

TEKNOLOGI PENDEPOSISIAN FILM TIPIS METAL DENGAN METODE DC-SPUTTERING

Slamet Widodo

PPET-LIPI, Jl. Sangkuriang Komp. LIPI Bandung 40135
No.Telp/Fax:022-2504660/022-2504659,
E-mail: widodo @ppet.lipi.go.id

Abstrak

Dalam tulisan ini diuraikan hasil pengujian dan pengukuran ketebalan pendeposisian film untuk target Tembaga (Cu), Nikel-Chrom (Ni-Cr) menggunakan DC-Sputtering dan ditunjukkan adanya hubungan kuat antara ketebalan film dengan waktu pendeposisian dengan sistem sputtering yang bersifat linier untuk setiap jenis target. Juga ditunjukkan kurva karakteristik pada kondisi tekanan argon (Ar) konstan, peningkatan nilai daya dari mulai 100 hingga 300 watt menyebabkan pertambahan nilai kecepatan pendeposisiannya sedangkan untuk nilai dari 350 hingga 450 watt, nilai peningkatan kecepatan pendeposisiannya mendekati konstan. Dan pada kondisi daya konstan, penambahan tekanan gas argon (Ar) menurunkan nilai kecepatan pendeposisiannya. Dengan membandingkan setiap kurva karakteristik pada tekanan dan daya yang sama, hubungan perbandingan nilai kecepatan pendeposisian untuk setiap jenis target adalah :Tembaga (Cu) > Nikel-Chrom (Ni-Cr).

***Kata kunci:** Deposisi, Cu, Cr, Ni-Cr, DC-Sputtering.*

Abstract

In this paper described the results of testing and measurement of film thickness for target deposition Copper (Cu), Nickel-chromium (Ni-Cr) using DC-Sputtering, and shown a strong correlation between film thickness with time deposition by sputtering systems which are linear for each type of target. Characteristic curve is also shown on the pressure conditions of argon (Ar) constant, increasing the value of power from the starting 100 to 300 watts causes deposition while the value added to value of speeds from 350 to 450 watts, the value increased deposition nearly constant speed. And at constant power conditions, the addition of argon gas pressure (Ar) decreases the value deposition speed. By comparing each characteristic curve at the same pressure and power, connection speed deposition value comparison for each type of target are: Copper (Cu)> Nickel-chromium (Ni-Cr).

***Keywords:** Deposition, Cu, Cr, Ni-Cr, DC-Sputtering*

1. Pendahuluan

Untuk menghasilkan sebuah rangkaian atau komponen film tipis, harus melalui beberapa tahap pemrosesan yang dilakukan secara sistematis dan berulang. Setiap proses mempunyai prosedur dan teknik pembuatan masing-masing. Salah satu proses yang harus dilakukan pada pembuatan komponen atau rangkaian film tipis yaitu pelapisan bahan (deposisi) pada substrat dengan menggunakan sistem sputtering.

Sistem sputtering dapat melapiskan berbagai jenis logam maupun paduan logam (*metal alloy*) atau non logam pada substrat sehingga dalam industri rangkaian hibrid, sistem sputtering banyak dipakai sebagai salah satu langkah utama untuk membuat lapisan film tipis (*Thin Film Layer*) pada substrat.

Sistem sputtering merupakan sistem yang paling banyak memberikan keuntungan dibandingkan dengan vakum evaporasi [5].

- a. Dapat melapisi film dari jenis logam, paduan logam, isolator, semikonduktor bahkan logam magnetik.
- b. Kecepatan pendeposisian untuk setiap jenis bahan tidak jauh berbeda.
- c. Dapat melakukan pendeposisian banyak lapisan (multilayer) dengan baik karena kemampuan melapisi berbagai jenis logam.
- d. Ketebalan film lebih mudah dan sederhana untuk diamati dan dikendalikan.
- e. Daya adhesi antara film dan permukaan substrat lebih kuat.

Sputtering adalah proses terlemparnya (*ejected*) materi dari suatu permukaan zat padat atau zat cair akibat ditumbuk oleh partikel berenergi tinggi hingga terjadi pertukaran momentum (*momentum exchange*). Target yang berupa bahan pelapis (*coating material*) diletakkan searah dengan substrat (Gambar 1) dalam suatu ruang vakum dengan tekanan awal (*base pressure*) sebesar 5×10^{-4} sampai 5×10^{-7} Torr. Jenis partikel yang ditembakkan berasal dari ion gas yang tidak mudah bereaksi zat lain atau gas inert. Materi yang terlempar berupa atom dari suatu logam atau campuran logam akan menempel pada permukaan substrat.

2. Metodologi

Proses deposisi metal dan non metal (Alloy) dilakukan dengan metode Sputtering. Alat yang digunakan ialah Sputtering Machine (Plasma Science ARC-12 M). Alat ini dapat dioperasikan secara DC Sputtering (untuk proses deposisi material yang bersifat konduktor) dan RF Sputtering (untuk konduktor maupun non konduktor). Didalam penelitian ini dilakukan pendeposisian logam Tembaga (Cu), Nikel-Chrom (Ni-Cr) dengan variabel waktu (menit), daya (watt), dan tekanan gas pembawa argon (Ar) (mTorr).

Sistem sputtering memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan evaporasi :

- a. Dapat melapisi film dari jenis logam, paduan logam isolator, semikonduktor maupun logam magnetik.
- b. Kecepatan pendeposisian untuk setiap jenis bahan tidak jauh berbeda.
- c. Dapat digunakan untuk pendeposisian banyak lapisan (multilayer).
- d. Ketebalan film lebih mudah diamati dan dikendalikan.
- e. Daya adhesi antara film dan permukaan substrat lebih kuat.

Sputtering adalah proses terlemparnya materi dari suatu permukaan zat padat atau cair akibat ditumbuk oleh partikel berenergi tinggi hingga terjadi pertukaran momentum (*momentum exchange*). Target yang berupa bahan pelapis (*coating material*) diletakkan searah dengan substrat (Gambar 1) dalam suatu ruang vakum dengan tekanan awal sekitar 5×10^{-4} - 5×10^{-7} Torr. Kondisi vakum tinggi disini dimaksudkan untuk menekan kontaminasi dari gas-gas yang potensial mengotori pada tingkat yang serendah-rendahnya. Selama proses berlangsung, dimasukkan gas inert seperti gas Argon yang dipertahankan pada tekanan sekitar 10^{-3} Torr.

2.1 Jenis-jenis pengoperasian Sputtering

2.1.1 Sputtering dengan arus searah (DC Sputtering)

Sputtering dengan arus searah (DC Sputtering) atau biasanya disebut cathode sputtering, bekerja pada tekanan rendah dan biasanya menggunakan gas argon (Ar) untuk menghasilkan ion-ionnya. Disebut sebagai Sputtering dengan arus

searah (DC Sputtering) karena tegangan yang digunakan untuk mempertahankan terjadinya *glow discharge* adalah tegangan searah yang cukup tinggi antara ratusan volt sampai ribuan volt pada kedua elektrodanya.

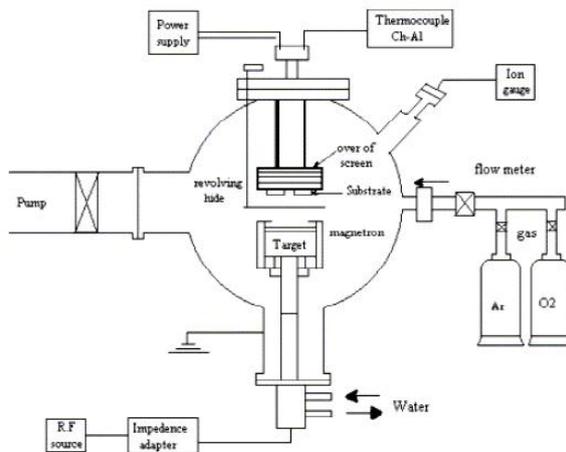
Pada anodanya diletakkan substrat yang akan dilapisi film sedangkan target atau bahan pelapisnya diletakkan pada katodanya. Keduanya diletakkan saling berhadapan dengan arah normal dan diantara keduanya akan dimasukkan gas argon (Ar) dengan tekanan rendah sehingga akan terjadi *glow discharge* saat diberi tegangan pada kedua elektrodanya. Ion-ion argon (Ar) yang bermuatan positif akan menghantam target pada katoda yang berpotensi negatif. Akibat tumbukan dengan energi tinggi maka atom-atom dari material akan terlempar dari target. Atom-atom tersebut akan menempel pada substrat dan akan membuat lapisan film tipis (*thin film layer*) pada substrat.

Sebelum gas argon (Ar) dimasukkan ke dalam ruang vakum, harus lebih dahulu memenuhi kondisi awal tekanan (*base pressure*) antara 10^{-5} – 10^{-7} torr. Tujuannya adalah agar bersih dari segala jenis partikel dan juga tidak ada lagi gas residu seperti oksigen dalam ruang tersebut. Sehingga didapat hasil pen deposisian yang optimum.

2.1.2 Sistem Sputtering dengan frekuensi radio (Radio Frequency Sputtering)

Pada target jenis isolator tidak dapat melapisi substrat dengan menggunakan sistem sputtering arus searah DC-sputtering karena tegangan yang digunakan yang digunakan akan mencegah terjadinya penetrasi muatan positif yang berkumpul pada permukaan target, saat ditumbuk oleh ion-ion. Berkumpulnya muatan positif akan menyebabkan perbedaan potensial antara katoda dan anoda menjadi semakin kecil. Akibatnya keadaan *glow discharge* tidak dapat dipertahankan bahkan akan mematikan *glow discharge*. Untuk mengatasinya yaitu dengan menggunakan tegangan bolak-balik dengan frekuensi tinggi. Karena frekuensi yang digunakan adalah frekuensi radio maka proses ini disebut RF sputtering. Perangkat sistem yang menggunakan RF sputtering ditunjukkan dalam Gambar 1. Frekuensi radio yang sering digunakan pada industri-industri, bidang penelitian ilmiah dan bidang adalah 13,56 MHz.[3].

RF-sputtering mempunyai banyak kelebihan dibandingkan DC-sputtering karena selain bahan isolator, sistem ini juga dapat menggunakan target jenis konduktor, resistor, dan dielektrik. Dengan kelebihan yang dimiliki RF-konduktor, resistor, dan dielektrik. Dengan kelebihan yang dimiliki RF-sputtering menambah fungsi dan kegunaan dari sistem sputtering itu sendiri sehingga sistem ini banyak dipakai pada industri-industri elektronik khususnya dalam bidang teknologi film tipis.



Gambar 1. Skema proses sputtering

Substrat dipasang pada anoda sedangkan material yang akan dideposisikan atau biasa disebut "material target" akan membentuk katoda. Antara katoda dengan anoda diberi tegangan tinggi (500 V - 5000 V). Perbedaan tegangan searah yang tinggi ini, akan mengakibatkan terionisasinya gas argon (Ar) menghasilkan *Glow Discharge*, yaitu pembentukan plasma secara terus menerus. Sumber elektron akan mensupport ionisasi dari gas inert sehingga pembentukan muatan positif dari argon disekitar katoda akan semakin cepat.

Ion ini akan membombardir material katoda (target) dengan energi tinggi yang mengakibatkan atom serta molekul target terpental (tercungkil) dari permukaannya. Sebagian dari partikel ini akan mengendap pada substrat. Sudut jatuhnya atom pada permukaan substrat berbeda-beda, hal ini akan menghasilkan suatu film tipis yang rata dibandingkan dengan proses evaporasi.

Metoda Sputtering seperti ini disebut *DC Sputtering* atau *cathode sputtering*. *DC Sputtering* hanya dapat digunakan untuk proses deposisi material yang bersifat konduktor,. Adapun untuk material non konduktor (isolator, dielektrik) proses deposisi harus dilakukan dengan RF Sputtering, karena potensial aselerasi dari sumber DC tidak bisa digunakan langsung pada permukaan isolator.

Disini, ion gas yang mencapai permukaan target tidak dapat dinetralisasi karena tidak tersedianya elektron bebas. Ion akan membentuk lapisan bermuatan positif pada permukaan target yang mengakibatkan terhentinya proses sputtering karena tidak adanya *Glow Discharge*. Masalah ini bisa diatasi dengan menggunakan tegangan bolak balik pada frekuensi radio 13,56 MHz. Dengan RF Sputtering, proses deposisi bisa dilakukan menggunakan target yang bersifat isolator, konduktor, resistor maupun dielektrik.

2.2 Kecepatan Pendeposisian Pada Sputtering

Dalam sistem sputtering, kecepatan pendeposisian dipengaruhi oleh Hasil Sputtering (*Sputtering yield*), Kecepatan Sputtering (*Sputtering rate*) dan Pengotoran (*Impurity trapping*).

Nilai Hasil Sputtering (*Sputtering Yield*)

Nilai hasil sputtering merupakan jumlah atom target yang terpental per satu ion penumbuk. Untuk menganalisis perubahan-perubahan yang terjadi pada proses sputtering, telah dikenal dengan analisis Sigmund's linear Cascade yang membuat korelasi antara energi ion (eV) dengan *Sputtering Yield* (atom/ion).

Analisis tentang hasil *Sputtering* ditentukan oleh persamaan sebagai berikut:

$$S = K \frac{M_i M_t}{(M_i + M_t)} [E/U] \alpha \tag{1}$$

dengan:

- α = fungsi dari M_t / M ,
- S = nilai hasil sputtering (atom per ion)
- E = energi yang dimiliki ion penumbuk (eV)
- U = energi sublimasi (eV/molekul) α
- K = konstanta dari 0,1 sampai 0,3.

Energi ambang (*Threshold energy*)

Energi ambang (*Threshold energy*) adalah energi minimum yang dimiliki ion penumbuk agar ion-ion dari target terpental, sehingga proses sputtering dapat terjadi. Dalam proses sputtering, hubungan antara hasil sputtering dengan energi ambang adalah sebagai berikut:

$$S = \alpha \left(E^{1/2} - E_{th}^{1/2} \right) \tag{2}$$

$$\alpha = \frac{k}{U} \left[\frac{Z_t}{Z_t^{2/3} + Z_x^{2/3}} \right] \left\langle \frac{Z_x}{Z_t + Z_x} \right\rangle^{0.67} \tag{3}$$

dengan:

- E = energi yang dimiliki ion (keV)
- k = konstanta (5,2)
- E_{th} = energi ambang (KeV)
- U = energi sublimasi (eV per partikel)
- Z_t = nomor atom target
- Z_x = nomor atom gas (ion penumbuk)

Jika sebuah molekul gas terdiri dari m jumlah atom, maka persamaan menjadi:

$$S = m^{1/2} - \left[(m E_{th})^{1/2} \right] \tag{4}$$

2.3 Kecepatan sputtering (*Rate of sputtering*)

Kecepatan sputtering didefinisikan sebagai jumlah atom yang terpental persatuan waktu dan luas. Pada saat kerapatan arus ion atau fluksi arus (J_i) sama dengan fluksi ion dikalikan muatan elektron q , maka kecepatan sputtering adalah

$$r_s = \frac{S J_i}{q} \tag{5}$$

dengan:

- r_s = kecepatan sputtering
- J_i = karapatan arus ion ($A \text{ cm}^{-2}$)

Pengotoran (*impurity trapping*)

Gas argon (Ar) yang digunakan sebagai ion penumbuk, bisa mengandung pengotor yang pada proses deposisi ikut mengendap pada substrat. Oksigen yang ikut masuk bersama-sama dengan gas argon (Ar) juga dapat bereaksi dengan atom-atom pada target sehingga dapat mempengaruhi resistansi lapisan film dan adhesivitasnya pada substrat.

Tahapan proses adalah sebagai berikut:

a. Pembersihan substrat
 Tahap ini sangat penting, karena akan menentukan kualitas dari lapisan film tipis yang terbentuk. Pengotor yang ada pada substrat dilarutkan dengan bahan-bahan pelarut kimia. Agar proses pembersihan lebih sempurna, proses pembersihan dilakukan dalam Ultrasonic cleaner. Bahan kimia yang biasanya digunakan antara lain ialah Trichloro ethylen (TCE), Trichloro ethan (TCA), etanol, atau acetone.

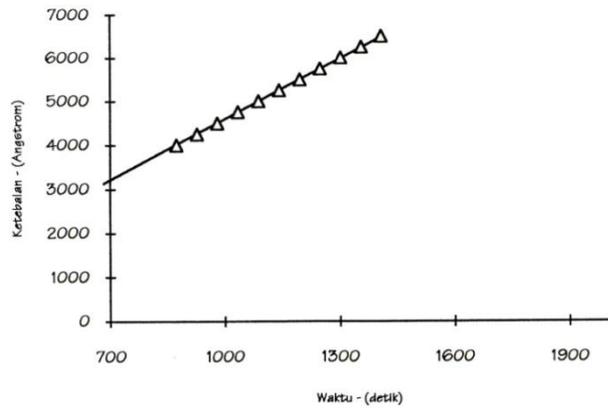
b. Tahap *Sputtering*
 Proses sputtering dilakukan pada mode operasi DC Sputtering, dengan tekanan awal (*base pressure*) berkisar antara 10^{-5} - 10^{-6} Torr. Setelah tercapai kondisi tersebut dimasukkan gas argon (Ar), sampai mencapai tekanan konstan sekitar 4 mTorr. Daya yang diberikan ialah 100 watt. Sebelum dilakukan proses deposisi, terlebih dulu dilakukan proses etsa dari substrat yang akan dilapisi. Caranya ialah dengan membalik arah ion penumbuk menuju substrat dengan energi rendah, sehingga hanya cukup untuk membersihkan partikel-partikel pengotor tanpa harus merusak permukaan substrat. Cara ini dapat menaikkan daya adhesif film pada permukaan substrat. Proses deposisi dilakukan menggunakan target yang diinginkan.

Pada alat sputtering yang digunakan disini, dapat dipasang 3 macam target, yang digunakan secara bergantian. Alat Sputtering yang digunakan disini sudah dilengkapi dengan monitor pengukur ketebalan (*Thickness monitor*), Prinsip kerja dari alat pengukur ketebalan ini ialah adanya kristal osilator yang frekuensi getarnya akan berubah sesuai dengan ketebalan film yang dihasilkan. Semakin banyak partikel hasil proses deposisi yang menempel pada kristal, getaran kristal osilator akan semakin rendah. Perbedaan frekuensi ini dikonversikan sebagai perbedaan ketebalan, yang langsung tampil pada layar monitor.

3. Hasil dan Pembahasan

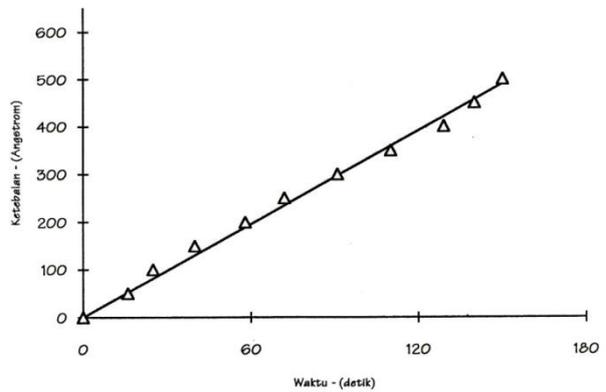
3.1 Ketebalan film Tembaga (Cu) dengan waktu

Dengan tekanan gas argon (Ar) 15 mTorr dan 200 watt diperoleh data hasil pengukuran data waktu pengukuran pendeposisian untuk ketebalan film tembaga (Cu).



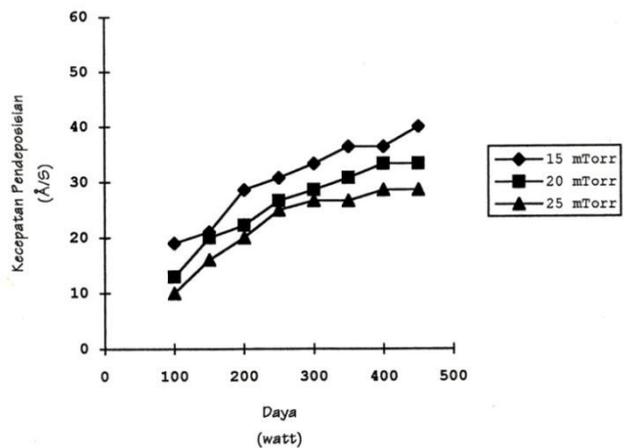
Gambar 2. Kurva hubungan Ketebalan film tembaga (Cu) terhadap Waktu

3.2 Ketebalan film Nikel-Chrom (Ni-Cr) dengan waktu



Gambar 3. Kurva hubungan Ketebalan film Ni-Cr terhadap Waktu

4.3 Pengaruh besarnya daya terhadap kecepatan pendeposisian



Gambar 4. Kurva Karakteristik Kecepatan Pendeposisian untuk Chrom (Cr)

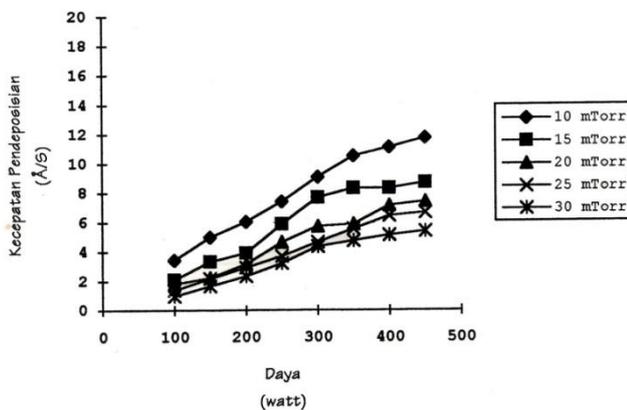
Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa kecepatan pendeposisian akan bertambah dengan naiknya daya, khususnya pada 100-300 watt, tetapi untuk penambahan daya dari 350-450 watt, kecepatan pendeposisian menunjukkan nilai mendekati konstan.

Tabel 1. Kondisi Proses Pendeposisian Cr, Ni-Cr dan Cu

Tekanan Base	$3 - 4 \times 10^{-5}$ Torr
Daya (Power)	200 Watt
Tekanan Gas	15 mTorr
Rotasi	8 Rpm
Gun/Shutter	2/2

3.3 Karakteristik Kecepatan Pendeposisian Tembaga (Cu)

Dari hasil pengukuran dan pengujian selama dilakukan pendeposisian terhadap target Tembaga (Cu), kecepatan pendeposisian untuk masing-masing tekanan gas Argon (Ar) dan daya yang diberikan. Kurva karakteristik kecepatan pendeposisian Cu ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Karakteristik Kecepatan Pendeposisian untuk Tembaga (Cu)

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan pengukuran ketebalan pendeposisian film untuk target Tembaga (Cu),

Chrom (Cr) dan Nikel-Chrom (Ni-Cr) menggunakan DC-Sputtering dalam sistem ARC-12M, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari kurva karakteristik dalam Gambar 2 - 4 menunjukkan adanya hubungan kuat antara ketebalan film dengan waktu pendeposisian dengan sistem sputtering ARC-12M yang bersifat linier untuk setiap jenis target.
2. Dari kurva karakteristik dalam Gambar 5, pada kondisi tekanan argon (Ar) konstan, peningkatan nilai daya dari mulai 100 hingga 300 watt menyebabkan pertambahan nilai kecepatan pendeposisiannya sedangkan untuk nilai dari 350 hingga 450 watt, nilai peningkatan kecepatan pendeposisiannya mendekati konstan. Dan pada kondisi daya konstan, penambahan tekanan gas argon (Ar) menurunkan nilai kecepatan pendeposisiannya.
3. Dengan membandingkan setiap kurva karakteristik pada tekanan dan daya yang sama, hubungan perbandingan nilai kecepatan pendeposisian untuk setiap jenis target adalah :Tembaga (Cu) >Chrom (Cr) >Nikel-Chrom (Ni-Cr).
4. Urutan besar nilai kecepatan pendeposisian tersebut ditentukan oleh sifat konduktivitas listrik masing-masing target dan besar massa relatif partikel-partikel penyusunnya.

Daftar Pustaka

- [1]. Class, Walter and Murray, (1969), *Solid state Technology: Sputtering Materials for Electronic Application*, Edisi December.
- [2]. Harper, Charles A & Ronald M Sampson, (1984), *Electronic Materials and Process Handbook*, edisi ke II, Singapore, Mc Graw Hill Inc.
- [3]. Jones, Roydn D, (1982), *Hybrid Circuit Design and Manufacture*, New York, Marcel Dekker, Inc.
- [4]. Lee, Hong H, (1990), *Fundamentals of Solid State and Electron Device*, Singapore, Me Graw hill Publishing Company.
- [5]. Maissel, Leon I dan Reinhard Glang, (1970), *Handbook of Thin Film Technology*, New York McGraw-Hill, Inc.
- [6]. Sequeda, F.O, (1986), *Journal of Metal: Film deposition Techniques in Microelectronics*, Edisi Februari, California.