

## Disain Dan Fabrikasi Mesin Sputtering Skala Laboratorium untuk Penumbuhan Film Tipis

(Design and fabrication of Laboratory Scale Sputtering Machine for Thin Film Growth)

BAGJA RESTU MUHAMMAD, ARIS WIDYO NUGROHO

### ABSTRACT

Plasma sputtering is well known method for preparation of thin films on various substrates. This technique involves expelling material from a target onto substrate in a vacuum chamber. Generally, the technique is equipped with argon supply system for ionized gas bombardments of the target. This work shows designing and fabricating process of a simple sputtering machine without gas supply system and its preliminary thin film preparation test. A CAD software was applied to design its main apparatus namely a vacuum system and an electrical system. Afterward, those apparatus were fabricated and assembled. Preliminary test was conducted using a cooper plate as a target and plate glasses as substrates for 90 s and 130 s processing time. The vacuum pressure, voltage and the electric current were set up at  $10^{-2}$  torr, 150 volt and 1 A, respectively. The thin film on the glass was visually examined and its resistivity was measured using ohm meter. The results show that a cooper thin film has been coated on the glass with the resistivity of 12.6 and 9  $\Omega$ . At this stage, it is confirmed that the plasma sputtering machine being fabricated has successfully worked.

**Keywords:** sputtering, thin film, substrate, target

### PENDAHULUAN

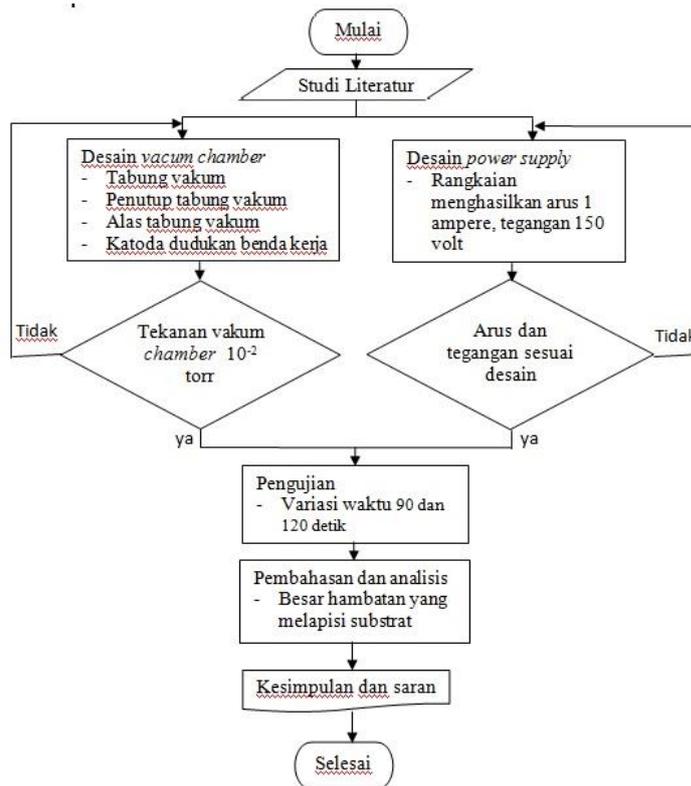
Penumbuhan lapisan tipis pada substrat telah banyak digunakan di dunia industri keteknikan. Lapisan tipis umumnya merupakan lapisan dari bahan organik, anorganik, metal maupun non metal yang memiliki sifat konduktor, semikonduktor maupun isolator. Menurut Sudjatmoko (2003) dengan menggunakan metode penumbuhan film tipis, proses pelapisan pada bahan non logam dapat dilakukan dengan mudah dan membutuhkan waktu yang lebih sedikit dan relatif cepat. Proses penumbuhan film tipis dapat dilakukan dengan beberapa metode, metode yang sering digunakan diantaranya *close spaced sublimation (CSS)*, *vapor transport deposition (VTD)*, *physical vapor deposition (PVD)*, *chemical vapour deposition (CVD)*, *molecular beam epitaxy (MBE)*, dan *electro deposition* (Mc Candles dan Sites, 2003). Dari beberapa metode tersebut, tipis, *sputtering* merupakan salah satu metode *PVD* yang sering digunakan pada proses pelapisan non logam. Metode *sputtering* ini banyak dipilih karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan teknik-teknik pembentukan film tipis lainnya. Kelebihan *sputtering* diantaranya adalah : (1) dalam penumbuhan film tipis membutuhkan tempetatur yang relatif rendah, (2) kontrol saat pendopingan dapat dilakukan dengan baik, (3)

mudah menghasilkan film tipis dari bahan yang mempunyai titik leleh tinggi, (4) hemat bahan yang akan dideposisikan, (5) hampir semua bahan padat, seperti semikonduktor, logam, logam paduan, dan keramik dapat ditumbuhkan (Compaan, 2004).

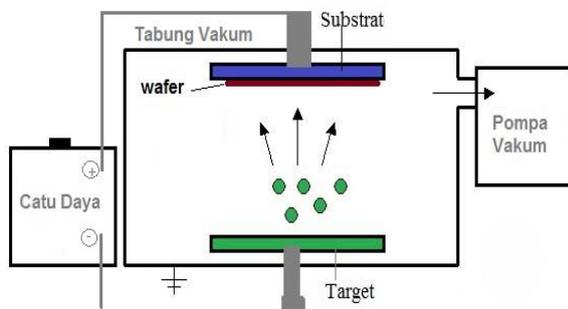
Dalam penggunaannya metode *sputtering* ini banyak diaplikasikan pada bidang industri atau laboratorium dengan menggunakan gas argon untuk membantu mengikis material target sebagai anoda. Pengikisan terjadi karena permukaan material target dilakukan bombardement dengan atom-atom argon sehingga partikel dari material target terlepas dan tertarik dan selanjutnya menempel sebagai *wafers* di permukaan material substrat sebagai katoda. Pada penelitian ini akan dibahas tentang perancangan dan pembuatan mesin sputtering dengan desain sederhana tanpa perlengkapan suplai argon, mudah pembuatannya, harga yang ekonomis, biaya perawatan yang murah, dan mudah dipindah-pindah (*portable*), dan dilanjutkan dengan pengujian awal dari mesin tersebut.

### METODE

Pada penelitian ini terdapat dua tahap, yaitu tahap perancangan dan tahap pembuatan alat. Alur perancangan dan pembuatan mesin sputtering dapat ditunjukkan oleh gambar 1.



GAMBAR 1. Alur perancangan dan pembuatan mesin sputering



GAMBAR 2. Skema Mesin Sputering

GAMBAR 3. Desain komponen *vacuum chamber*

### Perancangan Mesin Sputering

Mesin *sputtering*, dibagi menjadi 3 bagian utama (Gambar 2), yaitu: *vacuum chamber*, *power supply*, dan pompa vakum (Castro, dkk, 2010).

Perancangan mesin *sputtering* pada tahap awal dimulai dengan membuat sketsa kasar pada kertas dengan pertimbangan awal agar mesin *sputtering* mempunyai sifat mudah dibuat, ringan, *portable*, ekonomis, dan mudah dalam pemeliharaan. Tahap selanjutnya sketsa tersebut digambar menggunakan *software CAD*. Hasil desain *vacuum chamber* beserta dengan komponen penyusunnya ditunjukkan

pada gambar 3. Ukuran diameter tabung vakum disesuaikan dengan ketersediaan tabung kaca yang ada secara komersial sehingga tidak perlu membuat secara kusus. Pemilihan menggunakan material kaca sebagai tabung vakum, agar proses terjadinya plasma dan proses pelapisan *sputtering* dapat diamati. Plat *stainless steel* dipilih sebagai bahan penutup atas dan bawah, material pemegang substrat (katoda) dan material pemegang target (anoda). Pemilihan didasarkan pertimbangan bahwa *stainless steel* tahan korosi pada suhu tinggi. Pada waktu proses *sputtering* suhu akan naik sampai dengan  $200^{\circ}\text{C}$  karena proses pembentukan plasma. Hasil assembly dari komponen-komponen dari *vacuum chamber*

ditunjukkan oleh gambar 4. Untuk penguatan struktur dan penyekatan vakuum maka ditambahkan 4 batang pengikat pada tutup atas dan bawah mesin *sputering*.

*Power supply* yang dilengkapi dengan *voltage regulator* dirancang untuk menyediakan tegangan yang tinggi pada waktu proses *sputtering*. Rangkaian *power supply* terdiri dari transformator *step up*, kapasitor *high voltage*, dan dioda *high voltage* sebagai inti dari rangkaian *power supply*. Penyederhanaan sistem *power supply* ditunjukkan oleh Gambar 5.

### Pembuatan Mesin Sputering

#### 1. Tabung Vakum

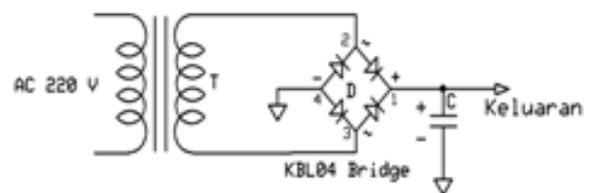
Proses pembuatan *vacum chamber* dilaksanakan di Laboratorium, Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Tabung kaca diameter luar 117 mm dan tebal 4 mm dipotong menggunakan

gergaji intan berukuran tinggi 150 mm untuk digunakan sebagai tabung vakum. Hasil permukaan pemotongan dihaluskan dengan gerinda untuk mengurangi ketajamannya. Dengan dimensi tersebut kaca yang digunakan mampu menahan tekanan yang terjadi pada saat proses pemvakuman.

Bahan plat tembaga dengan tebal 10 mm dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 75 mm sebagai target (anoda). Plat *stainless steel* dibubut sesuai desain sebagai penutup atas dan bawah menjadi tebal 16 mm dan di-drill pada beberapa tempat untuk lubang pemegang elektroda dan penguat. Plat *stainless steel* dengan ketebalan 10 mm di-machining menjadi pemegang substrat (anoda). Plat *stainless steel* tebal 1 mm dipotong dan dibentuk sebagai pemegang substrat (katoda). Magnet permanen dan mur-baut tersedia secara komersial di pasaran. Setelah semua komponen tersedia maka tabung vakum siap dirakit. Hasil rakitan ditunjukkan pada gambar 6.



GAMBAR 4. Desain *assembly vacuum chamber*



GAMBAR 5. Skema rangkaian *power supply*



GAMBAR 6. Tabung vakum

## 2. Power supply

Rangkaian *power supply* terdiri dari *voltage regulator*, transformator, kapasitor *high voltage*, dan dioda *high voltage* sebagai inti dari rangkaian *power supply* yang digunakan dalam mesin *sputtering*. Untuk mengontrol tegangan pada proses pelapisan pada mesin *sputtering* digunakan *voltage regulator* dengan input 220V, output 250V dan kapasitas 2000VA yang ditunjukkan pada Gambar 7(a).

Transformator yang digunakan dalam rangkaian ini adalah transformator jenis *step up*, transformator tipe ini dipilih karena memiliki spesifikasi daya 900 watt dan tegangan output sebesar 2000 V. Fuse 1 ampere pada rangkaian *power supply* digunakan agar tidak terjadi loncatan bunga api. Gambar 7(b) menunjukkan rangkaian elektrik dari *power supply* yang dibuat..

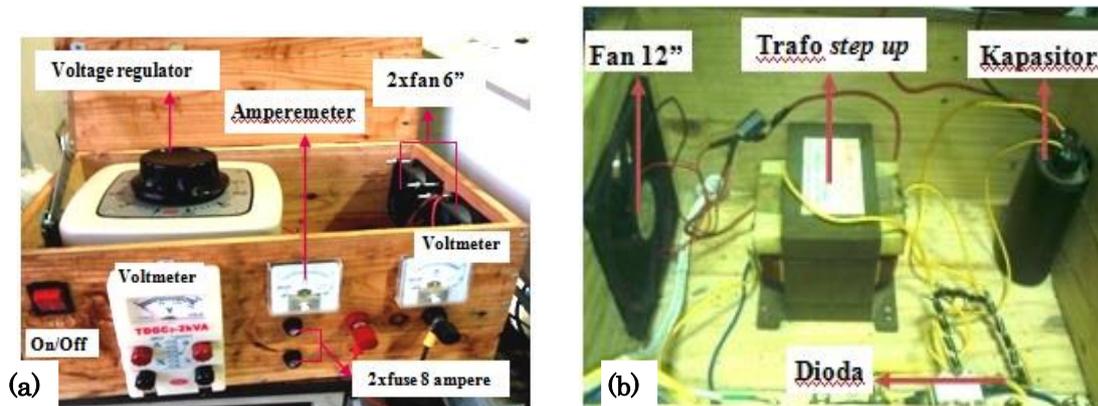
## 3. Vacuum pump

Pompa vakum yang digunakan pada mesin *DC magnetron sputtering* ini adalah pompa vakum merk ROTHENBERGER seri ROAIRVAC 1.5 (Gambar 8) yang mampu bekerja hingga tekanan vakum  $10^{-2}$  torr dan mudah untuk dipindah-pindah.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Fungsi Mesin

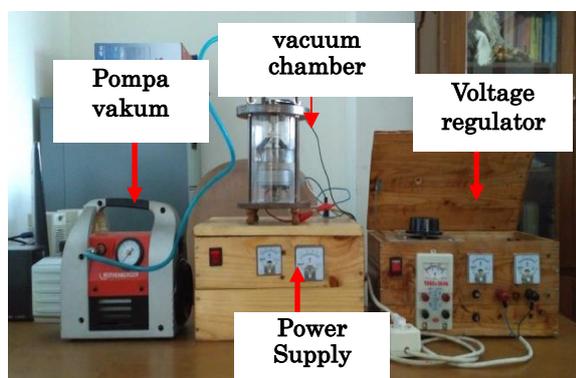
Berdasarkan desain rancangan alat kemudian difabrikasi mesin *sputtering* seperti yang ditunjukkan Gambar 9. Bagian-bagian utama dari mesin *sputtering* adalah sebagai berikut: pompa vakum, *vacuum chamber*, *power supply* dan *voltage regulator*.



GAMBAR 7. Rangkaian *power supply* (a) *voltage regulator* (b) adaptor



GAMBAR 8. *Vacuum pump*



GAMBAR 9. Mesin *sputtering*.

GAMBAR 10. Plasma pada mesin *sputtering*

Setelah mesin *DC magnetron sputtering* selesai dibuat langkah selanjutnya adalah melakukan proses pengujian pada sistem vakum dan sistem kelistrikannya. Pengujian tekanan *vacuum chamber* ini dilakukan dengan langkah pertama tabung vakum *chamber* dipasangkan selang pompa vakum pada bagian tutup tabung, kemudian langkah selanjutnya pompa vakum dinyalakan dan tekanan udara didalam vakum *chamber* diturunkan serendah mungkin yang ditunjukkan dengan naiknya indikator tekanan pada pompa vakum, dan  $10^{-2}$  torr telah dapat dicapai. Hal ini menunjukkan sistem vakum sudah sesuai dengan kebutuhan. Pengujian sistem *power supply* dilakukan pada kondisi sistem vakum sedang berjalan. Dari hasil percobaan sistem kelistrikan teramati mampu menyuplai tegangan yang dibutuhkan untuk membangkitkan plasma yang diindikasikan dengan munculnya warna ultraviolet pada tabung vakum seperti yang ditunjukkan pada gambar 10.

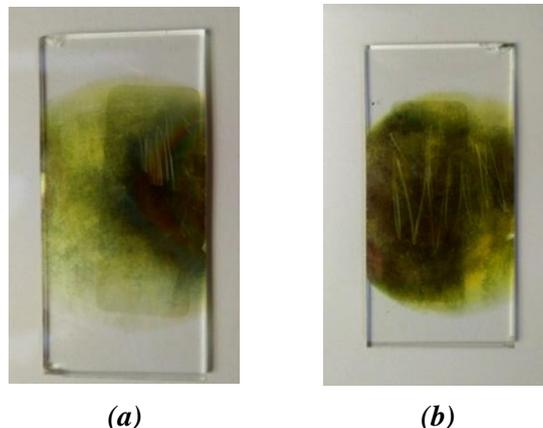
#### *Pengujian Penumbuhan Lapisan Tipis Tembaga pada Substrat Non Logam (kaca)*

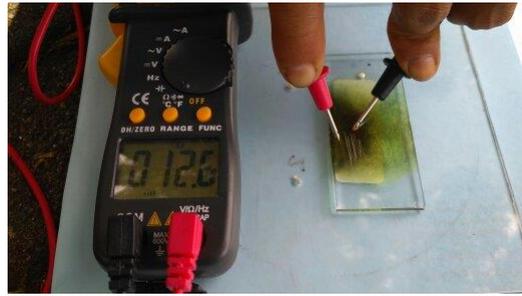
*Substrat* kaca dan anoda tembaga, dibersihkan menggunakan *alcohol* 90% lalu dibersihkan dan dikeringkan, sedangkan anoda tembaga dibersihkan menggunakan amplas halus ukuran 2000. *Substrat* diposisikan pada katoda yang

terdapat pada *vacuum chamber* kemudian *vacuum chamber* ditutup dengan mengencangkan mur topi yang terdapat pada tutup *vacuum chamber*. Menyalakan mesin vakum, untuk 3-5 menit sehingga diperoleh tekanan  $10^{-2}$  Torr. *Power supply* diaktifkan dan tegangan dinaikkan menggunakan *voltage regulator* sampai plasma terbentuk (100 volt). Tegangan dinaikkan kembali sampai plasma benar-benar stabil (150 volt) sehingga proses *sputtering* dan pembentukan *wafer* (lapisan target pada substrat) telah berlangsung. Nilai arus, tegangan dan waktu dicatat. Jika film tipis sudah terbentuk segera matikan *power supply* dan *voltage regulator*.

Pengujian pertama dengan menggunakan tegangan *voltage regulator* 150 volt,  $I_{max}$  1 ampere dan waktu 1 menit 30 detik dilanjutkan dengan pengujian kedua dengan tegangan sama 150 volt,  $I_{max}$  1 ampere dan waktu 2 menit 10 detik. Hasil pengujian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 11.

Lapisan tipis tembaga berwarna keemasan telah terdepositkan dipermukaan substrat kaca. Dari dua pengujian dengan variasi waktu pendeposisian yang berbeda 40 detik terlihat perbedaan warna. Untuk waktu pendeposisian yang lebih lama terlihat jumlah pendeposisian lebih banyak yang diindikasikan dengan warna yang lebih gelap (gambar 11(b)).

GAMBAR 11. Hasil pengujian menggunakan tegangan 150 V,  $I_{max}$  1A dan waktu 90 detik (a) waktu 130 detik (b).



GAMBAR 12. Pengukuran hambatan pada hasil pengujian dengan menggunakan tegangan 150 v,  $I_{\max}$  1A dan waktu 1 menit 30 detik

TABEL 1. Hasil Pengujian *sputtering*.

No	Vakum (Torr)	Tegangan (Volt)	Arus, $I_{\max}$ (Ampere)	Waktu (detik)	Resistansi ( $\Omega$ )
1	$10^{-2}$	150	1	90	12.6
2	$10^{-2}$	150	1	130	9.2

Setelah film tipis berhasil menempel pada *substrat*., berikutnya dilakukan pengukuran hambatan pada film tipis dengan menggunakan multimeter digital, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.

Dari data yang disajikan Tabel 1 dapat dilihat pada percobaan pertama dengan waktu 90 detik dihasilkan hambatan sebesar 12.6  $\Omega$ . Secara visual dapat terlihat warna yang lebih terang pada permukaan *substrat*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11a. Sedangkan pada percobaan kedua dengan waktu 130 detik didapat besar hambatan yaitu 9.2  $\Omega$  yang mengindikasikan bahwa semakin lama waktu *sputtering* hambatan yang terukur semakin kecil, karena semakin lama waktu deposisi membuat atom-atom dari target banyak yang terangkat dan menempel ke permukaan *substrat*. Apabila dibandingkan dengan hambatan jenis dari tembaga, nilai tersebut masih sangat besar, hal ini dikarenakan sangat tipisnya film yang terdeposisi ke permukaan *substrat*. Hasil pengukuran resistansi tersebut mengindikasikan bahwa permukaan kaca sudah berubah sifat menjadi konduktor.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan pada rancang bangun dan pengujian awal yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat mesin *sputtering* tanpa sistem supply argon dengan spesifikasi mesin yaitu: tegangan *voltage regulator* maksimal pada 180 volt karna dibatasi dengan pengamanan sekering 8 ampere, tekanan vakum yang digunakan

pada alat ini bertekanan maksimal 25 *micron*/ $10^{-2}$  torr.

2. Hasil *sputtering* tembaga pada kaca dengan waktu 90 dan 130 detik teramati adanya lapisan tipis kekuningan yang terukur hambatan sebesar 12.6 dan 9.2  $\Omega$ , sehingga permukaan kaca sudah mampu berfungsi sebagai konduktor.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Castro, C., Pulgarin.C., Sanjines.R. 2010. Skema mekanisme kerja *DC Magnetron Sputtering*. Diakses pada 13 Juni 2016. Dari [https://www.researchgate.net/figure/222313802\\_fig1\\_Fig-1-Schematic-diagram-of-a-DC-magnetron-sputtering-unit.Padapukul21.38](https://www.researchgate.net/figure/222313802_fig1_Fig-1-Schematic-diagram-of-a-DC-magnetron-sputtering-unit.Padapukul21.38) WIB.
- Compaan, A.D. 2004. High Efficiency, Magnetron Sputtered CdS/CdTe solar cells. *Science direct*, Solar Energy 77 (2004) 815-822.
- McCandless, B.E., Sites.J.R. 2003. Cadmium Telluride Solar cell. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Wiley. New York. Pp. 628-631.
- Musta'anah. 2010. *Pengaruh Daya Plasma Dan Suhu Substrat Pada Penumbuhan Film Tipis Ga2O3 Doping ZnO Dengan Metode Dc Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Sudjarmoko. 2003. Aplikasi Teknologi Sputtering untuk Pembuatan Sel Surya Lapisan Tipis. Workshop: Sputtering untuk

Rekayasa Permukaan Bahan. Yogyakarta:  
Puslitbang Teknologi Maju Batan: 3.

---

PENULIS:

Bagja Restu Muhammad

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan  
Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul,  
Yogyakarta 55183.

Email: bagjarestu85@gmail.com

Aris Widyono Nugroho

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan  
Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul,  
Yogyakarta 55183.

Email: nugrohoaris@gmail.com