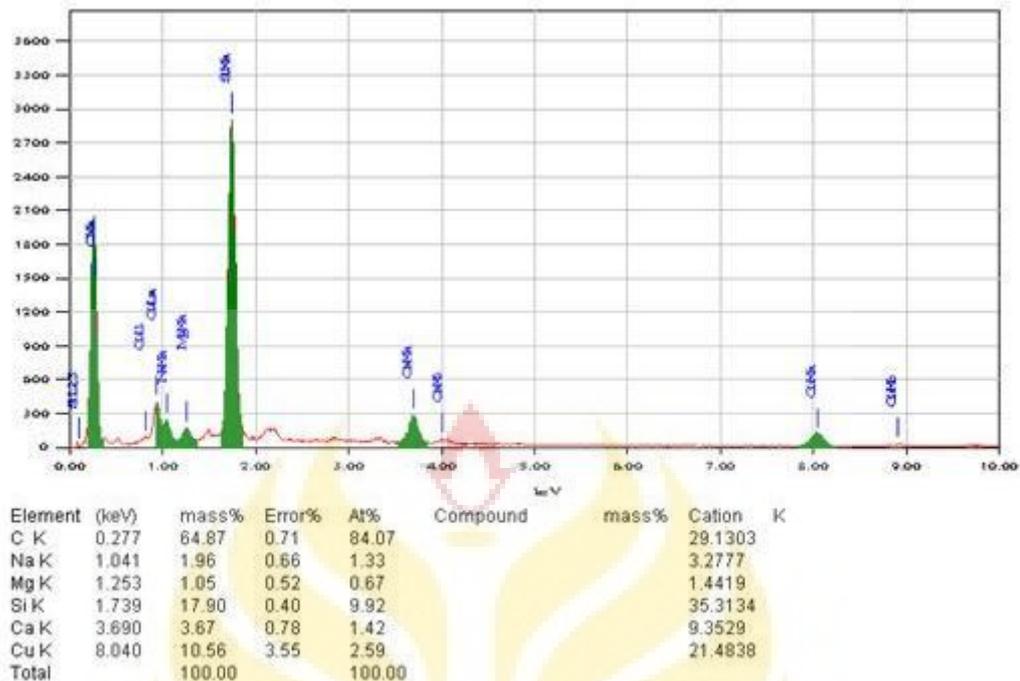
### 3.4 Kandungan unsur dalam CuPc

SEM- EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) merupakan 2 perangkat analisis yang digabungkan menjadi satu panel analitis sehingga mempermudah proses analisis dan lebih efisien. Pada dasarnya SEM-EDX merupakan pengembangan SEM. Analisa SEM-EDX dilakukan untuk memperoleh gambaran permukaan/ fitur material dengan resolusi tinggi hingga memperoleh tampilan permukaan sampel, kemudian dikomputasikan dengan *software* untuk menganalisis komponen materialnya, baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Daftar rangkuman fungsi yang berkontribusi pada operabilitas luar biasa SEM-EDX.

- 1). Menu Fungsi ini digunakan untuk mengatur secara bersamaan, menyimpan, dan mengingat parameter untuk analisis SEM dan EDX.
- 2). Kondisi pengukuran EDX dapat diatur dari Unit SEM.
- 3). *Image* data yang diperoleh dari SEM dapat digunakan sebagai data dasar untuk EDX.
- 4). Menetapkan kondisi untuk unit SEM secara otomatis dipindahkan ke unit EDX.

Pengambilan data dengan alat SEM-EDX, sampel bubuk yang telah diletakkan di atas *specimen holder* dimasukkan ke dalam *specimen chamber*, kemudian dimasukkan dalam alat SEM-EDX dan alat siap untuk dioperasikan. Dalam pengukuran SEM-EDX untuk setiap sampel dianalisis dengan menggunakan analisis area. Sinar elektron yang dihasilkan dari *area gun* dialirkan hingga mengenai sampel. Aliran sinar elektron ini selanjutnya difokuskan menggunakan *electron optic columb* sebelum sinar elektron tersebut menumbuk atau mengenai sampel. Setelah sinar elektron membentuk sampel, terjadi beberapa interaksi sampel yang disinari. Interaksi yang terjadi, selanjutnya akan dideteksi dan di ubah ke dalam sebuah gambar oleh analisis SEM dan juga dalam bentuk grafik.

Hasil analisa atau keluaran dari analisis SEM-EDX, yaitu berupa gambar struktur permukaan dari setiap sampel yang diuji dengan karakteristik gambar 3-D serta grafik. Grafik menunjukkan hubungan antara energy (keV) pada sumbu horizontal dengan cacahan pada sumbu pertikal. Dengan grafik ini dapat mengetahui unsur-unsur atau mineral yang terkandung di dalam sampel tersebut. Keberadaan unsur atau mineral tersebut dapat ditentukan atau diketahui berdasarkan nilai energi yang dihasilkan pada saat penembakan sinar elektron primer pada sampel.



Gambar 3.3: Hasil scanning elemental ED-X (Sujarwata dan Putut M, 2013)

Untuk mengetahui kandungan unsur dan senyawa material semikonduktor organik Cu-Pc, pengamatan SEM dilanjutkan dengan analisis *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (ED-X). Pengujian aspek kuantitatif dilakukan terhadap citra SEM dengan perbesaran 3000 x dan diperoleh grafik (Gambar 3.3) dan hasilnya disarikan pada (Tabel 3.1). Grafik di atas tampak unsur yang dominan adalah C, Si dan Cu dan S, sedangkan Na, Mg dan Ca kurang dominan.

Tabel 3.1: Kandungan unsur CuPc dari SEM EDX (Sujarwata dan Putut M, 2013)

Kandungan unsur dalam CuPc	Energi dalam (keV)	Perbandingan massa dalam (%)
C	0,277	64,87
Na	1,041	1,96
Mg	1,253	1,05
Si	1,739	17,90
Ca	3,690	3,67
Cu	8.040	10,56
		Jumlah =100

Tahap terakhir yaitu melakukan karakterisasi film tipis CuPc sebaga hasil deposisi menggunakan metode penguapan hampa udara pada suhu ruang. Karakterisasi film tipis CuPc dilakukan dengan menggunakan *Energy Dispersion Analysis for X-Ray* (EDAX), *X-Ray Diffraction* (X-RD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Data hasil dari EDAX dan XRD dianalisis untuk mengetahui penumbuhan film tipis di atas substrat dan orientasi kristal dari film tipis. Berdasarkan karakterisasi EDAX didapatkan data seperti diperlihatkan pada Gambar 3.3.

Berdasarkan pada gambar 3.3 terlihat besarnya jumlah persen berat (wt %) unsur penyusun dalam film tipis CuPc sebagai berikut: karbon (C) 28,24%, natrium (Na) 1,041% , magnesium 1,253 %, siliok (Si) 1,739 %, calsium (Ca) 3,690 % dan cuprum (Cu) 8,040 %. Penumbuhan film tipis CuPc sudah berhasil dilakukan terbukti adanya kandungan unsur Cu pada film tipis. Kandungan unsur karbon (C) lebih tinggi dibandingkan dengan unsur yang lain. Hal ini disebabkan karena dalam material CuPc unsur yang paling dominan adalah unsur C (Sujarwata dan Putut M, 2013).



## Bab 4

# DEPOSISI FILM TIPIS

Pengertian deposisi secara umum adalah suatu proses perubahan dari gas berubah menjadi padat dikenal sebagai (*desublimation*). Banyak orang menyebut deposisi dengan pengendapan atau pertumbuhan, sebenarnya ketiga istilah itu sama dalam pengertian proses yang dimaksud. Salah satu contoh proses pengendapan adalah proses seperti yang terjadi pada pembekuan udara, uap air berubah menjadi es langsung tanpa terlebih dahulu menjadi cairan. Sama halnya dengan proses terbentuknya salju di awan, serta salju dan embun berubah menjadi beku di tanah. Contoh lain adalah ketika es terbentuk pada daun yang juga disebabkan oleh deposisi. Untuk deposisi terjadi energi panas harus dikeluarkan dari gas. Ketika daun menjadi cukup dingin, uap air di udara sekitarnya daun kehilangan cukup energi panas berubah menjadi padat. Contoh lain dari deposisi fisik adalah proses pembuatan deposisi uap yang digunakan untuk deposit film tipis dari berbagai bahan ke berbagai permukaan.

*Technology Thin Film* (TFT) merupakan salah satu bagian dari teknologi proses mikro-elektronika/ nano-elektronika untuk fabrikasi komponen-komponen elektronika dan sensor secara *screen-printing*. Sejak pertengahan tahun 1960, teknologi proses film tipis (*thin film*) telah digunakan untuk meminiaturisasi suatu rangkaian elektronika ke dalam sebuah keping substrat, karena kemampuannya menghasilkan jalur konduktor yang sangat kecil. Teknologi *Thin Film* telah banyak digunakan secara luas dalam pengembangan sensor, sebagai contoh: sensor deteksi logam berat, sensor gas dan biosensor. Salah satu contoh aplikasi teknologi *thin film* untuk fabrikasi sensor gas beracun berbasis semikonduktor organik CuPc (Sujarwata dan Putut Marwoto, 2013).

Teknologi penumbuhan lapisan tipis (film tipis) sangat memberikan kontribusi yang signifikan pada pengembangan divais mikro-elektronika/ nano-elektronika dan opto-elektronika. Karakterisasi berbagai material, seperti metal, semikonduktor dan insulator, dianalisis dalam bentuk lapisan tipis. Pemahaman yang baik terhadap karakteristik material dalam bentuk lapisan tipis sangat dibutuhkan khususnya untuk mengembangkan peralatan elektronika yang saat ini telah didominasi oleh material berbentuk lapisan tipis. Untuk kebutuhan praktis, penyelidikan karakteristiknya dan pengembangan teknologinya terus dilakukan.

## 4.1 Metode deposisi film tipis

Metode deposisi film tipis, seperti: metode *spin coating*, mencelupkan bahan (*dipping*) dan sol-gel digunakan untuk mendeposisikan film tipis MPC (Maggioni, G, dkk, 2005). Material CuPc sebagai salah satu contoh dari MPC yang dapat dideposisikan dengan metode alternatif yang baru, yaitu metode deposisi *glow discharge-induced sublimation* (GDS) untuk meneliti aplikasi dari film tipis sebagai sensor gas. Saat yang lalu, bahan tersebut sedang dieksplorasi karakteristiknya sebagai sensor gas maupun sebagai semikonduktor aktif. Karena masih rendahnya mobilitas pembawa muatan, maka dalam bidang elektronika belum bisa diterapkan secara optimal.

Riset tentang lapisan tipis dikaitkan dengan pemanfaatan tenaga surya dan divais elektronika dalam berbagai teknologi terus dikembangkan. Berkaitan dengan teknologi itu maka perkembangan teknologi fabrikasi lapisan tipis dewasa ini juga berkembang sangat pesat, tentu saja dikaitkan dengan aplikasi teknologi untuk kebahagiaan kehidupan umat manusia. Beberapa terapan lapisan tipis tersebut seperti pada teknologi sel surya, Teknologi Laser, Teknologi deteksi sinyal, dan lain-lain. Dalam teknologi fabrikasi lapisan tipis secara global dapat dibedakan dalam dua kelompok (Ohring, 2002) yaitu *Physical Vapor Deposition* (PVD) dan *Chemical Vapor Deposition* (CVD).

### 1). Metoda *Physical Vapor deposition* (PVD)

Metoda PVD merupakan teknik deposisi dengan uap dan menggunakan adanya reaksi fisika, sebagai contoh:

- *Sputtering* (DC atau RF)

Merupakan pelepasan atom-atom dari permukaan target oleh *bombardier* partikel yang berenergi tinggi. Atom-atom dari permukaan target dapat terlepas akibat ion yang dipercepat menumbuk permukaan target melalui proses transfer momentum. Pada sistem *sputtering* model planar 2 elektroda (katoda dan anoda) dalam *vakum chamber* berada pada posisi berhadapan. Katoda dihubungkan dengan sumber RF (radio frekuensi) atau DC dengan tegangan negatif sedangkan anoda tegangan positif. Antara katoda dan anoda terbentuk medan elektromagnet yang berperan menginduksi gas-gas membentuk plasma.

- *Pulsed Laser Deposition* (PLD)

PLD merupakan teknik deposisi yang menggunakan laser sebagai sumber energi untuk mengevaporasi material yang berupa *bulk target*. Kendala utama yang muncul dari hasil deposisi dengan teknik *pulsed laser deposition* adalah munculnya partikel-partikel material (*particulate*) dengan ukuran yang bervariasi pada permukaan film, sehingga permukaan menjadi kasar (*rough*) yang dapat mengganggu pengembangan *heterostruktur*. Munculnya partikulasi pada permukaan film tersebut disebabkan oleh banyak faktor diantaranya, faktor kerapatan target yang rendah dengan permukaan target yang tidak rata, kerapatan energi laser yang terlampaui tinggi dan tekanan parsial gas yang terlampaui besar.

## 2). *Deposition Metoda Chemical Vapor Deposition* (CVD)

Dalam proses pembuatan rangkaian terintegrasi lapisan-lapisan silikon dioxide, silikon nitride, polysilikon dan lapisan epitaxi dibuat dengan alat CVD. CVD didefinisikan sebagai formasi lapisan substrat yang tidak rusak pembuatannya, menggunakan reaksi kimia pada phase uap mengandung bahan yang diperlukan. Metode yang dipaparkan dalam buku ini merupakan gambaran umum CVD yang telah banyak digunakan.

Metode CVD terjadi satu atau lebih gas yang bereaksi di permukaan untuk membentuk lapisan. Lapisan memiliki ketebalan dan komposisi yang *uniform* dan memiliki struktur serta kemurnian yang dapat diprediksi. Sehingga cara bereaksi, bahan-bahan dan perlindungan terhadap kontaminasi memerlukan penanganan baik pada CVD.

Metode CVD (*chemical vapour deposition*) sebagai salah satu metode sintesis karbon *nanotube* merupakan metode yang paling menarik untuk dilakukan dengan alasan lebih murah, mudah, dan kemungkinan aplikasi untuk skala yang lebih besar. Parameter-parameter CVD antara lain adalah sumber karbon dan penyangga katalis yang digunakan, selain temperatur, tekanan dan waktu reaksi. CVD merupakan metode deposisi dengan uap dan menggunakan proses reaksi kimia, contoh :

- *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD)

Metode deposisi MOCVD adalah salah satu metode deposisi yang memiliki beberapa keunggulan dalam bidang teknologi pembuatan film tipis (Jones and Brien, 1997). Pengontrolan terhadap aliran bahan yang diuapkan, sebagai bahan prekursor yang selanjutnya akan tumbuh membentuk film tipis, dapat dilakukan dengan mudah dan akurat sehingga stoikiometri film dengan baik dapat dikendalikan. Film yang terbentuk memiliki homogenitas yang tinggi. Temperatur penumbuhan yang digunakan relatif rendah dan dapat menumbuhkan film dengan ukuran yang luas dengan tingkat homogenitas yang tinggi (Lu dkk., 1995).

- *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD)

Reaksi CVD berlangsung pada temperatur tinggi untuk mengatasi energi aktivasi *reactan*. Temperatur tinggi akan merusak substrat, khususnya bagian-bagian metal. Sehingga lebih baik jika energi yang disuplai pada *reactan* lebih selektif, hal ini dapat dilakukan menggunakan plasma. Metoda efisien untuk memecahkan molekul-molekul gas menjadi lebih reaktif adalah dengan *rf plasma*. Dengan plasma *reactan* lebih reaktif dan bereaksi pada temperatur lebih rendah. Plasma dapat timbul pada tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer.

Film tipis Si *amorf terhidrogenasi* (a-Si:H) dideposisi dengan beberapa teknik, seperti rf dan dc *glow discharge*, *photo-CVD*, *ion-cluster beam* dan *sputtering*. *Radio frequency* (rf) *glow discharge* dan *photo-CVD* merupakan teknik deposisi film tipis a-Si:H yang umum digunakan dengan kualitas lapisan yang tinggi. Sistem deposisi plasma untuk Si *amorf* pertama kali dikembangkan oleh Chittick dengan sistem rf induktif, plasma terjadi akibat induksi kumparan (Street, 1991).

Pengembangan reaktor selanjutnya, digunakan konfigurasi dioda di mana plasma terbentuk di antara 2 elektroda sejajar. Sistem reaktor ini disebut *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD) atau *Glow Discharge*. Frekuensi gelombang radio yang digunakan adalah 13,56 MHz. Dalam proses deposisi, teknik PECVD melibatkan beberapa parameter yang mempengaruhi distribusi hidrogen dalam lapisan yang dipandang sebagai faktor yang menyebabkan terjadinya degradasi sifat listrik lapisan tipis *a-Si:H* (Santos dkk., 1991). Selain itu, beberapa reaksi fasa gas memungkinkan terbentuknya ikatan silang-silang yang tinggi dalam plasma rf dan tumbukan dari ion-ion berenergi tinggi sehingga menambah jumlah cacat dalam lapisan. Oleh karena itu diperlukan teknik baru untuk menumbuhkan material *a-Si:H* dengan kandungan hidrogen yang rendah.

- Metode *Low pressure Chemical Vapor* (LPCVD)

Metode LPCVD adalah salah satu dari metode penumbuhan (deposisi) dengan memanfaatkan proses pengendapan uap kimia tekanan rendah. Pada temperatur rendah ketebalan *boundary layer* menjadi bagian yang terpenting dalam pembentukan lapisan. Agar ketebalan *boundary layer* menjadi lebih tipis dapat dilakukan dengan menurunkan tekanan pada reaktor. Reaktor dengan tekanan yang rendah disingkat dengan *Low pressure Chemical Vapor* (LPCVD). Metode LPCVD memiliki beberapa keuntungan, diantaranya aliran gas dapat lebih *uniform* dan jumlah substrat yang dapat diproses bersamaan dapat lebih banyak sehingga produktivitas tinggi.

## 4.2 Metode Deposisi *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD)

Teknik deposisi MOCVD atau juga dikenal dengan OMVPE (*Organo-Metallic Vapor Phase Epitaxy*) berkembang lebih pesat karena dapat memproduksi lapisan tipis yang mudah dikontrol ketebalan film tipis, komposisi dan konsentrasi dopingnya. Disamping itu, MOCVD dapat beroperasi pada tekanan atmosfer (suhu ruang). MOCVD merupakan metode yang potensial untuk menumbuhkan struktur *multilayer* yang kompleks.

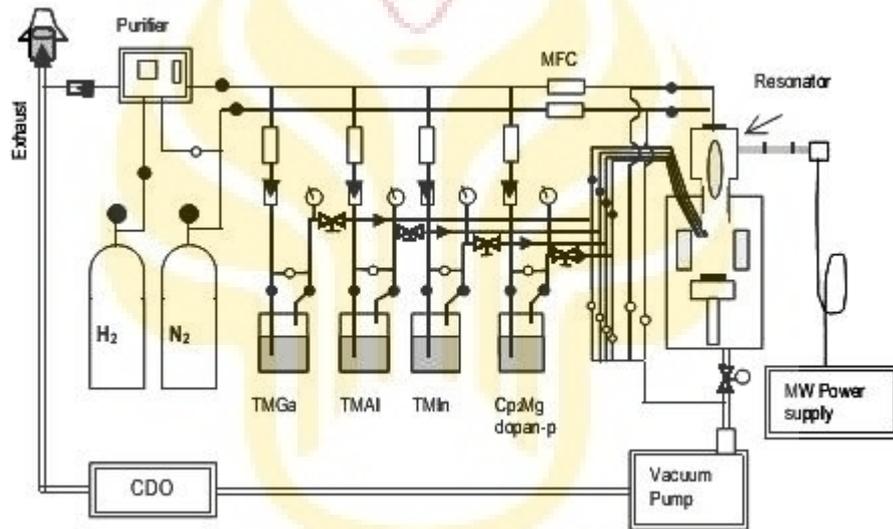
MOCVD merupakan teknik deposisi film tipis melalui reaksi kimia dalam fase uap dengan menggunakan bahan-bahan metal organik (trimethylgallium, trimethylaluminum, trimethylindium ,dsb). MOCVD juga biasa dikenal sebagai MOVPE ( *Metal Organic Vapour Phase Epitaxy*). Dalam *reactor* MOCVD bahan-bahan *metal organic* tersebut diurai melalui proses pirolisis menjadi gugus organik dan bahan *metal*.melalui proses pirolisis menjadi gugus organik dan bahan *metal*. Gugus organik tersebut dibuang melalui saluran pembuangan sedangkan bahan *metal*-nya dideposisikan atau dipadukan dengan bahan lain. Film tipis yang biasa dideposisikan dengan teknik MOCVD yaitu semikonduktor dan superkonduktor. Untuk semikonduktor bahan yang digunakan dapat berupa bahan paduan seperti paduan III-V , sebagai contoh: GaN, GaAs, GaSb dan sebagainya.

Deposisi film dengan *co-pirolisis* berbagai kombinasi senyawa metal organik dan hidrida dikenal MOCVD yang merupakan teknologi penting fabrikasi perangkat opto-elektronik dan *high speed elektronik*. Demonstrasi awal deposi dilaporkan pada tahun 1968 dan pada awalnya diarahkan menjadi senyawa semikonduktor setara deposisi teknologi "*Silicon on Sapphire*". Sejak itu, baik kepentingan komersial dan ilmiah sebagian besar telah diarahkan terhadap pertumbuhan epitaxial pada semikonduktor dari pada substrat isolator. Teknologi baru diciptakannya piranti, seperti: *laser*, *PIN photodetectors*, *solar sel*, *phototransistor*, *photocathodes*, FET dan JFET. Operasi efisien piranti film memiliki sifat bahan yang baik, termasuk kemurnian, efisiensi *luminescence* tinggi, dan *abrupt interface*. Selain itu, teknik ini telah digunakan pada hampir semua semikonduktor III-V dan II-VI dan paduan (*alloy*) dalam mendukung penelitian material.

#### 4.2.1 Metode PA-MOCVD

MOCVD (*Plasma-Assisted Metalorganic chemical Vapor Deposition*) merupakan metode secara epitaksi yang menjadi standar industri untuk produksi divais elektronika. Deposisi film GaN dengan MOCVD konvensional dilakukan pada temperatur  $\sim 1050$  °C sebab dekomposisi  $\text{NH}_3$  terjadi pada temperatur tinggi. Pada studi film GaN dideposisi dengan PA-MOCVD, dimana nitrogen reaktif dihasilkan oleh gas nitrogen yang dilewatkan *cracking cellse* hingga temperatur dapat direduksi menjadi (600-700) °C. Kondisi ini sangat menguntungkan saat deposisi *multilayer* untuk fabrikasi divais (Sugianto dkk, 2004).

Eksperimen tentang penumbuhan (deposisi) film tipis GaN diatas substrat *sapphire* (0001) dengan metode PA-MOCVD telah dilakukan oleh (Sugianto dkk, 2004). Skema sistem reaktor PA-MOCVD diperlihatkan pada (Gambar 4.1). *Cracking cell* berupa tabung *resonator tipe down-stream* (ASTeX) yang dihubungkan dengan pembangkit gelombang mikro 2,45 GHz dengan daya maksimum 250 watt digunakan untuk menghasilkan nitrogen reaktif dari gas N<sub>2</sub>. Daya yang digunakan dalam studi ini ditentukan 200 watt pada tekanan reaktor 0,5 Torr. Laju alir gas nitrogen ditentukan 90 sccm. Sebagai prekursor golongan III digunakan *trimethyl-gallium* (TMGa) dan hidrogen digunakan sebagai gas pembawa yang sebelumnya dilewatkan pada purifier sel *palladium*.



Gambar 4.1: Skema sistem reaktor PA-MOCVD (Sugianto dkk, 2004)

Subtrat dicuci secara ultrasonik dengan *acetone*, metanol dan *di-etsa* dengan larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>=1:3 pada temperatur 70 °C selama 10 menit. Kemudian dibilas dengan air-DI dan dikeringkan dengan gas nitrogen. Substrat segera dimasukkan dalam reaktor dan dilakukan *thermal cleaning* dengan plasma hidrogen pada temperatur 650 °C selama 10 menit. Proses penumbuhan diawali dengan penumbuhan lapisan penyangga GaN pada temperatur 470 °C dengan mengalirkan *trimethyl-gallium* (TMGa) 0,08 sccm dan gas N<sub>2</sub> = 90 sccm selama waktu tertentu. Hal ini dilakukan agar diperoleh ketebalan lapisan penyangga antara 0-40 nm (sebelumnya telah dilakukan studi penumbuhan lapisan penyangga dengan kondisi penumbuhan yang sama, laju penumbuhannya ~ 3 nm/menit).

Ketebalan lapisan penyangga diukur dengan *stylus-profilometer* DEKTAK IIA. Setelah penumbuhan lapisan penyangga, temperatur substrat dinaikkan sampai temperatur penumbuhan yang ditentukan (640 °C). Penumbuhan film tipis GaN secara rinci telah dijelaskan pada publikasi sebelumnya (Sugianto dkk,2000). Film GaN yang dihasilkan dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X untuk analisis struktur kristal dan besarnya konstantakisi film GaN untuk menentukan besarnya strain film GaN dengan *sapphire*.

#### 4.2.2 Metode *sol-gel spin-coating*

Eksperimen penumbuhan film tipis *gallium nitrida* (GaN) di atas substrat kristal tunggal Si (004) dengan metode *sol-gel spin-coating* telah dilakukan oleh (Heri Sutanto dkk, 2010). Lapisan tipis GaN ditumbuhkan (dideposisikan) dengan teknik *sol-gel spin-coating* menggunakan kristal *gallium-citrate-amine* sebagai prekursor Ga. Sedangkan sebagai sumber N digunakan gas N<sub>2</sub> yang direaktifkan melalui pemanasan pada suhu tinggi. Kristal *gallium-citrate-amine* yang berwarna putih, dihasilkan melalui proses preparasi *gel* dari larutan yang mengandung ion-ion Ga<sup>+3</sup> dan asam sitrat (*citric acid*). Kristal *gallium-citrate-amine* ini memiliki formula kimia (NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>[Ga(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>)<sub>2</sub>]4H<sub>2</sub>O. Riset ini menggunakan bahan untuk deposisi film adalah serbuk Ga<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang berbentuk serbuk. Selanjutnya dilakukan deposisi film tipis dengan prosedur sebagai berikut:

##### A. Preparasi kristal (*Ga-citrate-amine*)

Mekanisme/proses preparasi kristal (*Ga-citrate-amine* yang dilakukan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

- Material 2,16 g serbuk Ga<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dilarutkan dalam campuran HCl dan HNO<sub>3</sub> (1:1),
- Larutan campuran HCl dan HNO<sub>3</sub> (1:1) kemudian dinetralsir hingga memiliki nilai pH 7,5- 8 dengan cara menambahkan ammonium *hydroxide* secukupnya.
- Tahapan deposisi selanjutnya adalah larutan campuran HCl dan HNO<sub>3</sub> (1:1) yang sudah dinetralsir, kemudian ditambahkan 1,1 gr *citric acid* (CA) sehingga *rasio molar* dari Ga/CA adalah 1:1.
- Selanjutnya larutan ini diaduk (*stirred*) pada suhu 80 °C selama 2 jam, untuk mendapatkan kristal putih.
- Kristal ini kemudian dibilas dengan *aseton* dan disimpan dalam *vacuum desccator* untuk pengeringan.

- Kristal kering tersebut kemudian dilarutkan dalam *ethylenediamine* untuk mendapatkan larutan jernih (*clear*).
- Larutan ini (*gel*) kemudian digunakan untuk deposisi lapisan GaN dengan teknik *spin-coating* di atas substrat kristal tunggal Si (004).

#### B. Tahapan deposisi film tipis GaN dengan metode *sol-gel spin-coating*

Penumbuhan film tipis GaN di atas substrat kristal tunggal Si (004) SiO<sub>2</sub> dengan metode *sol-gel spin-coating* telah dilaksanakan oleh Sugianto dkk tahun 2004). Aktivitas ini merupakan usaha untuk mengembangkan film tipis berbasis material GaN, adapun langkah-langkah dalam proses penumbuhan film tipis sebagai berikut:

- Substrat kristal tunggal Si (004) diletakkan di atas *spin coater*
- Satu hingga dua tetes *gel* ditempatkan di atas substrat, dan substrat kemudian diputar dengan laju putaran sebesar 1100 rpm selama 1 menit.
- Lapisan yang diperoleh kemudian dikeringkan pada temperatur 150 °C di atas *hot plate* dan diikuti dengan proses dekomposisi pada temperatur 350 °C dalam *furnace* untuk mengeliminir komponen-komponen organik pada lapisan.
- Selanjutnya lapisan ditempatkan dalam sebuah *programmable furnace*.
- Temperatur *furnace* dinaikkan mencapai 1000 °C dari temperatur ruang dengan laju pemanasan sekitar 10 °C/menit dalam lingkungan gas nitrogen UHP 99,99% yang dialirkan secara konstan sebesar 100 sccm.
- Lapisan tersebut dipanaskan pada temperatur deposisi bervariasi: 800 °C, 900 °C, dan 1000 °C selama 2 jam dan kemudian didinginkan dengan laju pendinginan 10 °C/menit hingga temperatur ruang untuk mendapatkan lapisan kristal GaN.

#### 4.2.3 Metode *dc magnetron sputtering*

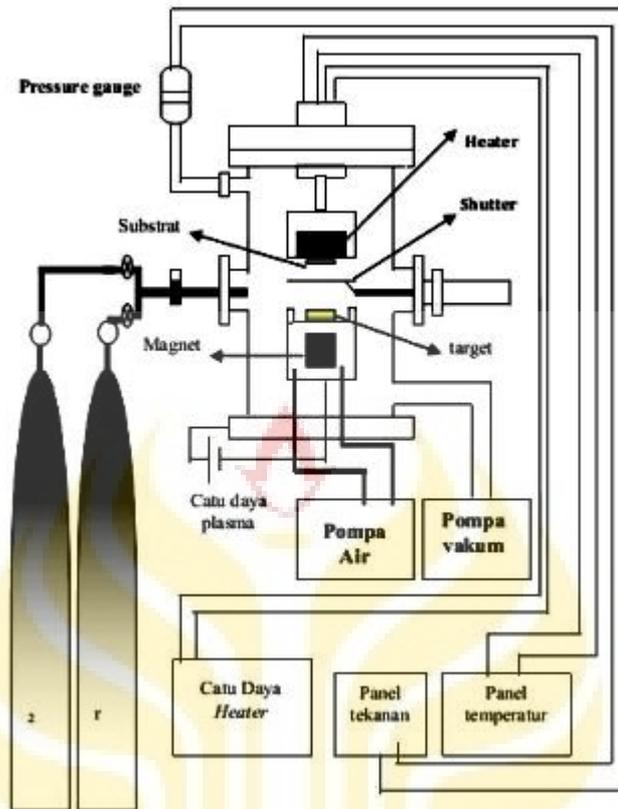
Teknik penumbuhan film tipis paling sederhana adalah dengan metode *dc magnetron sputtering*. Metode ini menggunakan catu daya searah (dc) tegangan tinggi yang menghasilkan medan listrik antara katoda dan anoda. Gas yang digunakan sebagai pembentuk plasma adalah gas argon. Gas argon mempunyai massa yang lebih berat dan mudah terionisasi dari pada gas lain, seperti Ne (*neon*) dan He (*helium*) (Purwaningsih, 2003).

Gas *argon* dan *nitrogen* yang mengalir melalui ruang diantara elektroda dipecah menjadi plasma yang mengandung suatu elektron ( $e^-$ ), ion Ar, ion dan atom. Ion positif Ar dan N dipercepat oleh medan listrik menuju elektroda negatif (katoda), sehingga ion-ion positif menumbuk atom-atom pada permukaan target yang dipasang di atas anoda. Ion-ion penumbuk memiliki energi yang sangat besar sehingga atom-atom yang terdapat permukaan target akan terlepas dari permukaan target terhambur ke segala arah. Atom-atom target yang terpental menempel pada permukaan substrat sehingga membentuk lapisan (film) tipis.

Untuk meningkatkan derajat ionisasi dan mencegah terjadi *resputtering* oleh elektron pada permukaan film tipis yang terbentuk, maka di bawah target dipasang magnet permanen untuk membuat perangkap elektron dengan medan magnet yang dihasilkan (Joshi, 2003). Proses *sputtering* menghasilkan panas pada daerah target akibat dari tumbukan antara ion-ion penumbuk dengan atom-atom permukaan target dan pengaruh pemanasan substrat dengan pemanas (*heater*).

Peralatan (divais) yang menggunakan dengan sistem magnet dialiri air pendingin dengan tujuan menjaga kekuatan magnet agar tidak hilang karena pengaruh panas selama proses penumbuhan (deposisi) film tipis. Kekuatan medan magnet ditentukan sesuai dengan jarak antara katoda dan anoda. Jika medan magnet terlalu besar maka akan menyebabkan radius garis gaya magnet mencapai permukaan substrat yang dapat merusak permukaan film tipis yang terbentuk. Jika medan magnet terlalu kecil radius garis gaya hanya melingkupi permukaan target.

Telah ditumbuhkan film  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  di atas substrat Si menggunakan *dc magnetron sputtering (home made)*. Parameter deposisi film tipis yang divariasikan dalam pembuatan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  adalah daya plasma. Proses penumbuhan film tipis dilakukan selama 3 jam. Struktur kristal film tipis dipelajari dengan menggunakan analisis difraksi sinar X (XRD) dan SEM. Hasil difraktogram XRD dibandingkan dengan data JCPDS untuk mengidentifikasi struktur kristal yang tumbuh. Film tipis yang ditumbuhkan dengan daya plasma 20,15 W dan 24,10 W teramati puncak difraksi bersesuaian dengan orientasi bidang (201) yang menunjukkan lapisan tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  memiliki struktur monoklinik dan intensitas tertinggi bersesuaian dengan orientasi bidang (400) pada fase kubik.



Gambar 4.2: Sistem reaktor *dc magnetron sputtering* (Sulhadi, 2010)

Pada citra SEM dengan perbesaran 10.000 kali teramati bahwa film tipis yang ditumbuhkan dengan daya plasma 20,15 W mempunyai morfologi yang lebih rata. Kondisi tersebut dikarenakan atom-atom yang menempel pada substrat ada yang terlepas terlebih dahulu sebelum datang atom-atom yang tersputter dari target. Hal ini sebagai konsekuensi laju atom yang menuju substrat relatif rendah karena ditumbuhkan pada daya plasma yang juga relatif rendah (sulhadi, 2010).

Penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3 : \text{ZnO}$  dilakukan dengan reaktor *dc magnetron sputtering* dengan skema seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2. Proses penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dengan teknik *dc magnetron sputtering* dilakukan dengan mekanisme, diawali dengan pembuatan target berupa pellet  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dari serbuk  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  (99,999%) produksi STREM Ltd., Adapun rutan proses penumbuhan film tipis adalah sebagai berikut:

- 1). Penggerusan, pemadatan, *sintering* pada 900 °C selama 3 jam.

- 2). Preparasi substrat yang meliputi pemotongan dan pencucian substrat dengan *aseton* dan *metanol* dalam *ultrasonic bath* masing-masing selama 10 menit. Kemudian dicelup dalam larutan HF 10% selanjutnya dikeringkan dengan semprotan gas nitrogen yang dilanjutkan penumbuhan film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan menggunakan reaktor *dc magnetron sputtering* di Laboratorium Fisika UNNES.
- 3). Sebelum deposisi dimulai, reaktor divakumkan dengan aliran nitrogen. Memvakumkan tabung reaktor plasma dengan pompa rotari hingga mencapai tekanan 10<sup>-3</sup> mTorr.
- 4). Proses penumbuhan dilakukan selama 3 jam.

Langkah yang dilakukan untuk deposisi film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah sebagai berikut:

- Memasang target Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada katoda dan substrat Si (111) yang telah dibersihkan pada anoda. Memvakumkan tabung reaktor plasma dengan pompa rotari hingga mencapai tekanan 10<sup>-3</sup> mTorr.
  - Mendinginkan bahan target dengan sistem aliran pendingin air difusi dan memanaskan substrat pada suhu 650 0°C dengan sistem pemanas pada anoda.
  - Mengalirkan gas argon ke dalam tabung reaktor plasma hingga mencapai tekanan kerja (operasi) yang diinginkan, yaitu 550 mTorr.
  - Menghidupkan sistem tegangan tinggi DC, selanjutnya mengatur tegangan pada nilai yang diinginkan.
  - Melakukan pendeposisian dengan memvariasikan daya plasma.
- 5). Deposisi film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan doping ZnO dengan memvariasikan daya plasma (20,15 watt sampai dengan 51,39 watt). Struktur film tipis hasil deposisi dengan teknik *dc magnetron sputtering* selanjutnya dianalisis menggunakan XRD dan SEM.

#### 4.2.4 Metode *Glow Discharge-Induced Sublimation* (GDS)

Dalam buku ini dijelaskan tentang deposisi film tipis berbasis semikonduktor CuPc (*copper phthalocyanine*) dengan metode *Glow Discharge-Induced Sublimation* (GDS) agar mudah diaplikasikan untuk riset. Sifat fisik film tipis yang didepositkan dikaji dengan spektroskopi FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) dan pengukuran *pyisorption nitrogen*. Interaksi antara gas dan film tipis yang didepositkan diuji dengan mengukur respon IR dan konduktivitas listrik pada NO<sub>2</sub> dan NO yang berisi atmosfer (Maggioni, G. et al, 2005).

### A. Tujuan aplikasi metode *Glow Discharge-Induced Sublimation* (GDS)

Tujuan metode ini adalah untuk melakukan deposisi film tipis CuPc (*copper phthalocyanine*) dengan sarana alternatif yang lain. Metode deposisi film tipis yang berbasis plasma baru-baru ini banyak dikembangkan, bernama *Glow Discharge-Induced Sublimation* untuk menginvestigasi penerapan deposisi film tipis pada aplikasi sensor gas. Seperti ditunjukkan dalam deposisi *monomer precursor polyimide* (Maggioni, G. et al, 2005) dan *3-hydroxyflavone* (Maggioni, G. et al, 2001), mengungkapkan perbedaan sifat fisik film tipis antara metode GDS dengan deposisi film tipis dengan sistem penguapan hampa udara.

Perbedaan utama metode GDS CuPc dengan evaporasi disebabkan akibat pengaruh plasma yang bisa mengionisasi molekul organik yang disublimasikan, hal ini terjadi karena adanya tabrakan antara elektron dan ion plasma. Oleh karena itu sifat-sifat film tipis GDS CuPc dibandingkan dengan standar sampel yang dideposisikan dengan metode penguapan vakum (*vacuum evaporator*). Struktur kimia dari film tipis didepositkan dipelajari melalui analisis FT-IR dan digunakan teknik pengukuran *nitrogen physisorption* untuk mempelajari porositas film tipis hasil deposisi.

Untuk menguji respon gas hasil deposisi metode VE dengan GDS adalah: *on /off* pengukuran sampel tidak dioptimalkan yang ditunjukkan oleh paparan NO<sub>2</sub> dan campuran berisi gas NO. Pengujian tanggapan IR film tipis yang dideposisikan dengan campuran NO<sub>2</sub> + NO pada konsentrasi 2500 ppm untuk menentukan apakah interaksi gas dengan film menimbulkan ikatan stabil dan penurunan respon sensor. Selain itu perubahan konduktivitas listrik diukur pada campuran N<sub>2</sub> + NO<sub>2</sub> 10 ppm dan N<sub>2</sub> + NO 100 ppm.

### B. Proses deposisi film tipis CuPc dengan metode GDS

Adapun proses deposisi film tipis berbasis semikonduktor CuPc (*copper phthalocyanine*) dengan metode GDS adalah sebagai berikut:

1. Substrat (*wafer silikon*) yang dipasang pada sample (*holder*) dan dilatetakkan 7 cm di atas sumber.
2. Deposisi film tipis terdiri dari ruang vakum yang dievakuasi dengan tekanan  $10^{-4}$  Pa.

3. Adapun perangkat yang digunakan untuk mempertahankan debit cahaya adalah *1-in cylindrical magnetron sputtering* yang sumbernya terhubung dengan generator listrik berfrekuensi radio (600 W, 13,56 MHz).
4. Serbuk CuPc (750 mg, kemurnian 99,5%; *Acros Organics*) dimasukkan pada permukaan target aluminium dan ditempatkan pada sumber *sputtering*.
5. Gas yang diumpankan adalah gas argon (99.9999%), yang tekanannya diukur melalui alat pengukur kapasitansi.
6. Nilai umum daya RF, target bias DC yang mandiri dan tekanan kerja berada di dalam rentang, masing-masing: 10-20 W, -20 hingga -300 V, dan 5,0 Pa.

### C. Eksperimen

Ketebalan film tipis hasil VE dan GDS, masing-masing: 0,8  $\mu\text{m}$  dan 4,5  $\mu\text{m}$ . Analisis spektroskopi inframerah dilakukan dengan spektromete FT-IR Jasco 660 (pada rentang (4000- 400 )  $\text{cm}^{-1}$ , resolusi 4  $\text{cm}^{-1}$  ). Eksperimen *nitrogen physisorption* dilakukan pada suhu 77 °K dengan peralatan dari *micromeritics sorptometer* ASAP 2010. Dari serbuk CuPc diperoleh endapan lapisan dari metode deposisi VE dan GDS dengan menerapkan tekanan gas di bawah 1,3 Pa dan suhu 25 °C. Luas permukaan spesifik (*Specific Surface Area/ SSA*) dihitung dengan persamaan BET (*Brunauer-Emmett-Teller*) dalam interval  $0,05 \leq p/p_0 \leq 0,33$ , dengan kuadrat terkecil sesuai dengan 0,998. Dimana p dan  $p_0$  adalah tekanan keseimbangan dan tekanan saturasi *adsorbates* pada suhu adsorpsi. Metode BJH (*Barrett-Joyner-Halenda*) diterapkan untuk memperkirakan distribusi ukuran pori.

Berbagai metode, teori dan persamaan telah dikembangkan, antara lain metode *Langmuir* dan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET). Keduanya digunakan untuk menentukan *Specific Surface Area* (SSA) padatan data adsorpsi isoterm gas. SSA merupakan salah satu parameter penting yang menentukan kualitas padatan berpori. SSA merupakan parameter yang menggambarkan kapasitas adsorpsi suatu adsorben. Pada bidang katalisis, SSA merupakan gambaran banyaknya situs aktif yang ada pada permukaan katalis yang menentukan sifat katalitiknya. Pada elektroda sel elektrokimia, *Specific Surface Area* berhubungan dengan banyaknya transfer elektron yang terjadi pada daerah antarmuka.

Pada awal perkembangan metode dan teori adsorpsi isoterm, data mengenai luas permukaan spesifik sudah cukup sebagai ukuran kualitas padatan berpori. Akan tetapi data tentang luas permukaan spesifik tidak cukup rinci untuk menerangkan dari sifat adsorpsi padatan. Ukuran dan distribusi pori sekarang menjadi target yang utama sintesis material berpori. Telah dikenal metode baru untuk pengolahan data adsorpsi isoterm yang dapat digunakan tidak hanya terbatas penentuan luas permukaan padatan, akan tetapi juga mampu menghitung volume dan luas permukaan pori, luas permukaan eksternal dan distribusi pori.

Metode perbandingan (*t-plot* dan  *$\alpha s$ -plot*) berhasil mendapatkan luas permukaan spesifik pori, luas permukaan eksternal, diameter dan volume pori pada material mikropori dan mesopori. Penentuan distribusi mesopori biasa digunakan metode BJH yang disusun berdasarkan atas konsep kondensasi kapiler dengan persamaan Kelvin dan faktor koreksi dari ketebalan statistik *multilayer*.

BET merupakan singkatan dari nama-nama ilmuwan yang menemukan teori luas permukaan pada suatu material. Ilmuwan tersebut adalah Brunauer, Emmet dan Teller. Teori *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) bertujuan untuk menjelaskan adsorpsi fisik molekul gas pada permukaan padat dan berfungsi sebagai dasar teknik analisis penting untuk mengukur luas permukaan spesifik dari suatu material. Pada tahun 1938, Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett dan Edward Teller menerbitkan artikel pertama tentang teori BET dalam *Journal of American Chemical Society*.

Tanggapan film tipis FT-IR yang diendapkan dengan paparan gas dan diukur dengan menggunakan campuran gas  $N_2 + NO_2$  dengan konsentrasi 500 ppm. Setelah dilakukan evakuasi pada sel sampel, selanjutnya spektrum dikumpulkan sebelum paparan gas masuk, selama 10 menit dengan tekanan total  $10^5$  Pa dan kemudian dilakukan evakuasi sel selama 15 jam. Film-film juga terekspos oleh campuran gas  $N_2 + NO$  dengan konsentrasi 100 ppm, akan tetapi fitur IR dari kedua sampel tersebut tidak mengalami perubahan sama sekali. Pengukuran elektrik dilakukan dengan peralatan elektrometer (*Keithley Instruments, Model 237*). Elektroda emas persegi panjang sebanyak 20 dipasang paralel dan berjarak 0.57 mm satu sama lainnya diupayakan pada kaca kuarsa dan kemudian film CuPc diendapkan diatas sampel.

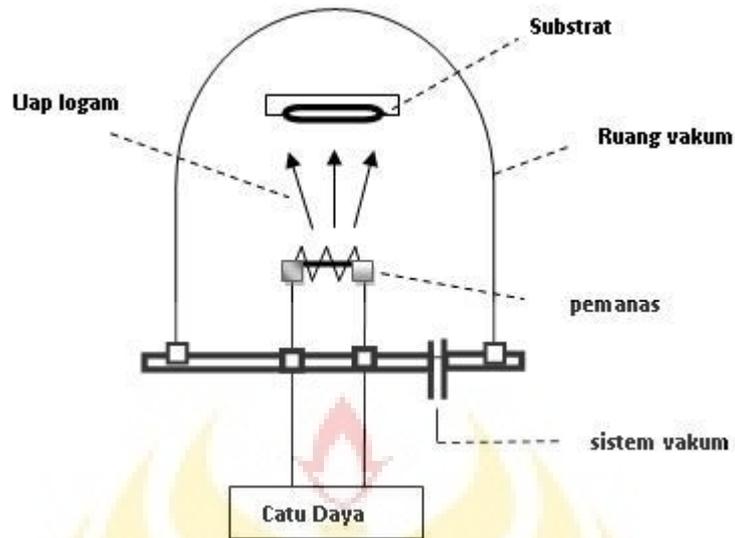
Sampel CuPc diletakkan dalam ruang pengukuran yang bertekanan  $10^5$  Pa dan dialiri dengan tetap gas  $N_2$  selama 1 jam. Selama proses, pemanas keramik digunakan untuk meningkatkan suhu sampel hingga  $150$  °C. Kemudian dialiri campuran gas  $N_2$  secara bergantian oleh salah satu dari  $N_2 + NO_2$  10 ppm atau  $N_2 NO$  100 ppm selama sekitar 20 menit. Sesudah itu, *chamber* (ruangan) menjadi terlihat memerah dengan aliran nitrogen murni selama sekitar 3 jam. Selama seluruh proses, konduktivitas film tipis yang tercatat sebagai fungsi dari waktu pada tegangan tetap (10 V). Semua pengukuran dilakukan tanpa iradiasi cahaya (*dark measurements*).

#### D. Perbedaan hasil deposisi film tipis antara metode GDS dan VE

*Glow Discharge-Induced Sublimation* (GDS) telah digunakan deposisi film tipis *copper phthalocyanine* (CuPc). Struktur film GDS berbeda dengan sampel dari evaporasi dan terdiri dari campuran fase  $\alpha$  dan  $\beta$ . Pengukuran *nitrogen physisorption* menekankan pada morfologi film GDS yang lebih banyak berpori dibandingkan dengan yang ada pada film tipis VE, yang menjadikan lapisan ini sangat menarik untuk aplikasi sensor gas. Analisis sampel FT-IR dari  $NO_2$  terekspos menunjukkan bahwa film GDS akan diserap oleh  $NO_2$  dan gas ini berinteraksi dengan elektron  $\pi$  cincin benzena dari molekul CuPc. Selain itu, reversibilitas yang hampir lengkap berkaitan dengan interaksi  $NO_2$ / CuPc ditunjukkan oleh lapisan film GDS adalah pemikiran yang baik untuk menggunakan sampel untuk aplikasi sensor gas.

#### 4.2.5 Metode penguapan hampa udara *vacuum evaporator* (VE)

Metode vakum evaporasi (VE), yaitu: material ditempatkan pada (*chamber*) dengan logam yang digunakan sebagai sumber pelapis (Gambar 4.3). Tahapan proses evaporasi: mula-mula *chamber* divakumkan sampai tekanan tertentu, kemudian diikuti dengan pemanas logam pelapis. Atom-atom akan menguap pada permukaan logam. Ketika sampai permukaan logam, material memiliki suhu rendah, atom-atom logam terkondensasi dan membentuk film tipis dipermukaan material (Mikrajuddin Abdullah dan Khairurrijal, 2010). Agar proses berlangsung efisien, maka logam pelapis harus memiliki titik leleh yang lebih rendah.



Gambar 4.3: Metode evaporasi

Buku ini penulis memaparkan metode deposisi film tipis menggunakan bahan CuPc berbentuk serbuk dan berwarna biru. Selain metode deposisi juga diuraikan tentang hasil deposisi film tipis dan karakterisasi menggunakan X-RD/SEM. Adapun alat yang digunakan untuk deposisi film tipis CuPc adalah *Model JEOL JEE-4X* (Gambar 4.4).



Gambar 4.4: Vakum evaporasi (VE) *Model JEOL JEE-4X*

Deposisi film tipis CuPc diatas substrat SiO<sub>2</sub> dilakukan dengan metode penguapan hampa udara pada suhu ruang dan kehampaan tinggi sekitar (8 x10<sup>-4</sup>) Pa. Selanjutnya dilakukan deposisi film tipis dengan prosedur sebagai berikut:

a) Preparasi sampel.

b) Proses deposisi film tipis CuPc

Deposisi film tipis CuPc diatas substrat dilakukan dengan metode penguapan hampa udara pada kehampaan tinggi dan pada suhu ruang. Pada alat *vacuum evaporator* (VE), terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik film tipis, yaitu: tekanan, arus, waktu dan massa material yang akan dideposisikan. Dalam buku ini akan dijelaskan deposisi film tipis CuPc dengan arus pada alat *vacuum evaporator*.

c) Metode deposisi film tipis CuPc yang dilakukan dengan membuat variasi arus pada alat VE, adapun tahapannya sebagai berikut: Material semikonduktor dengan massa tertentu dimasukan ke dalam *boat* dan ditimbang dengan neraca *Ohaus*. Selanjutnya sampel dimasukan dalam *bell-jar* (ruang evaporasi). Substrat yang telah dibersihkan, kemudian dipasang pada *holder* tepat di atas *boat* yang berisi material. Pada VE untuk deposisi film tipis divakumkan sehingga tekanannya turun pada nilai tertentu sesuai dengan yang dibutuhkan. Eksperimen awal, melakukan deposisi film tipis dengan metode *vacuum evaporator* selama 30 menit dengan menerapkan arus pada alat VE sebesar 35 A. Sampel yang sudah terdeposisi disimpan dalam wadah kaca yang vakum. Proses deposisi yang telah dilakukan diulangi dengan variasi arus.

### 4.3 XRD (*X-ray diffraction*)

Sinar X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Conrad Rontgen tahun 1895. Karena asalnya tidak diketahui waktu itu maka disebut sinar-X. Sinar-X digunakan untuk tujuan pemeriksaan yang tidak merusak material maupun manusia. Disamping itu, sinar X dapat juga digunakan untuk menghasilkan pola difraksi tertentu yang dapat digunakan dalam analisis kualitatif dan kuantitatif material. *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan salah satu analisis *non-destruktif* yang penting untuk menganalisis semua jenis materi, mulai dari cairan, serbuk dan kristal. Mulai dari penelitian, produksi sampai rekayasa, XRD merupakan metode yang diperlukan untuk karakterisasi bahan dan kontrol kualitas.

Spektroskopi difraksi sinar-X (*X-ray diffraction*) merupakan salah satu metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraktometer menggunakan prinsip difraksi. Ada 3 jenis difraktometer yang dikenal. Penamaan difraktometer ini ditentukan oleh sumber radiasi yang digunakan yaitu difraktometer *neutron*, sinar-x dan elektron. Elektron dan neutron dapat digunakan untuk menghasilkan pola difraksi. Meskipun elektron, neutron, dan hamburan sinar-X didasarkan pada proses fisik yang berbeda, pola difraksi yang dihasilkan dianalisis menggunakan teknik difraksi pencitraan koheren sama.



Gambar 4.5: *Diffractometer* ([https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray\\_Diffraction](https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction))

#### A. *X-Ray Diffraction* instrumen

*X-Ray Diffraction* instrumen dirancang untuk aplikasi pengukuran *microstructure*, pengujian dan penelitian. Berbagai aksesori, pengendalian perangkat lunak dan perhitungan dipilih untuk difraksi yang sesuai sistem dan kebutuhan praktis. *X-ray* difraksi instrumen menyediakan satu analisis struktur kristal, *polycrystalline* dan *amorphous* sampel. Analisis kualitatif dan kuantitatif (RIR, internal standar kalibrasi, standar kalibrasi eksternal, kriteria tambahan), pola pengindeksan, perbaikan sel, *crystallite* ukuran, penetapan *strain*, profil dan struktur perbaikan, penetapan sisa *stres*, analisis tekstur, *crystallinity* memperkirakan daerah puncak dan analisis film tipis.

#### B. *X-ray powder diffractometer*

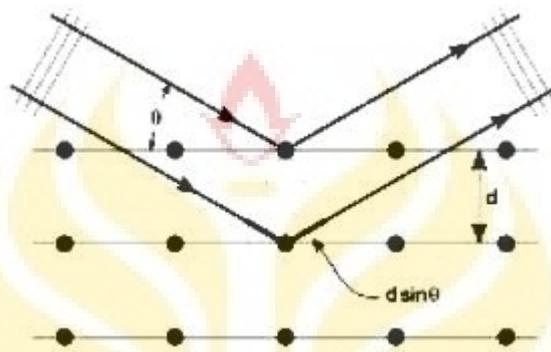
*X-ray powder diffractometer* utamanya dipergunakan untuk identifikasi tahapan dalam bentuk serbuk. *An x-ray beam* yang dikenal panjang gelombang adalah difokuskan pada bubuk sampel dan *x-ray* difraksi puncak dihitung menggunakan detektor *germanium*, *the d-spacing* dari pengamatan difraksi puncak dihitung menggunakan Bragg Hukum. *Scintag Pad V* otomatis bubuk *diffractometer* menggunakan *Cu x-ray* tabung filter dengan variabel, empat sampel *changer* dan kebisingan yang rendah, efisiensi tinggi, cair *nitrogen* didinginkan oleh *germanium detector*. *Goniometer* yang bersifat otomatis dan paket perangkat lunak sudah berjalan dari PC yang menjalankan Windows NT 4. Sejumlah *Scintag* paket perangkat lunak yang tersedia digunakan untuk rutin bubuk difraksi akuisisi data, faktor koreksi dan identifikasi puncak.

#### 4.3.1 Prinsip kerja XRD (*X-ray diffraction*)

Sinar-X adalah suatu gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang (0,5 sampai dengan 2,0) mikron. Sinar-X ini dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron yang berenergi tinggi. Elektron itu mengalami perlambatan saat masuk ke dalam logam dan menyebabkan elektron pada kulit atom logam tersebut terpental membentuk kekosongan. Elektron dengan energi lebih tinggi masuk ke tempat kosong dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X. Metode difraksi sinar X digunakan untuk mengetahui struktur dari lapisan tipis yang terbentuk. Sampel diletakkan pada sampel *holder diffractometer* sinar X.

Proses difraksi sinar-X (*X-ray diffraction*) dimulai dengan menyalakan difraktometer sehingga diperoleh hasil difraksi berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi  $2\theta$  dengan intensitas sinar-X yang dipantulkan. Untuk difraktometer sinar-X, sinar-X terpancar dari tabung sinar-X. Sinar-X didifraksikan dari sampel yang konvergen yang diterima *slit* dalam posisi yang simetris dengan tanggapan (*respon*) ke fokus sinar-X. Sinar-X ini ditangkap oleh detektor sintilator dan diubah menjadi suatu sinyal listrik. Sinyal listrik tersebut, setelah dieliminasi komponen noisenya, kemudian dilakukan perhitungan sebagai analisa pulsa tinggi. Teknik difraksi sinar-x juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama.

Komponen utama XRD yaitu terdiri dari tabung katoda (tempat terbentuknya sinar-X), sampel *holder* dan detektor. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut  $2\theta$ . Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu.



Gambar 4.6: *Difraksi sinar x* ([https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray\\_Diffraction](https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction))

Seberks sinar-X dikenakan pada permukaan material, maka akan terjadi fenomena difraksi gelombang yang memenuhi hukum Bragg :

$$2 d \sin \theta = n\lambda$$

Dengan  $n$  bilangan bulat 1,2,3,...,  $d$  adalah tetapan Bragg, yaitu jarak antara bidang,  $\theta$  (sudut hamburan) dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X. Material berstruktur Kristal, maka hamburan difraksi akan dilakukan oleh atom-atom pada barisan teratas dan jajaran dibawahnya. Keadaan ini akan membentuk pola interferensi yang saling menguatkan untuk sudut-sudut yang memenuhi hukum Bragg.

Gejala ini teramati dalam bentuk grafik karakteristik spektrum intensitas sebagai fungsi sudut  $2\theta$ . Difraksi sinar-X oleh atom-atom kristal dapat diibaratkan sebagai pemantulan sinar-X oleh sekelompok bidang-bidang paralel dalam kristal. Dengan mengukur  $\theta$ , jarak antara bidang-bidang tersebut untuk kristal (Mikrajuddin Abdullah dan Khairurrijal, 2010), yaitu  $d_{hkl}$  dapat ditentukan dari hubungan berikut:

$$\frac{1}{d_{hkl}} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (4.1)$$

Keterangan:

$a$  adalah parameter kisi

$d_{hkl}$  adalah jarak antara bidang-bidang kristal

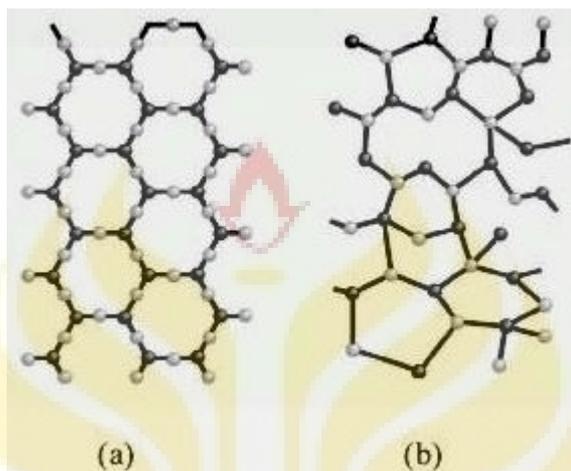
$(h, k, l)$  adalah indeks untuk menyatakan arah bidang kristal (*indeks miller*), sehingga:

$$\sin^2\theta = \frac{\lambda(h^2 + k^2 + l^2)}{4a^2} \quad (4.2)$$

Dengan menggunakan persamaan di atas dapat ditentukan besarnya ukuran sel satuan, bidang kristal dan jarak antar bidang kristal. Pengukuran X-RD dilakukan dengan menempatkan sampel pada pemegang sampel stasioner. Selanjutnya sinar-X dengan panjang gelombang kontinu ( $1,54 \text{ \AA}$ ) dikenakan pada sampel tersebut, sampel akan mendifraksi radiasi secara diskrit, sehingga nilai panjang gelombang  $\lambda$  untuk bidang  $d$  dan sudut datang  $\theta$  akan memenuhi hukum difraksi Bragg. Pencatatan nilai  $2\theta$  dilakukan secara langsung oleh komputer, dengan demikian dapat langsung diperoleh data hasil cetakannya. Untuk mengetahui bidang kristal dari puncak-puncak yang diperoleh, dapat dilakukan dengan mencocokkan sudut difraksi maksimum dengan acuan pada sumber standar yang sesuai, yaitu tabel JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*).

Kristal didefinisikan sebagai komposisi atom-atom zat padat yang memiliki susunan teratur dan periodik dalam pola tiga dimensi. Keteraturan susunan terjadi karena kondisi geometris yang harus memenuhi adanya ikatan atom berarah dan susunan rapat. Atom-atom bergabung membentuk padatan (*solid*), atom-atom itu mengatur dirinya sendiri dalam pola tatanan tertentu yang disebut kristal. Susunan khas atom-atom dalam kristal disebut struktur kristal. Struktur kristal dari hasil penggabungan sel satuan merupakan sekumpulan atom-atom yang tersusun secara khusus dan periodik berulang dalam tiga dimensi pada kisi kristal. Kumpulan atom-atom sebagai penyusun kristal sering disebut basis dan kedudukan atom-atom di dalam ruang dinyatakan oleh kisi. Ditinjau dari strukturnya zat padat dibagi menjadi tiga yaitu *monocrystal* (kristal tunggal), *polycrystal* dan *amorf*. Pada kristal tunggal (*monocrystal*), atom atau penyusunnya mempunyai struktur tetap, karena atom penyusunnya tersusun teratur dalam pola tiga dimensi dan berulang secara periodik dalam rentang panjang tak berhingga. *Polycrystal* adalah kumpulan dari kristal-kristal tunggal yang memiliki ukuran sangat kecil dan saling menumpuk yang membentuk benda padat.

*Amorf* memiliki pola susunan atom-atom atau molekul-molekul yang acak dan tidak teratur secara berulang. *Amorf* terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak dapat dengan tepat menempati lokasi kisinya. Untuk mengetahui susunan atom kristal dan *amorf* ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7: (a). Kristal, (b). *Amorf* (Smallman dan Bishop, 2000): 13

### 4.3.2 Data yang diperoleh dari XRD (*X-ray diffraction*)

Hasil pengukuran dengan instrument *X-Ray Diffraction* berupa grafik difraktogram. Difraktogram adalah *output* yang merupakan grafik antara  $2\theta$  (*diffraction angle*) pada sumbu X versus intensitas pada sumbu Y. Intensitas sinar-X didifraksikan secara terus-menerus direkam sebagai contoh dan detektor berputar melalui sudut masing-masing.

Sebuah puncak dalam intensitas terjadi ketika mineral berisi kisi-kisi dengan *d-spacings* sesuai dengan difraksi sinar-X pada nilai  $\theta$ . Meski masing-masing puncak terdiri dari dua pemantulan yang terpisah ( $K_{\alpha 1}$  dan  $K_{\alpha 2}$ ), pada nilai-nilai kecil dari  $2\theta$  lokasi-lokasi puncak tumpang-tindih dengan  $K_{\alpha 2}$  muncul sebagai suatu gundukan pada sisi  $K_{\alpha 1}$ . Pemisahan lebih besar terjadi pada nilai-nilai  $\theta$  yang lebih tinggi  $2\theta$  merupakan sudut antara sinar datang dengan sinar pantul. Sedangkan intensitas merupakan jumlah banyaknya *X-Ray* yang didifraksikan oleh kisi-kisi kristal yang mungkin.

Informasi yang dapat diperoleh dari analisis menggunakan XRD (*X-ray diffraction*) sebagai berikut:

1. Pembangkit sinar-x menghasilkan radiasi elektromagnetik setelah dikendalikan oleh celah penyimpang (S)
2. Posisi puncak difraksi memberikan gambaran parameter kisi ( $a$ ), jarak antar bidang ( $d_{hkl}$ ), struktur kristal dan orientasi dari sel satuan ( $d_{hkl}$ ) dan orientasi dari sel satuan.
3. Intensitas relatif puncak difraksi memberikan informasi gambaran tentang posisi atom dalam suatu sel satuan.
4. Bentuk puncak difraksi memberikan gambaran ukuran kristal dan ketidaksempurnaan kisi. ( $d_{hkl}$ ) dikelompokkan dalam beberapa grup, dengan intensitas relatif paling tinggi pertama disebut  $d_1$ , kedua  $d_2$ , ketiga  $d_3$  dan seterusnya.

### 4.3.3 Keuntungan penggunaan XRD (*X-ray diffraction*)

Keuntungan menggunakan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar-X memiliki energi sangat tinggi akibat panjang gelombang pendek. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang (0,5 - 2,0) mikron. Sinar-x dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi. Elektron mengalami perlambatan saat masuk logam dan menyebabkan elektron kulit atom logam tersebut terpental membentuk kekosongan. Elektron dengan energi lebih tinggi masuk ke tempat kosong dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X.

## 4.4 SEM (*Scanning Electron Microscope*)

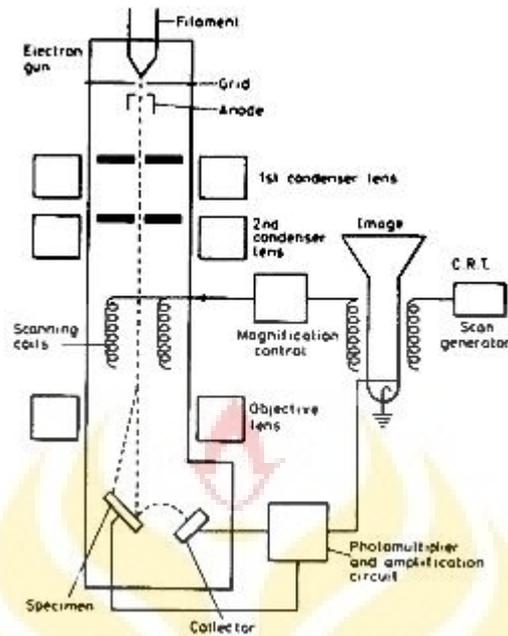
SEM adalah jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan material yang dianalisis. Fungsi SEM adalah memindai yang terfokus pada balok halus elektron ke sampel. Elektron berinteraksi dengan sampel komposisi molekul. Energi elektron menuju ke sampel secara langsung dalam proporsi jenis interaksi elektron yang dihasilkan dari sampel. Serangkaian energi elektron terukur dapat dihasilkan yang dianalisis oleh sebuah mikroprosesor yang canggih yang menciptakan gambar 3 dimensi atau spektrum elemen unik di dalam sampel yang dianalisis.

Untuk mengetahui morfologi dan analisis permukaan material/ bahan dapat digunakan *Scanning Elektron Microscopy* (SEM). Karakterisasi bahan menggunakan SEM dimanfaatkan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural, dan komposisi pencemaran suatu bahan. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung pada hasil SEM berupa Scanning Elektron Micrograp yang menyajikan bentuk tiga dimensi berupa gambar atau foto. Mikroskop ini digunakan untuk mempelajari struktur permukaan obyek, yang secara umum diperbesar antara 1.000-40.000 kali. Hasil SEM yang berupa gambar morfologi menyajikan bentuk permukaan bahan dengan berbagai lekukan dan tonjolan.

Mekanisme kerja SEM adalah sebagai berikut: bedil elektron (*electron gun*) akan memancarkan berkas elektron yang kemudian difokuskan oleh lensa elektromagnet ke arah cuplikan. Berkas elektron kemudian berinteraksi dengan cuplikan yang menghasilkan elektron sekunder dan karakteristik sinar-X. Dengan mengatur tegangan pemercepat pada tabung SEM, maka dapat dipilih resolusi yang diinginkan. Sedangkan pemayaran (*scanning*) pada daerah-daerah cuplikan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur pembangkit payar (*scanning generator*) dan kumparan payar (*scanning coils*). SEM menggunakan hamburan balik elektron-elektron (dengan  $E = 30$  keV) yang merupakan energi datang dan elektron-elektron sekunder (dengan  $E = 100$  keV) yang dipantulkan dari benda uji. Karena elektron mempunyai energi yang rendah, maka elektro-elektron tersebut dapat dibelokkan membentuk sudut dan menimbulkan bayangan topografi di tampilan monitor (RT) serta dapat dicetak menjadi foto.

#### 4.4.1 Prinsip kerja SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Prinsip kerja dari alat ini dapat dijelaskan sebagai berikut: sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (*spesimen*) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. *Scanning* pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur scanning generator dan scanning coils. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan *spesimen* ditangkap oleh detektor SE (*Secondary Electron*) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh amplifier dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (CRT). Skema dasar SEM disajikan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8: Skema dasar SEM (Smallman dan Bishop, 1999: 144)

*Detector* yang terdapat di dalam peralatan dari SEM (*Scanning Electron Microscope*) akan mendeteksi berkas elektron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis. Selain itu juga dapat menentukan lokasi berkas electron yang berintensitas tertinggi itu. Ketika dilakukan pengamatan terhadap material, lokasi permukaan benda yang ditembak dengan berkas elektron yang ber intensitas tertinggi di-*scan* keseluruhan permukaan material pengamatan. Karena luasnya daerah pengamatan kita dapat membatasi lokasi pengamatan yang kita lakukan dengan melakukan *zoon-in* atau *zoon-out*. Dengan memanfaatkan berkas pantulan dari benda tersebut maka informasi dapat di ketahui dengan menggunakan program pengolahan citra yang terdapat dalam komputer.

#### 4.4.2 Kelebihan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

SEM (*Scanning Electron Microscope*) memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada mikroskop optik. Hal ini di sebabkan oleh panjang gelombang de Broglie yang memiliki elektron lebih pendekdek dari pada gelombang optik. Karena semakin kecil panjang gelombang yang digunakan maka semakin tinggi resolusi yang dihasilkan mikroskop.

### 4.4.3 SEM dilengkapi dengan ED-X

Teknik ED-X (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) digunakan untuk mengetahui kandungan berbagai unsur kimia material semikonduktor. Sistem analisis ED-X bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM dan tidak dapat bekerja tanpa adanya *Scanning Elektron Microscopy* (SEM). Apabila Teknik ED-X dan SEM digabungkan sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang dimiliki oleh fasa yang terlihat pada struktur mikro. Prinsip kerja ED-X yaitu dengan menangkap dan mengolah sinyal fluoresensi sinar-x yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan (specimen). Sinar-x tersebut dapat dideteksi dengan detektor zat padat, yang dapat menghasilkan pulsa intensitas sebanding dengan panjang gelombang sinar-x.



Gambar 4.9: Hamburan dari elektron jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 1999: 142)

Struktur material diketahui dengan cara melihat interaksi yang terjadi, jika *specimen* padat dikenai berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh sebagian dihamburkan, sebagian akan diserap dan menembus *specimen*. Bila *specimen* cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan dan beberapa elektron akan dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam *specimen* akan menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron *auger*, yang semuanya dapat digunakan untuk karakterisasi material. Gambar 4.9 menunjukkan elektron-elektron apabila mengenai *specimen*.

Interaksi yang terjadi antara elektron dengan atom pada sampel akan menghasilkan pelepasan elektron yang berenergi rendah, foton sinar-X dan elektron *auger*, yang kesemuanya bisa digunakan untuk mengkarakterisasi material. (Smallman, 1999). Elektron sekunder adalah elektron yang dipancarkan dari permukaan kulit dari atom terluar yang dihasilkan oleh interaksi berkas elektron jatuh dengan padatan, sehingga mengakibatkan terjadinya loncatan elektron yang terikat lemah dari pita konduksi. Elektron *auger* merupakan elektron dari kulit orbit terluar yang dikeluarkan atom ketika elektron tersebut menyerap energi yang dilepaskan oleh elektron lain yang jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah.

Apabila berkas elektron mengenai pada sampel padat, maka sebagian berkas yang jatuh tersebut akan dihamburkan kembali dan sebagian lagi akan menembus sampel. Untuk sampel yang tipis maka sebagian besar elektron akan diteruskan, beberapa elektron akan dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi dan sebagian lagi akan dihamburkan secara tak elastis. Teknik ini juga dapat dimanfaatkan untuk mengamati unsur-unsur pada daerah kecil permukaan bahan secara kualitatif dan semi kuantitatif. Hal ini karena masing-masing unsur menyebar pada panjang gelombang spesifik.

Untuk mengenali jenis atom dipermukaan yang mengandung multi atom para peneliti lebih banyak menggunakan teknik ED-X (*Energy Dispersive Spectroscopy*). Sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan ini, namun tidak semua SEM punya fitur ini. *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (ED-X) dihasilkan dari karakteristik Sinar-X, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Maka setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung.

Dengan ED-X kita juga dapat membuat *elemental mapping* (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda-beda dari masing-masing elemen di permukaan bahan. EDS bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing-masing elemen. Contoh dari aplikasi ED-X digambarkan pada diagram dibawah ini. Alat ini dilengkapi dengan detektor dispersi energi (ED-X) sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel yang dianalisis.

Adapun tujuan SEM-EDX dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui kegradualan struktur mikro dan komposisi unsur. Aplikasi dari penggunaan teknik SEM-EDS dirangkum sebagai berikut:

- 1). Topografi: Menganalisa permukaan dan teksture (kekerasan, reflektivitas dsb)
- 2). Morfologi: Menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel
- 3). Komposisi: Menganalisa komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif.

Sedangkan kelemahan dari teknik menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) antara lain:

- a. Memerlukan kondisi vakum dan ukuran sampel besar.
- b. Hanya menganalisa permukaan dan sangat tergantung pada software.
- c. Resolusi lebih rendah dari TEM (*Transmission Electron Microscopy*).
- d. Sampel harus bahan yang konduktif, jika tidak konduktor maka perlu dilapis logam seperti emas.
- e. Terbatas pada hubungan linier.



## Bab 5

# HASIL DEPOSISI DAN KARAKTERISASI FILM TIPIS CuPc

Dalam buku ini dipaparkan hasil deposisi film tipis CuPc dengan metode vakum evaporasi (VE) pada suhu ruang beserta karakterisasinya menggunakan X-RD dan SEM. Karakteristik film tipis CuPc telah dianalisis berdasarkan pada struktur mikro dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (X-RD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Selanjutnya hasil X-RD untuk masing-masing sample telah dianalisis oleh ICDD (*International Centre for Diffraction Data*). Pada sisi lain, permukaan dan ketebalan film tipis CuPc dianalisis dengan gambar hasil dari SEM. Karakterisasi film tipis dilakukan untuk mendapatkan bahan aktif yang optimum. Ada 2 macam karakterisasi film tipis, yakni: pengujian morfologi menggunakan SEM dan struktur kristalnya dengan X-RD. Dipaparkan juga langkah-langkah deposisi film tipis CuPc dengan parameter deposisi yang diterapkan pada alat evaporasi.

### 5.1 Metode deposisi Film Tipis CuPc

Penelitian ini menggunakan bahan untuk deposisi film tipis adalah CuPc yang berbentuk serbuk. Selanjutnya dilakukan deposisi film tipis dengan prosedur sebagai berikut:

- a) Preparasi sampel

- Pemotongan kaca preparat berukuran (1,5 x 2,5) cm<sup>2</sup>.
- Kaca preparat terlebih dahulu dicuci menggunakan alat *Ultrasonic Cleaner Model Core-Parmer* dengan tahapan, sebagai berikut: kaca preparat dicuci dengan etanol (96%) selama 1 jam, kemudian dicuci dengan menggunakan acetone (>99%) selama 1 jam. Selanjutnya dilakukan pencucian dengan deterjen dan etanol (96%) selama 1 jam. Sebelum dimasukkan ke dalam alat evaporasi, kaca preparat dicuci dengan etanol (96%) yang mendidih.

b) Proses deposisi film tipis CuPc

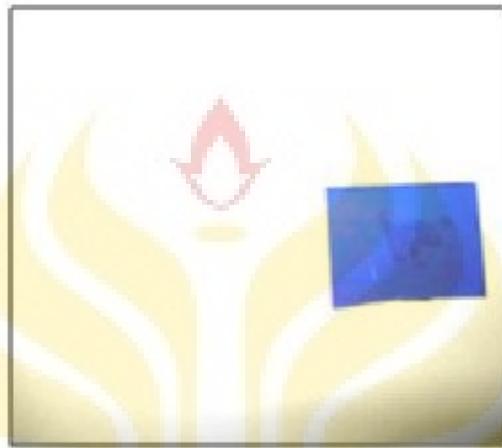
Deposisi film tipis CuPc diatas substrat SiO<sub>2</sub> dilakukan dengan metode penguapan hampa udara (Model JEOL JEE-4X) pada kehampaan tinggi sekitar (8 x10<sup>-4</sup>) Pa. Pada alat *vacuum evaporator* (VE), terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik film tipis, yaitu: tekanan, arus, waktu pada saat deposisi, massa dari material CuPc yang akan dideposisikan. Dalam penelitian ini, akan dilakukan dengan menggunakan parameter arus pada alat *vacuum evaporator* untuk memperoleh variasi laju deposisi/ morfologi film tipis CuPc.

c) Metode deposisi film tipis yang dilakukan dengan membuat variasi arus (35 A, 40 A, 45 A dan 50 A) pada alat vakum evaporasi, tahapan adalah sebagai berikut:

- CuPc yang massanya (200 mg) dimasukkan ke dalam *boat* dan ditimbang dengan neraca Ohaus.
- Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam *bell-jar* (ruang evaporasi).
- Substrat yang telah dibersihkan, kemudian dipasang pada *holder* tepat di atas *boat* yang berisi CuPc.
- Pada alat *vacuum evaporator*(VE) untuk deposisi film tipis divakumkan, sehingga tekanannya turun menjadi 8.10<sup>-4</sup> Pa.
- Eksperimen awal, melakukan deposisi film tipis dengan metode *vacuum evaporator* selama 30 menit dengan menerapkan arus pada alat VE sebesar 35 A.
- Sampel yang sudah terdeposisi disimpan dalam wadah kaca yang vakum.
- Proses deposisi film tipis CuPc yang telah dilakukan diulangi lagi dengan variasi arus, yaitu: 40 A, 45 A dan 50 A.

## 5.2 Hasil Deposisi Film Tipis CuPc

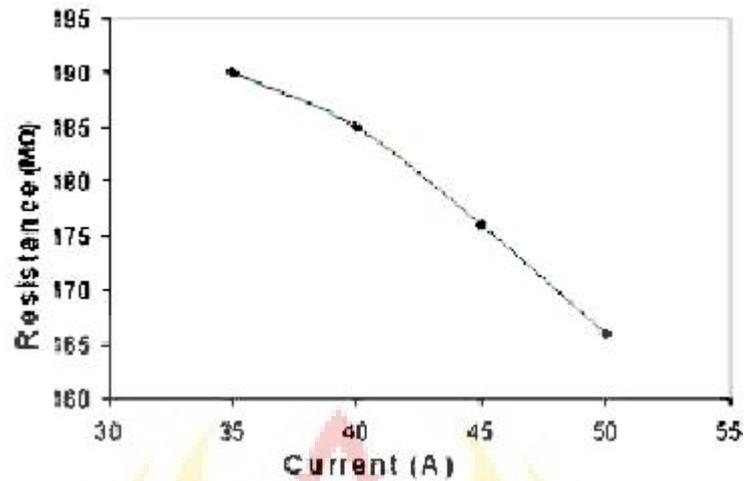
Deposisi film tipis dengan teknik VE (*vacuum evaporator*) dengan alat evaporasi (*Model JEOL JEE-4X*) pada kehampaan tinggi sekitar ( $8 \times 10^{-4}$ ) Pa dilakukan pada suhu ruang. Proses evaporasi dilakukan dengan variasi arus pada alat vakum evaporasi, yaitu : 35A, 40A, 45A dan 50A memerlukan waktu selama 30 menit (Sujarwata, 2009).



Gambar 5.1: Hasil deposisi film tipis CuPc diatas susbrat

Gambar 5.1 salah satu sampel (dari 8 sampel ) hasil deposisi diatas substrat dengan ukuran ( $1,5 \times 2,5$ )  $\text{cm}^2$ . Struktur kristal merupakan parameter untuk mempelajari karakterisasi bahan, terutama berkaitan dengan sifat listrik. Film yang akan dimanfaatkan untuk divais, maka harus dikarakterisasi untuk mengetahui kualitas film. Apabila hasil karakterisasi kualitas struktur kristal baik, maka dapat dimanfaatkan untuk aplikasi divais. Apabila hasil deposisi menunjukkan struktur kristal buruk, maka harus dilakukan deposisi lagi dengan memperhatikan preparasi, prosedur deposisi instrumen yang digunakan dan parameter-parameter yang mempengaruhi dari hasil deposisi.

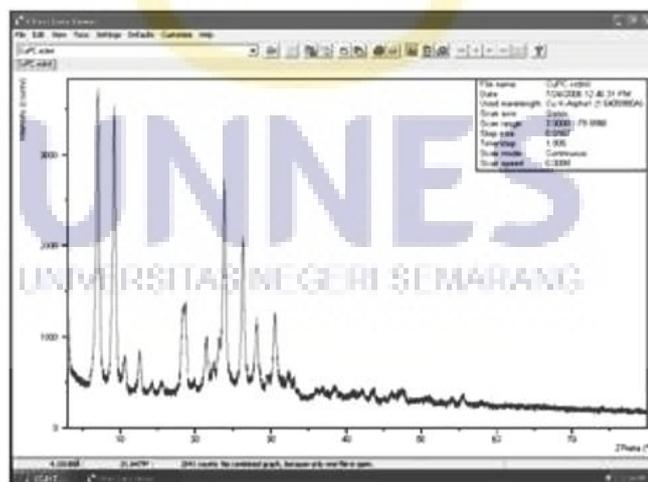
Karakterisasi film tipis terhadap kecepatan deposisi dan resistansinya, sebagaimana terlihat pada Gambar 5.2. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian arus pada alat VE mempengaruhi kecepatan deposisi dan resistansi. Dengan demikian hasil deposisi film ini dapat digunakan sebagai acuan riset yang berkaitan dengan deposisi. Agar kecepatan deposisi lebih tinggi dan resistansinya kecil, maka arus yang diterapkan pada VE harus ditambah, akan tetapi harus diperhatikan kemampuan dari VE yang digunakan.



Gambar 5.2: Pengaruh resistansi film tipis terhadap arus

### 5.3 Pengujian Struktur Kristal dengan X-RD

Spektrum XRD serbuk material semikonduktor CuPc ditunjukkan gambar 5.3, terlihat jelas adanya struktur kristal. Hasil pengujian kristal film tipis CuPc dengan X-RD merupakan gambar struktur permukaan sampel yang diuji dengan karakteristik gambar 3 dimensi (3-D) dan grafik spektrum.

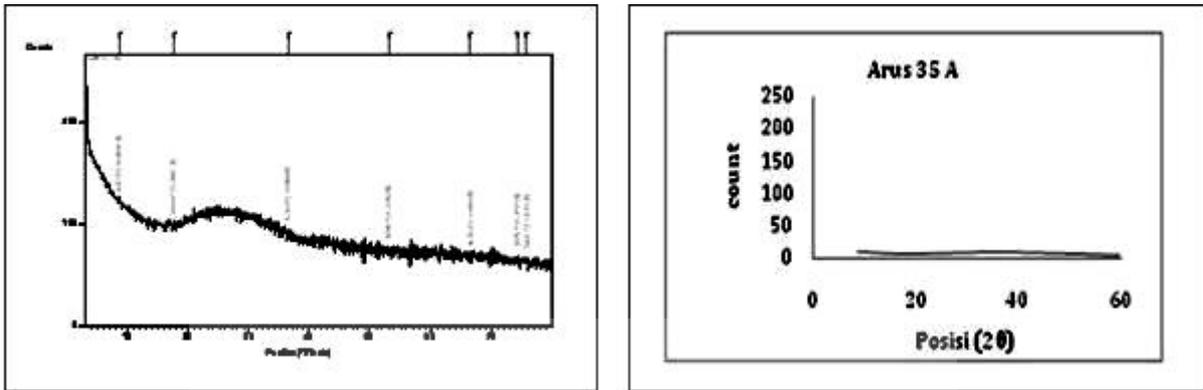


Gambar 5.3: Spektrum XRD dari Serbuk CuPc

Tabel 5.1 merupakan hasil deposisi film tipis CuPc menunjukkan adanya satu puncak pada sudut  $2\theta$   $6,78^\circ$ -  $6,87^\circ$  ( $D= 12,84$ - $13,04$ )  $\text{Å}$ . Jarak inter planar adalah jarak antar atom Cu. Puncak spektrum XRD teramati,  $2\theta = 23,67^\circ$ -  $27,58^\circ$  ( $D = 3,23$ - $3,76$ )  $\text{Å}$ . Jarak ini sesuai dengan jarak antara (*phythalocyanine macrocycles*) dalam *phase*  $\alpha$  atau  $\beta= 3,4$   $\text{Å}$ . Pada gambar 5.4 memperlihatkan bahwa puncak spektrum *X-Ray Diffraction* (X-RD) tidak terlihat tampak pada penerapan arus 35 A pada saat dilakukan deposisi film tipis, sehingga film tipis mempunyai struktur *amorf*. Ketika arus ditingkatkan menjadi 40A, 45 A dan 50 A terlihat adanya puncak dominan berkaitan dengan bidang kristal. Padatan digolongkan dalam dua golongan, padatan kristalin yang partikel penyusunnya tersusun teratur, dan padatan *amorf* yang partikel penyusunnya tidak memiliki keteraturan yang sempurna. Studi bahan kristalin mempunyai sejarah yang jauh lebih panjang karena kristal lebih mudah dipelajari dari pada bahan *amorf*.

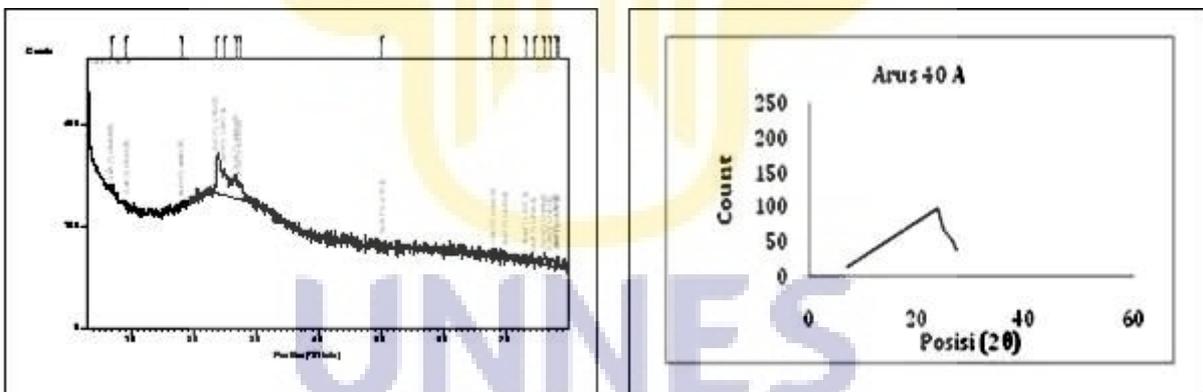
Tabel 5.1: Puncak difraksi X-RD dari serbuk dan film tipis CuPc

Arus (amper)	$2\theta(^{\circ})$	Tinggi ( <i>count</i> )	Nilai FWHM ( $^{\circ}$ )	D( $\text{Å}$ )	Gambar
	7,0961	2077,02	0,3080	12,45	5.3
	23,8164	1547,06	0,3080	3,73	
	26,2519	1139,04	0,3080	3,39	
	28,0725	536,12	0,3080	3,18	
	30,4640	608,44	0,3080	2,93	
35	-	-	-	-	5.4
40	6,8762	13,88	0,6528	12,84	5.5
	23,6716	100,12	0,4896	3,76	
	24,9316	68,38	0,4896	3,57	
	26,6752	52,86	0,4896	3,34	
	27,4005	39,42	0,2856	3,25	
45	6,7757	42,37	0,6160	13,04	5.6
	24,0217	222,97	0,4488	3,70	
	25,0321	94,54	0,3264	3,55	
	26,6408	103,91	0,3264	3,34	
	27,5530	86,96	0,2448	3,23	
50	6,8306	39,22	0,2448	12,93	5.7
	24,0865	212,68	0,2448	3,69	
	25,0294	154,57	0,4080	3,55	
	26,6507	129,03	0,2448	3,34	
	27,5821	118,55	0,3264	3,32	



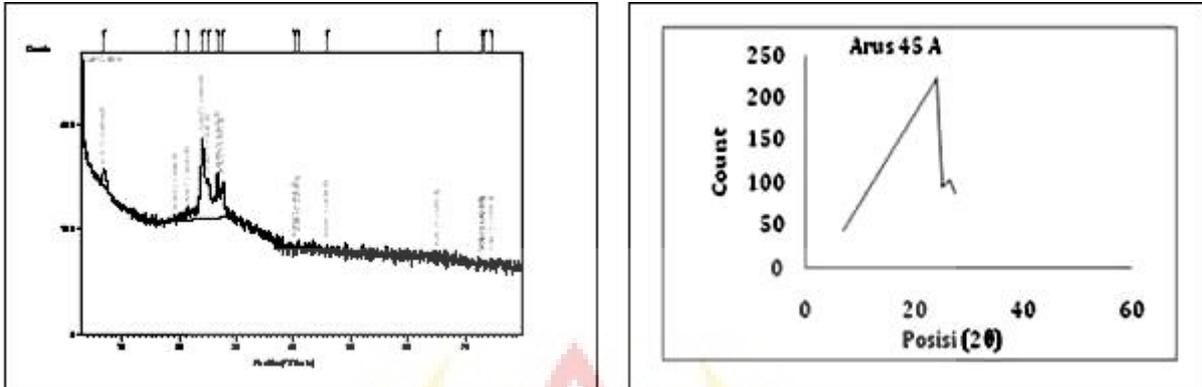
Gambar 5.4: Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 35 A

Pada gambar 5.4, puncak spektrum XRD tidak tampak pada penerapan arus 35 A pada alat VE saat dilakukan proses deposisi, sehingga film tipis CuPc mempunyai struktur amorf. Ketika kuat arus ditingkatkan menjadi 40A, 45 A dan 50 A tampak puncak dominan yang berkaitan dengan bidang kristal.



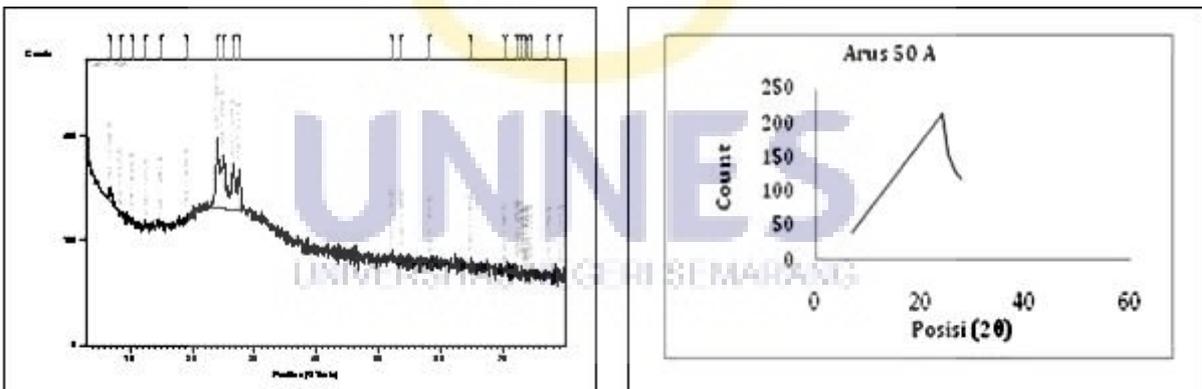
Gambar 5.5: Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 40 A

Pada gambar 5.5 menunjukkan hasil analisis puncak spektrum XRD sudah terlihat dengan penerapan arus 40 A pada alat vakum evaporasi saat proses deposisi dilakukan, sehingga film tipis CuPc dari hasil deposisi sudah terbentuk adanya struktur kristal. Hasil eksperimen deposisi film tipis CuPc dengan penerapan arus 40 A pada alat vakum evaporasi saat deposisi, diperoleh bahwa pada posisi  $2\theta$  mempunyai ketinggian puncak spektrum adalah 100,12 (*count*).



Gambar 5.6: Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 45 A

Gambar 5.6 menunjukkan puncak spektrum XRD paling tinggi dengan penerapan arus 45 A sehingga film tipis hasil deposisi sudah terbentuk adanya kristal. Hasil deposisi film tipis dengan arus 45 A diperoleh bahwa pada posisi  $2\theta$  mempunyai ketinggian puncak 222,97 (*count*). Berdasarkan eksperimen film tipis yang dideposisikan dengan arus 45 A adalah film tipis optimum pertama. Hasil pengukuran bahan elektrik didapatkan bahwa resistansi film tipis CuPc akan berkurang dengan peningkatan kecepatan deposisi.



Gambar 5.7: Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 50 A

Gambar 5.7 menunjukkan puncak spektrum XRD terlihat dengan penerapan arus 50 A dan pada film tipis sudah terbentuk adanya kristal. Hasil deposisi film tipis dengan penerapan arus 50 A diperoleh bahwa posisi  $2\theta$  mempunyai puncak spektrum 212,68 (*count*).

Hasil X-RD menunjukkan bahwa deposisi dengan arus 45 A mempunyai puncak spektrum yang lebih tinggi dari pada penerapan arus 50 A. Hal ini dapat dikatakan bahwa penambahan arus lebih tinggi dari 45 A kurang efektif karena puncak spektrum lebih rendah. Penerapan arus 45 A menghasilkan film tipis optimum, sehingga dapat diaplikasikan pada pembuatan divais yang paling baik. Berdasarkan hasil analisis spektrum X-RD dapat dimanfaatkan untuk proses pembuatan divais sesuai dengan yang kita butuhkan.

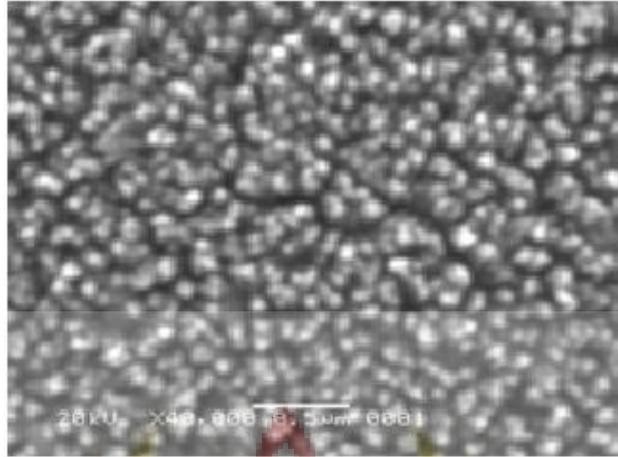
Kualitas kristal film tipis dapat diketahui dari besarnya FWHM (*Full Width at Half Maximum*) puncak bidang difraksi. FWHM menyatakan tingkat *strain* film, semakin sempit FWHM, maka *strain* yang terbentuk semakin kecil. Berdasarkan spektrum XRD dapat dipelajari kualitas kristal film dengan cara menghitung FWHM, seperti ditunjukkan Tabel 5.2. Besarnya FWHM puncak XRD terlihat menurun seiring bertambahnya arus pada VE. Hasil XRD dapat ditentukan juga FWHM film tipis CuPc Hal ini menunjukkan bahwa kualitas kristal semakin membaik dengan penambahan kuat arus.

Tabel 5.2: Kuat arus sebagai parameter deposisi film tipis CuPc

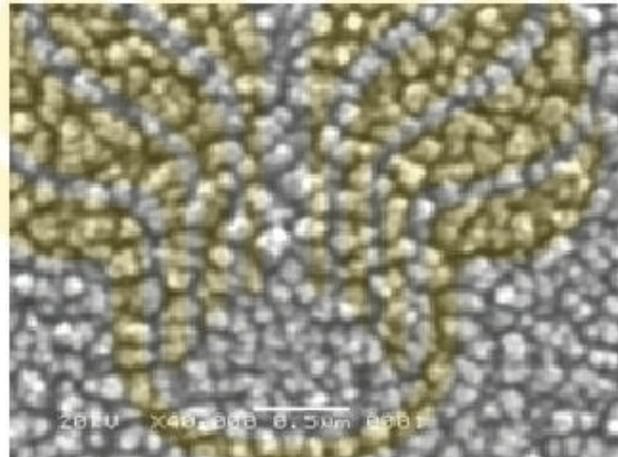
No.	Arus Deposisi	FWHM (derajat)
1	40	0,4896°
2	45	0,4488°
3	50	0,24448°

## 5.4 Hasil SEM dengan Variasi Arus

Hasil karakterisasi morfologi film tipis CuPc menggunakan SEM dengan variasi arus saat deposisi dapat diamati pada (Gambar 5.8, Gambar 5.9 dan Gambar 5.10). Gambar 5.8 memperlihatkan bahwa morfologi film tipis CuPc yang dideposisikan dengan aplikasi arus 40 A pada alat vakum evaporasi (VE) mempunyai ukuran butiran kecil dan permukaan film tipis masih terlihat banyak porositas pada permukaan. Porositas film tipis CuPc disebabkan tidak menempelnya ikatan yang terbentuk.



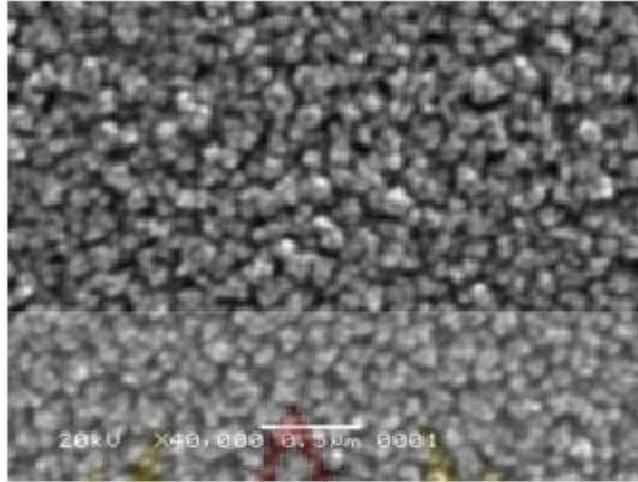
Gambar 5.8: Hasil Morfologi SEM dengan Arus 40 A



Gambar 5.9: Hasil Morfologi SEM dengan Arus 45 A

Gambar 5.9 memperlihatkan hasil karakterisasi menggunakan SEM untuk penerapan arus 45 A saat deposisi film tipis CuPc. Dari gambar terlihat butiran-butiran yang sudah mulai rapat dan mempunyai ukuran lebih besar serta sebagian permukaan film tipis ada yang berbentuk butiran-butiran kecil. Butiran-butiran yang lebih besar menunjukkan bahwa butiran-butiran kecil telah menyatu dan membentuk kristal yang lebih baik.

Gambar 5.10 adalah hasil SEM untuk deposisi film tipis dengan arus 50 A saat penumbuhan. Ukuran butiran terlihat semakin homogen dan merata seluruh permukaan. Butiran semula berukuran kecil telah menyatu membentuk ukuran butiran lebih besar.



Gambar 5.10: Hasil Morfologi SEM dengan Arus 50 A

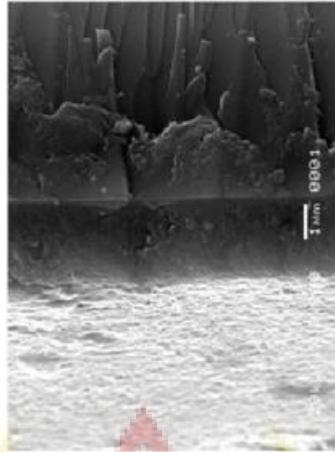
## 5.5 Hasil SEM Penampang Melintang

Hasil karakterisasi menggunakan SEM pada penampang melintang ditunjukkan pada (Gambar 5.11), (Gambar 5.12) dan (Gambar 5.13) yang dideposisikan dengan variasi arus, yaitu: 40 A, 45 A dan 50 A.

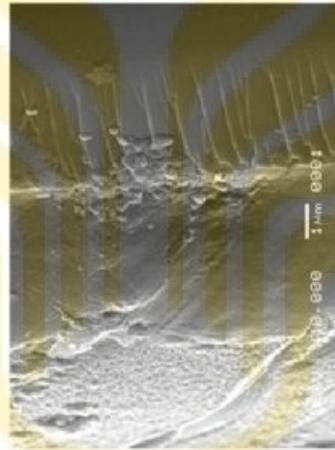


Gambar 5.11: Hasil Morfologi SEM Penampang Melintang dengan Arus 40 A

Hasil karakteristik dengan SEM pada penampang melintang untuk menentukan ketebalan film tipis CuPc. Deposisi dengan variasi arus, yaitu: 40 A, 45 A dan 50 A. Film tipis CuPc mempunyai ketebalan, berturut-turut: 2,1  $\mu\text{m}$ , 2,4  $\mu\text{m}$  dan 4,8  $\mu\text{m}$ .



Gambar 5.12: Hasil Morfologi SEM Penampang Melintang dengan Arus 45 A



Gambar 5.13: Hasil Morfologi SEM Penampang Melintang dengan Arus 50 A

## 5.6 Pengembangan dan Aplikasi Flm Tipis

Dewasa ini penelitian/ riset tentang deposisi berbasis flm tipis menjadi salah satu teknologi yang menarik sekaligus bermanfaat bagi kehidupan manusia. Beberapa film tipis hasil deposisi yang dimanfaatkan sebagai piranti optik, opto-elektronik, bahan feromagnetik, superkonduktor, bahan mikroakustik dan lain-lainnya. Berbagai usaha dilakukan untuk memperluas pemanfaatan flm tipis sebagai sensor gas dan peralatan elektronik. Dengan meningkatnya perkembangan teknologi, maka kebutuhan material flm tipis juga meningkat. Sensor gas dapat pula untuk menguji kadar oksigen yang dikeluarkan oleh mesin berbahan bakar hidrokarbon.

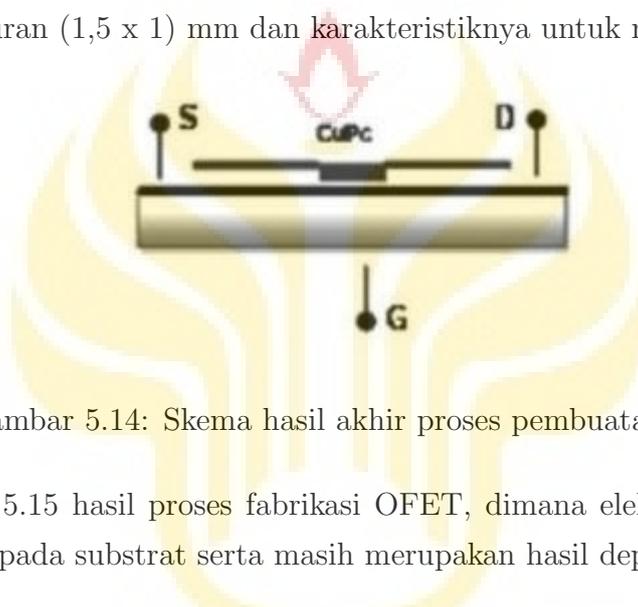
Film tipis adalah suatu film tipis yang sangat tipis dari material organik, anorganik, metal maupun campuran metal organik yang memiliki sifat konduktor, semikonduktor maupun isolator. Film tipis yang dideposisikan dengan teknik penumbuhan atom pada permukaan substrat dengan ketebalan sampai orde mikrometer semakin banyak diteliti. Sifat umum pada film tipis dipengaruhi oleh proses preparasi, metode deposisi, geometri dan struktur kristalnya. Aktivitas deposisi film tipis ini merupakan langkah awal untuk mengembangkan divais elektronika yang biasanya berupa sensor. Karakterisasi dan analisis film tipis didasarkan pada struktur mikro menggunakan *X-Ray Diffraction* (X-RD) and *Scanning Electron Microscopy* (SEM) atau peralatan yang lain.

Selain itu sensor dimanfaatkan oleh industri untuk mendeteksi gas-gas berbahaya pada proses produksi. Sensor dapat digunakan secara mandiri untuk mendeteksi suatu gas atau dapat pula diintegrasikan menjadi hidung elektronik untuk mendeteksi berbagai macam aroma seperti yang dilakukan (Abe dkk, 1987). Karena kegunaan yang sangat besar, maka penelitian tentang sensor gas semakin banyak dilakukan. Penelitian tersebut terutama dimaksudkan untuk mencari bahan baru yang dapat dimanfaatkan sebagai sensor gas berbasis film tipis.

### 5.6.1 *Organic Field Effect Transistor (OFET)*

Penulis juga telah melakukan penelitian (PENELITIAN HIBAH BERSAING dengan dana DIKTI) yang berkaitan dengan deposisi film tipis CuPc untuk pembuatan OFET (transistor efek medan organik) sebagai sensor gas beracun. Judul penelitian adalah: " Pengembangan Transistor Efek Medan Organik (OFET) Berbasis Film Tipis Dengan Material CuPc Untuk Mendeteksi Gas Beracun " dilakukan pada tahun 2013. Dalam buku penulis tidak mengupas secara lengkap dari proses fabrikasi OFET, namun hanya sekedar hasil yang telah dicapai. Adapun tujuan penelitian: fabrikasi OFET berbasis film tipis semikonduktor organik CuPc (*copper phthalocyanine*) dengan variasi panjang *channel* (saluran), karakterisasi OFET dengan X-RD dan SEM dan membuat alat uji sensor gas dan pengujiannya, meliputi: waktu respon (*respon time*) dan waktu pulih (*recovery time*). Adapun hasil penelitian fabrikasi OFET yang diperoleh sebagai berikut:

- 1, Material yang digunakan adalah semikonduktor organik CuPc untuk membuat transistor efek medan organik (OFET) berbasis film tipis.
- 2, Eksperimen pendahuluan dengan melakukan penumbuhan film tipis CuPc di atas substrat Si/ SiO<sub>2</sub>, kemudian dilanjutkan dengan karakterisasi menggunakan XRD dan SEM. Hasil dari karakterisasi X-RD dan SEM digunakan untuk menentukan film tipis optimum dalam proses pembuatan OFET.
- 3, Tujuan jangka pendek penelitian ini adalah fabrikasi OFET dengan struktur *bottom-contact* berukuran (1,5 x 1) mm dan karakteristiknya untuk mendeteksi gas beracun.



Gambar 5.14: Skema hasil akhir proses pembuatan OFET

Pada Gambar 5.15 hasil proses fabrikasi OFET, dimana elektrode *source* dan *drain* belum terpola pada substrat serta masih merupakan hasil deposisi Au (emas).



Gambar 5.15: Hasil proses pembuatan OFET

Gambar 5.16 hasil proses pembuatan OFET, dimana elektrode *source* dan *drain* belum terpola akan tetapi sudah dilakukan pemotongan tiap sampelnya.



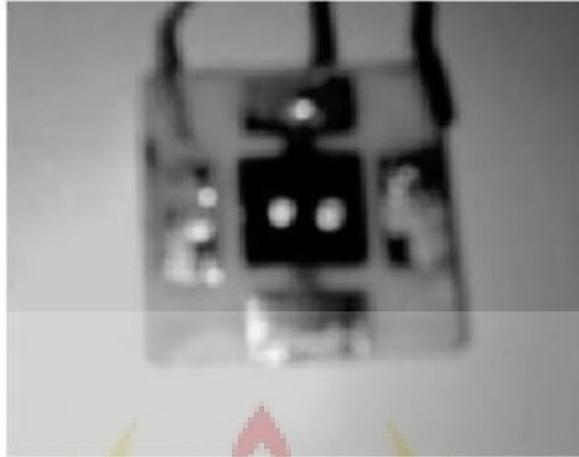
Gambar 5.16: Hasil pemotongan substrat pada proses pembuatan OFET

Gambar 5.17 proses pembuatan OFET, dimana elektrode *source* dan *drain* sudah terpola akan tetapi yang belum dilakukan pemotongan tiap sampelnya.



Gambar 5.17: Hasil akhir proses pembuatan OFET

Setelah akhir pembuatan OFET, selanjutnya dilakukan pemotongan setiap sampel. Untuk memudahkan, maka sampel OFET dipasang di atas PCB dengan menggunakan *gold wire* dan *silver pasta* dan dipasang kontak resistansi. Pada (Gambar 5.18). adalah OFET yang sudah dilakukan pemotongan dan dipasang pada PCB.



Gambar 5.18: Hasil pembuatan OFET terpasang pada PCB

- 4, Fabrikasi OFET dengan panjang *channel* yang bervariasi, yaitu:  $100\ \mu\text{m}$  ,  $200\ \mu\text{m}$  dan  $300\ \mu\text{m}$  menggunakan metode *vacuum evaporator* (VE), sedangkan proses perencanaan dengan teknik *lithography*.
- 5, Tahapan pembuatan OFET, sebagai berikut: permulaan dilakukan pencucian substrat Si/SiO<sub>2</sub> dengan etanol dalam *ultrasonic cleaner*, kemudian dilakukan pendeposisian elektroda *source* dan *drain* di atas substrat dengan metode VE. Selanjutnya mendeposisikan film tipis diantara *source/drain* dan diakhiri dengan deposisi *gate*.
- 6, OFET yang sudah dibuat kemudian karakterisasi menggunakan El-Kahfi 100 untuk menentukan karakteristik keluaran dan mobilitas pembawa muatan.
- 7, Karakterisasi OFET diperoleh bahwa daerah aktif untuk  $V_D$  adalah (2,79 V sampai dengan 3,43 V) dan kuat arus  $I_D$  (  $0,577 \cdot 10^{-5}$  A sampai dengan 0,0013 A). Sedangkan untuk daerah saturasi OFET pada tegangan  $V_D$  dari 3,43 V sampai dengan 9 V dan ini merupakan daerah *cut off*.
- 8, Panjang *channel* pada OFET berpengaruh terhadap yang dihasilkan. Semakin pendek channel pada OFET, semakin besar arus ( $I_D$ ) yang dihasilkan.
- 9, OFET dengan panjang *channel* yang berbeda : 100, 200 dan  $300\ \mu\text{m}$  mempunyai mobilitas pembawa muatan berturut-turut: (0,10121664 , 0.030546453, 0.000307692)  $\text{cm}^2\ \text{V}^{-1}\ \text{s}^{-1}$ .

10, *Respon time* OFET terhadap gas uji CO dengan volume 1 cc untuk panjang *channel* :100  $\mu\text{m}$  , 200  $\mu\text{m}$  dan 300  $\mu\text{m}$  berturut-turut: 90 s, 120 s dan 135 s. Sedangkan *recovery time* pada OFET berturut-turut: 120 s, 135 s dan 150 s.

Perlu penulis sampaikan bahwa pembahasan buku ini hanya terbatas pada metode deposi dengan metode penguapan hampa udara pada suhu ruang dan hasil karakterisasi film tipis menggunakan SEM/ X-RD, sedangkan yang lainnya belum diungkapkan. Harapan penulis dengan terbitnya buku ini dapat menjadikan inspirasi bagi para pembaca untuk mendalami masalah deposisi film tipis, pembuatan divais dan aplikasinya. Semoga pembaca tertarik untuk mengembangkan film tipis dan aplikasinya dengan hasil penelitian/ riset yang jauh lebih baik.

Teknologi di bidang mikromaterial sangat menentukan kemajuan bangsa di masa akan datang, baik bidang sains, teknologi maupun ekonomi oleh karena itu kita tidak bisa menghindarinya. Sejumlah negara banyak meningkatkan riset karena menyadari hal itu sangat penting untuk meraih keunggulan riset tersebut. Namun peralatan yang diperlukan untuk mengembangkan riset ini, khususnya peralatan karakterisasi, material semikonduktor, deposisi film tipis dan *lithography* sangat mahal. Peralatan seperti *X-Ray Diffraction* (X-RD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan contoh peralatan standar untuk karakterisasi mikromaterial/ nanomaterial dan harganya sangat mahal. Hingga saat ini pemerintah kita belum mampu menyediakan semua peralatan yang dibutuhkan. Di lain pihak, riset tersebut tetap dikembangkan di perguruan tinggi dan lembaga penelitian.

Penulis bertujuan memberikan alternatif untuk memahami karakterisasi film tipis yang dapat kita lakukan dalam kondisi keterbatasan alat. Memang terkadang hasil riset yang kurang eksak, tetapi cukup memberikan informasi tentang sifat-sifat mikromateria/ nanomaterial yang sedang kita pelajari. Jelas, hal ini lebih baik dari pada kita diam saja tidak melakukan apa-apa dan mengeluh karena keterbatasan peralatan yang ada.

## 5.6.2 Karakterisasi film tipis CuPc

Hasil karakterisasi film tipis berbasis semikonduktor CuPc yang penulis lakukan menggunakan X-Rd dan SEM sebagai berikut:

- a) Resistansi film tipis CuPc dipengaruhi oleh arus saat deposisi, hal ini menunjukkan bahwa kecepatan deposisi menentukan resistansi.
- b) Penampang melintang film tipis yang dideposisikan dengan bervariasi arus, yaitu: 40 A, 45 A dan 50 A mempunyai ketebalan masing-masing, berturut-turut: 2,1  $\mu\text{m}$ , 2,4  $\mu\text{m}$  dan 4,8  $\mu\text{m}$ .
- c) Analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) tampak bahwa unsur yang dominan adalah C, Si dan Cu dan S, sedangkan unsur Na, Mg dan Ca kurang dominan.

Diharapkan pembahasan dalam buku ini dapat menjadi gambaran bagaimana teknik mendeposisikan film tipis agar didapatkan hasil yang maksimal sesuai dengan keinginan pembaca. Disamping itu dapat menambahkan pengetahuan tentang deposisi film tipis dan beberapa metode yang dapat digunakan untuk deposisi. Harapan bagi penulis, bagi pembaca dapat mengembangkan metode deposisi sehingga mendapatkan hasil deposisi yang lebih baik. Pengembangan teknologi di bidang mikromaterial sangat menentukan keunggulan bangsa di masa akan datang, baik dalam bidang sains, teknologi maupun ekonomi, oleh karena itu kita tidak bisa menghindarinya. Sejumlah negara banyak meningkatkan riset ini karena menyadari hal itu sangat penting untuk meraih keunggulan riset tersebut. Namun peralatan yang diperlukan untuk mengembangkan riset ini, khususnya peralatan karakterisasi dan deposisi film tipis sangat mahal.

### 5.6.3 Peralatan utama dalam penelitian

Peralatan seperti XRD dan SEM merupakan contoh peralatan standar karakterisasi mikromaterial dan harganya sangat mahal. Hingga saat ini pemerintah kita belum mampu menyediakan semua peralatan yang dibutuhkan. Di lain pihak, riset tersebut tetap dikembangkan di perguruan tinggi dan lembaga penelitian. Penulis memberikan informasi kepada pembaca yang berminat untuk belajar dan menekuni pengembangan film tipis untuk aplikasi divais sensor. Penelitian deposisi film tipis yang diaplikasikan sebagai sensor gas, penulis melakukan tidak hanya satu laboratorium tetapi melibatkan beberapa laboratorium. Ini sebagai salah satu bukti bahwa tidak adanya laboratorium yang terintegrasi untuk deposisi film tipis.

Bahan semikonduktor yang digunakan untuk deposisi film tipis masih mendatangkan dari negara lain, belum adanya bahan yang diproduksi di dalam negeri sehingga harganya sangat mahal. Dengan demikian untuk mengadakan riset/ penelitian tentang film tipis memerlukan biaya yang sangat besar. Berbagai masalah inilah yang menyebabkan perkembangan film tipis di negara kita tersendat dan mengalami banyak hambatan. Sebagai sedikit informasi berdasarkan pengalaman penulis membuat transistor efek medan organik (OFET) berbasis film tipis CuPc untuk sensor gas beracun. Adapun peralatan utama dalam penyelenggaraan penelitian disajikan dalam tabel 5.3, sebagai berikut:

Tabel 5.3: Peralatan utama untuk deposisi film tipis

No.	Nama ALat	Kegunaan	Tempat
1.	<i>Vacuum Evaporator</i> (VE)	Deposisi film tipis	Laboratorium Material UGM Laboratorium Material ITB
2.	XRD dan SEM	Karakterisasi film tipis	Laboratorium Geologi Kwartir (PPGL) Bandung UNS Solo
3.	Peralatan <i>Lithography</i> divais semikonduktor	Proses pembuatan devais	LIPI Bandung
4.	El-Kahfi 100	Karakteristik OFET	Laboratorium Material UGM Laboratorium Material UNNES
5.	Alat uji Sensor gas	Uji <i>repon time</i> dan <i>recovery time</i>	BATAN Yogyakarta UNNES Semarang

Pengembangan teknologi di bidang mikromaterial/ nanomaterial diperlukan fasilitas yang lengkap untuk proses deposisi sampai dengan aplikasi divais yang dibuat, sebab tanpa fasilitas sulit untuk berkembang. Jika kita memperhatikan kondisi yang ada sekarang ini, khususnya negara kita belum ada laboratorium yang terintegrasi berkaitan dengan film tipis. Laboratorium yang terintegrasi adalah laboratorium yang memiliki fasilitas dan peralatan yang lengkap untuk melakukan riset/ peneliitan. Laboratorium terintegrasi yang dimaksud adalah laboratorium memiliki beberapa fasilitas yang lengkap, sejak pengembangan untuk menemukan material/ bahan semikonduktor sampai dengan fabrikasi divais dan aplikasinya.

## Bab 6

# PENUTUP

Buku ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi pembaca yang berminat belajar teknik deposisi film tipis, karakterisasi struktur kristal dan analisis hasil deposisi. Penulis memaparkan metode deposisi film tipis dengan bahan semikonduktor organik CuPc (*copper phthalocyanine*) berbentuk serbuk dan berwarna biru. Selaian metode deposisi film tipis juga akan diuraikan hasil deposisi film tipis dan karakterisasi menggunakan X-RD/SEM. Adapun alat yang digunakan untuk deposisi film tipis CuPc adalah *Model JEOL JEE-4X*.

Penulis menyajikan hasil deposisi film tipis CuPc dengan variabel arus pada alat *vacuum evaporator* (VE), yaitu: 35 A, 40 A, 45A dan 50 A. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa deposisi film tipis dengan variabel arus 35 A tidak tampak adanya puncak yang dominan. Sedangkan deposisi dengan variabel arus 40, 45 dan 50 A tampak puncak dominan yang berkaitan dengan struktur kristal. Morfologi film tipis berkaitan dengan struktur kristal yang ditunjukkan oleh spektrum *X-ray diffraction* (XRD). Penambahan arus pada saat deposisi menyebabkan kecepatan deposisi film tipis meningkat tetapi resistansinya menurun. Disamping itu perubahan arus pada saat deposisi akan menghasilkan film tipis dengan nilai FWHM lebih rendah, ini menunjukkan kualitas kristal lebih baik.

Buku ini bertujuan memberikan alternatif untuk memahami karakterisasi film tipis yang dapat kita lakukan dalam kondisi keterbatasan alat. Memang terkadang hasil riset yang kurang eksak, tetapi cukup memberikan informasi tentang sifat-sifat mikromaterial yang sedang kita pelajari. Jelas, hal ini lebih baik dari pada kita diam saja tidak melakukan apa-apa dan mengeluh karena keterbatasan peralatan yang ada.

# DAFTAR PUSTAKA

Abe, H., Yoshimura, T., Kanaya, S., Takahashi, Y., Miyashita, Y., Sasaki, S., 1987 Automated Odor-sensing System Based on Plural Semiconductor Gas Sensors and Computerized Pattern Recognition Techniques, *Anal. Chim. Acta.*; 194, 1-9.

Barmawi Malvino dan Tjia, 1985, *Aproksimasi Rangkaian Semi Konduktor (Pengantar Transistor Rangkaian Terpadu)*, Jakarta: Erlangga.

Brunauer, S., P.H. Emmett, P.H. and Teller, E., 1938, *J. Am. Chem. Soc.*, 1938, 60, 309.

Darsono dan Suhadi, 1977, *Ilmu Bahan Listrik I*, Jakarta: Proyek Pengadaan Buku Pendidikan Menengah Teknologi.

Maggioni, G., Carturan, S., Quaranta, A., Patelli, A., Della Mea, G., *Chem. Mater.* 14 (2002) 4790.

Maggioni, G., Quaranta, A., E. Negro, E., S. Carturan, S., G. Della Mea, G., *Chem. Mater.* 16 (2004) 2394.

Maggioni, G., Quaranta, A., Carturan, S., Patelli, A., Tonezzera, M., Ceccato, R. dan Della Mea, G., 2005, Deposition of copper phthalocyanine films by glow discharge induced sublimation for gas sensing applications, *Surface and Coatings Technology* 200 (2005) 476-480.

Mikrajuddin Abdullah dan Khairurrijal, 2010 *Karakterisasi Nanomaterial (Teori, Penerapan, dan Pengolahan Data)*, CV. Rezeki Putera Bandung.

Heri Sutanto, Iis Nurhasanah, Istadi, Maryanto, Wahyu Ambikawati, dan Nofi Marlina, 2010, Mikrostruktur Semikonduktor GaN di Atas Substrat Silikon Dengan Metode Sol-Gel, *Berkala Fisika*, ISSN: 1410- 9662 Vol 13, No. 2, April 2010 hal 55-60.

Jones, A.C., & Brien, P. O, *CVD of Compound Semiconductors : Precursors Synthesis, Development and Applications*, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Germany, 1997.

Joshi, C. 2003. Characterization and Corrosion of BCC-Tantalum Coating Deposited on Aluminium and Steel Substrate by DC Magnetron Sputtering. *Thesis*, Institute of technology, New Jersey: 10-18.

Leznoff, C., C. and Lever, A., B., P., 1989, *Phthalocyanines, Properties and Applications*, 1-3 VCH

Lu, Z., Truman, J.K., Johansson, M.E., Zhang, D., Shih, C.F., & Liang, G.C., *Appl. Phys. Lett.* 67, 712 (1995).

Muhaimin. 1991, *Bahan-bahan Listrik untuk Politeknik*, Jakarta: Andi Offset.

Nur Aini Handayani, 2007, Analisis XRD pada film tipis  $Al_x Ga_{1-x}N$  di atas Si (111) yang Ditumbuhkan dengan Metode *dc Magnetron Sputtering*, *Skripsi*, Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.

Ohring, M., 2002, *The Materials Science of Thin Films*, Elsevier Science & Technology Books

Purwaningsih, S.Y. 2003. Pembuatan Lapisan Tipis ZnO:Al pada Substrat Kaca dengan metode *DC Magnetron Sputtering* dan Karakterisasi Sifat Fisisnya. *Thesis*. Universitas Gajahmada, Yogyakarta: 8-10.

Smallman, R.E. and Bishop, R.J., 1999, Modern Physics Metallurgy and Materials Engineering, *Great Britain, Bath Press*.

Smallman, R.E. dan Bishop, R.J., 2000, *Metallurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, 6<sup>th</sup> Edition. PT. Gelora Aksara Pratama.

Santos, P. V., N. M. Johnson, and R. A. Street, 1991, *Light-Enhanced Hydrogen Motion in a-Si:H*, *Phys. Rev. Lett.*, 67, 2686-2689.

Sugianto, M. Budiman, P. Arifin, dan M. Barmawi, 2004, Strain Film Tipis GaN Ditumbuhkan Di Atas Substrat Sapphire Dengan Metode PA-MOCVD, *PROSIDING SEMINAR NASIONAL REKAYASA KIMIA DAN PROSES 2004*, ISSN: 1411- 4216.

Sugianto, Sani, R.A., Budiman, M., Arifin, P. and Barmawi, M., (2000) ,GaN thin-filmgrown onhydrogen plasmacleaned sapphiresubstrates by plasma-assisted MOCVD. *Proc.of International workshop on nitride semiconductor (IWN-2000)*, Nagoya-Japan,September 24-27, IPAP Conf. Series-1, 251.

Sulhadi, Putut Marwoto dan Sugianto, 2010, Pengaruh Kondisi Penumbuhan Pada Sifat Fisis Film Tipis GA<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dengan Doping ZNO, *Saintekmol (Jurnal Sain dan Teknologi)*, Vol 8 No.2.

Sujarwata dan Kuwat Triyana, 2010, Studi Penumbuhan Film Tipis CuPc Dengan Metode Penguapan Hampa Udara Pada Suhu Ruang Untuk Aplikasi Sensor Gas, *Saintekmol (Jurnal Sain dan Teknologi)*, Vol 8 No.2.

Street, R. A., 1991, *Hydrogenated Amorphous Silicon*, Cambridge University Press, London.

Sumanto, 1996, *Pengetahuan Bahan untuk Mesin dan Listrik*, Jakarta: Andi Offset.

Warner, Marc; et al, 2013), *New Material for Quantum Computing Discovered Out of the Blue*, Nature. Retrieved November 3, 2013.

Yin, C. K. C., 2001, *Phthalocyanine Based Organic Solar Cells*, Master Thesis, University of Hongkong, Hongkong.

[https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray\\_Diffraction](https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction)

<http://eprints.uny.ac.id/8160/3/bab2-08306141017.pdf>

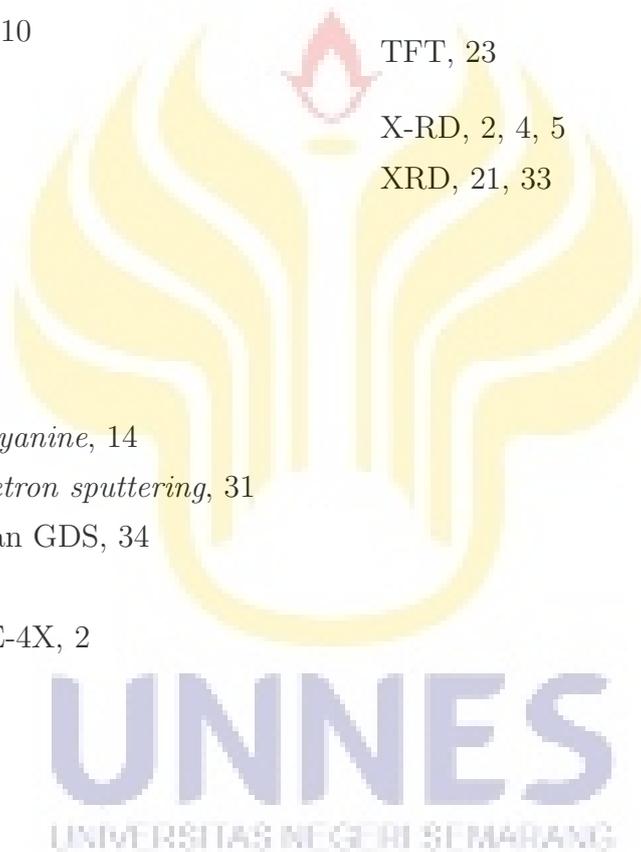
[http://id.shvoong.com/products/consumer\\_electronics/2203015](http://id.shvoong.com/products/consumer_electronics/2203015)

<https://en.wikipedia.org/wiki/CuPc>

# Indeks

- Brunauer-Emmett-Teller*, 35  
*Chemical Vapor Deposition*, 24  
*Metal Organic Chemical Vapor Deposition*, 25  
*Pulsed Laser Deposition*, 24  
*Specific Surface Area*, 35  
*Sputtering*, 24  
*X-Ray Diffraction*, 21  
*bom bardier*, 24  
*cool blue*, 17  
*dc magnetron sputtering*, 33  
*desublimation*, 22  
*multilayer*, 27  
*nitrogen*, 31  
*on /off*, 34  
*particulate*, 24  
*phthalo blue*, 17  
*reactor*, 27  
*resonator tipe down-stream*, 28  
*rough*, 24  
*sputtering*, 31  
*thin film*, 15, 23  
*Chemical Vapour Deposition*, 2  
*Copper phthalocyanine*, 4  
*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*, 19  
*Hole Transport Layer*, 14  
*Organic Light-Emitting Diode*, 10  
*Phthalocyanine*, 2  
*Scanning Electron Microscopy*, 2  
*Scanning Electron Microscopy (SEM)*, 4  
*Sputtering*, 2  
*X-Ray Diffraction*, 2  
*X-Ray Diffraction*, 2  
*X-Ray Diffraction (X-RD)*, 4  
*antimony*, 11  
*boron*, 11  
*channel*, 4  
*doping*, 4  
*mobile*, 14  
*organometalic*, 2  
*photoconductive response*, 1  
*phthalocyanine*, 15  
*sofwere*, 19  
*sputtering*, 3  
*vacuum evaporator*, 4  
*photovoltaik*, 18  
CVD (*chemical Vapour Deposition*), 3  
silikon (Si), 2  
Copper Phthalocyanine, 14  
CuPc, 2, 4, 14, 15, 17  
CuPc (*Copper Phtalocyanine*), 2  
CVD, 25  
deposisi, 2, 5, 31

deposisi (penumbuhan), 2  
DEPOSISI FILM TIPIS, 22  
doping, 11  
EDAX, 21  
film tipis, 2–5, 22, 23  
GDS, 33, 34  
Hambatan Jenis, 10  
HOMO, 18  
Isolator, 6  
karakterisasi, 5  
Konduktor, 6  
LUMO, 18  
Material *phthalocyanine*, 14  
Metode *dc magnetron sputtering*, 31  
metode VE dengan GDS, 34  
MOCVD, 25  
Model JEOL JEE-4X, 2  
MOVPE, 27  
OFET, 16, 18  
OLED, 14  
resistansi, 3  
SEM, 2, 4, 5  
SEM-EDX, 19  
Semikonduktor, 6  
semikonduktor, 13  
Semikonduktor Ekstrinsik, 10  
Semikonduktor Intrinsik, 10  
semikonduktor organik, 2  
Semikonduktor tipe N, 13  
Semikonduktor tipe P, 13  
sensor, 2, 34  
sensor gas, 4  
sensor kimia, 3  
spektromete FT-IR, 35  
Subtrat, 28  
TFT, 23  
X-RD, 2, 4, 5  
XRD, 21, 33



# GLOSARIUM

**CuPc (*Copper Phthalocyanine*)** : Merupakan merupakan material semikonduktor organik yang sering digunakan pada deposisi film tipis.

**Transistor efek medan organik (OFET)** : Transistor yang menggunakan semikonduktor organik, dimana sambungan antara logam semikonduktor dipengaruhi oleh efek medan listrik.

**SEM- EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)** : merupakan 2 perangkat analisis yang digabungkan menjadi satu panel analitis sehingga mempermudah proses analisis dan lebih efisien.

**Hasil analisis SEM-EDX** : Berupa gambar struktur permukaan dari setiap sampel yang diuji dengan karakteristik gambar 3-D serta grafik.

**Data EDAX dan XRD** : dianalisis untuk mengetahui penumbuhan film tipis di atas substrat dan orientasi kristal dari film tipis.

**Teknologi *Thin Film* (TFT)** : Merupakan salah satu bagian dari teknologi proses mikro-elektronika/ nano-elektronika untuk fabrikasi kompone PLD merupakan teknik deposisi yang menggunakan laser sebagai sumber energi untuk mengevaporasi material yang berupa *bulk target* komponen elektronika dan sensor secara *screen-printing*.

**Sputtering (DC atau RF)** : Merupakan pelepasan atom-atom dari permukaan target oleh *bombardier* partikel yang berenergi tinggi. Atom-atom dari permukaan target dapat terlepas akibat ion yang dipercepat menumbuk permukaan target melalui proses transfer momentum.

**Metode deposisi MOCVD** : Salah satu metode deposisi yang memiliki beberapa keunggulan dalam bidang teknologi pembuatan film tipis (Jones and Brien, 1997).

**Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)** : Reaksi CVD berlangsung pada temperatur tinggi untuk mengatasi energi aktivasi *reactan*. Temperatur tinggi akan merusak substrat, khususnya bagian-bagian metal.

**Metode LPCVD** : Merupakan salah satu dari metode metode penumbuhan (deposisi) dengan memanfaatkan proses pengendapan uap kimia tekanan rendah.

**MOCVD (*Plasma-Assisted Metalorganic chemical Vapor Deposition*)** : Merupakan metode secara epitaksi yang menjadi standar industri untuk produksi divais elektronika.

**BET** : Merupakan singkatan dari nama-nama ilmuwan yang menemukan teori luas permukaan spesifik pada suatu material. Ilmuwan tersebut adalah Brunauer, Emmet dan Teller.

**X-ray powder diffractomete** : Utamanya dipergunakan untuk identifikasi tahapan dalam bentuk serbuk.

**SEM** : Jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan material yang dianalisis.

**Amorf** : Memiliki pola susunan atom-atom atau molekul-molekul yang acak dan tidak teratur secara berulang. *Amorf* terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak dapat dengan tepat menempati lokasi kisinya.

**X-Ray Diffraction** : Instrumen dirancang untuk aplikasi pengukuran *microstructure*, pengujian dan penelitian. Berbagai aksesoris, pengendalian perangkat lunak dan perhitungan dipilih untuk difraksi yang sesuai sistem dan kebutuhan praktis.

**Deposisi** : Pengertian deposisi secara umum adalah suatu proses perubahan dari gas berubah menjadi padat (dikenal sebagai *desublimation*)

**Semikonduktor** : adalah sebuah bahan (material) yang memiliki sifat konduktivitas listrik yang berada di antara isolator dan konduktor.