



Pembangkitan Plasma Menggunakan Metode *High-Voltage Direct Current* Untuk Aplikasi *Direct Current Magnetron Sputtering*

Syarifah Nihlah Yahya^{*}), Fadli Robiandi, Ikal Maknun

Program Studi Fisika, Jurusan Sains, Teknologi Pangan, dan Kemaritiman, Institut Teknologi Kalimantan

Alamat afiliasi penulis: Jalan Soekarno Hatta KM 15 Kampus ITK Karang Joang

**E-mail korespondensi: syarifah.nihlah.yahya@gmail.com*

Abstract

Direct Current (DC) magnetron sputtering is one of the Physical Vapor Deposition (PVD) technique that use plasma as a medium. In this experiment, vacuum pumps, vacuum tubes (plasma reactor), capacitor, MOT transformers, HV bridge diodes, and regulator transformer is the main instrument of DC magnetron sputtering. By ionizing the trapped gas inside the vacuum tube will created the plasma. The ionization process could be done by giving DC high voltage electricity to the trapped gas in the plasma reactor that formed plasma. DC high voltage electricity (at 800-1600 Volt) could be form using regulator transformers, MOT transformers, HV bridge diodes, and HV capacitor. Plasma was ignited with the distance between the electrodes which is 2, 4, 6, and 8 cm and two different vacuum pump. From the experiment we got plasma at 35 Volt on regulator transformers or 464 Volt that measure on the electrodes.

Kata Kunci: *High-Voltage*, MOT, plasma, vakum

PENDAHULUAN

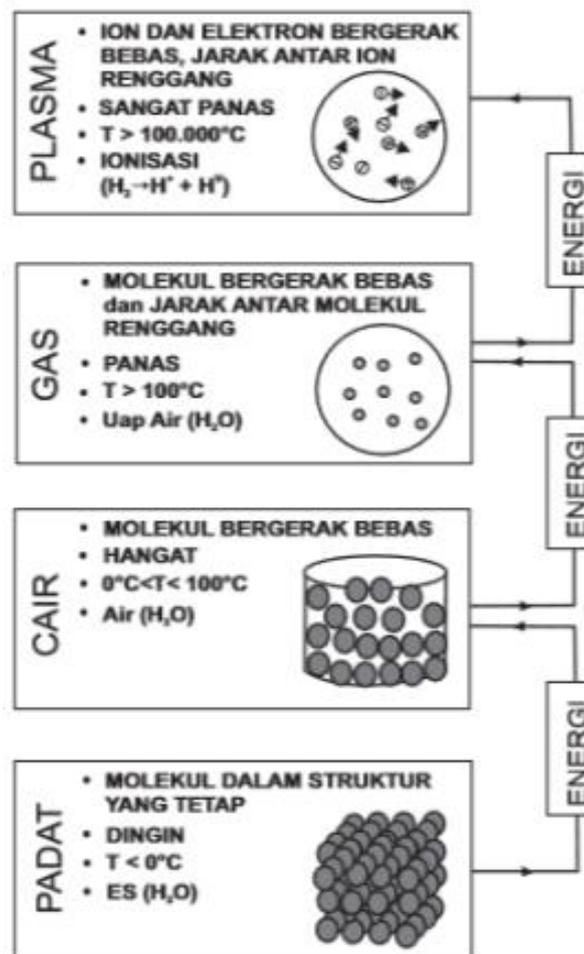
Plasma merupakan fase zat keempat setelah padat, cair, dan gas. Plasma dapat dibentuk dengan cara mengionisasikan gas pada tabung bertekanan rendah dengan cara memanaskan gas, atau dengan memberikan listrik bertegangan tinggi. Pada *DC magnetron sputtering* terdapat dua komponen utama untuk dapat menghasilkan plasma. Yakni sistem vakum dan sistem catu daya DC bertegangan tinggi. Faktor yang mempengaruhi plasma yang terbentuk pada *DC magnetron sputtering*, antara lain tegangan, arus, tingkat vakum, dan jenis gas yang diionisasikan.

Direct Current (DC) *magnetron sputtering* memanfaatkan plasma untuk dapat mendeposisikan lapisan tipis pada *thin conductive oxide* (TCO). *Transparent Conductive Oxide* (TCO) merupakan salah satu jenis kaca konduktif yang proses pembuatannya menggunakan metode yang sangat mudah untuk dilakukan [1]. Selain itu, *DC magnetron sputtering* juga dapat menggunakan logam sebagai target dalam melakukan proses deposisi [2]. *DC magnetron sputtering* juga merupakan teknik yang paling baik untuk material SnO₂ baik dari segi pengembangan industri berdasarkan tingkat deposisi, harga, dan kemungkinan untuk digunakan secara komersil dalam skala besar [3].

Berdasarkan penjelasan singkat di atas, penelitian lebih lanjut untuk membuat plasma yang selanjutnya dapat dimanfaatkan dalam melakukan deposisi lapisan tipis pada TCO dengan menggunakan *Direct Current Magnetron Sputtering*. Pada penelitian ini akan dilakukan pembangkitan plasma dengan menggunakan rangkaian *Direct Current magnetron sputtering* yang menggunakan trafo MOT sebagai komponen utamanya. Hal ini dikarenakan trafo MOT merupakan trafo yang dapat dengan mudah ditemukan, mudah digunakan, dan memiliki harga yang cukup murah. Karakteristik tegangan pada saat plasma terbentuk serta kestabilan plasma akan diinvestigasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep plasma pertama kali dicetuskan pada tahun 1928 oleh Langmuir dan Tonks. Mereka mendefinisikan plasma sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik [4]. Plasma sering disebut sebagai fase keempat dari material. Fase tersebut terbentuk pada saat substansi dipanaskan suhu diatas energi ikat dari keadaan tertentu material sehingga terjadi transisi fase [5].



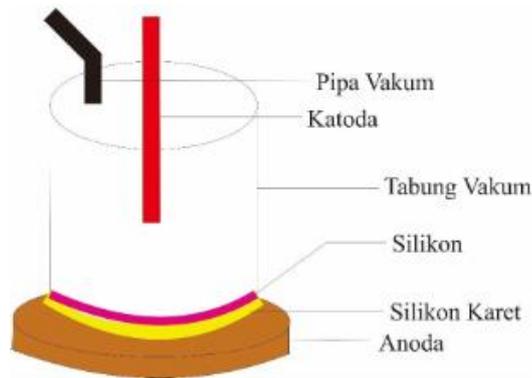
Gambar 1. Fase Material

Gambar 1 menunjukkan bahwa plasma merupakan daerah reaksi tumbukan elektron yang sangat signifikan untuk terjadi. Plasma dapat terjadi apabila suhu atau energi suatu gas dinaikkan sehingga memungkinkan atom-atom gas terionisasi dan melepaskan elektron-

elektronnya yang mana pada keadaan normal elektron tersebut mengelilingi inti [6]. Fenomena plasma juga dapat terjadi ketika medan listrik diaplikasikan pada gas sehingga menyebabkan elektron yang memiliki energi yang sangat besar akan mentransfer energinya pada molekul gas melalui proses tumbukan, eksitasi molekul, tangkapan elektron, disosiasi, dan ionisasi [7]. Plasma dapat terbentuk ketika terjadi campuran kuasinetral antara elektron, radikal bebas, ion positif, dan ion negatif [8]. Kondisi kuasinetral adalah kondisi ketika kerapatan ion (n_i) memiliki nilai yang hampir sama dengan kerapatan elektron (n_e) [9].

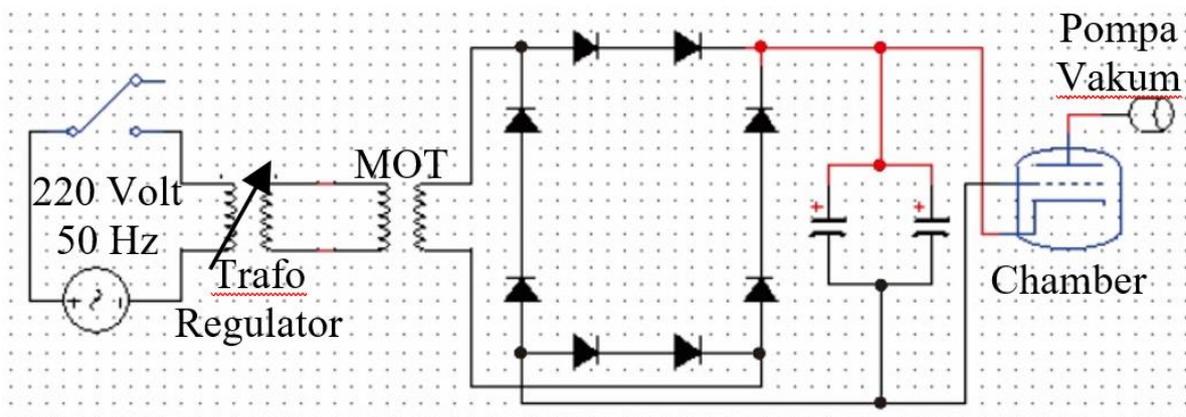
METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan sistem vakum dan catu daya DC bertegangan tinggi. Sistem vakum terdiri atas tabung vakum dan pompa vakum. Tabung vakum dibuat berbentuk silinder kaca. Pada bagian atas tabung vakum diberi dua buah lubang sebagai jalur pipa pompa vakum dan jalur katoda. Katoda berupa logam yang berbentuk silinder. Anoda berupa plat berada pada bagian bawah toples. Untuk menjaga sistem vakum, pada bagian mulut tabung vakum dilapisi silikon serta diberi tambahan penutup silikon karet dan lem silikon. Skema sistem vakum yang digunakan ditunjukkan oleh Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Sistem Vakum DC Magnetron Sputtering

Rangkaian sumber tegangan terdiri atas saklar MCB, trafo regulator, trafo MOT, dioda bridge HV, dan kapasitor HV. Rangkaian sistem tegangan tinggi serta komponen DC magnetron sputtering secara keseluruhan ditunjukkan oleh Gambar 3 sebagai berikut.



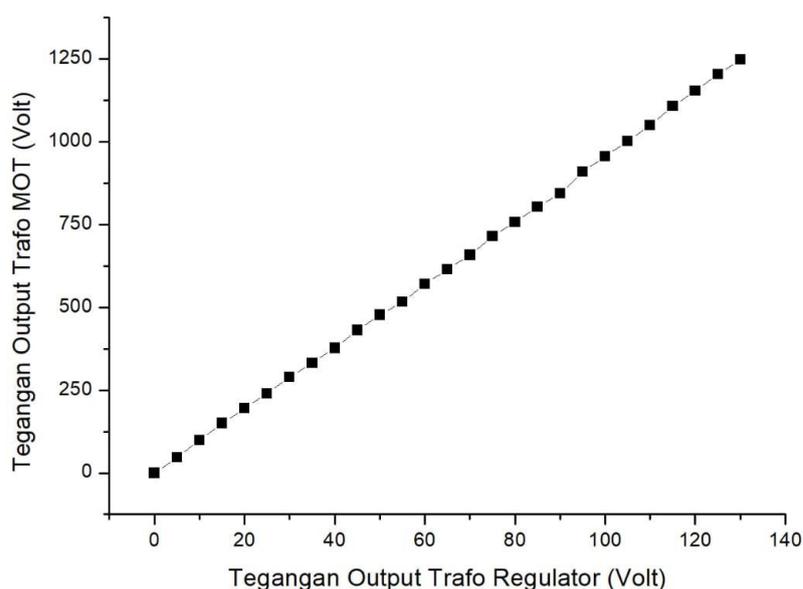
Gambar 3. Catu Daya DC Bertegangan Tinggi

Jarak antar elektroda diatur terlebih dahulu sebelum melakukan proses vakum. Variasi jarak antar elektroda yang digunakan adalah 2, 4, 6, dan 8 cm. Tabung vakum kemudian dipompa selama 45 menit untuk mengurangi jumlah partikel gas di dalam tabung vakum, sehingga tegangan yang digunakan untuk membangkitkan plasma kecil. Langkah tersebut diulang untuk setiap percobaan dengan variasi jenis pompa vakum (vakum maksimum 0.0375 torr dan vakum maksimum 0.0225 torr) untuk setiap jarak antar elektroda yang berbeda. Pengujian plasma yang terbentuk dilakukan dengan cara mengukur tegangan yang diperlukan untuk dapat memperoleh plasma. Tegangan yang diukur adalah tegangan yang masuk dalam chamber pada saat plasma terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

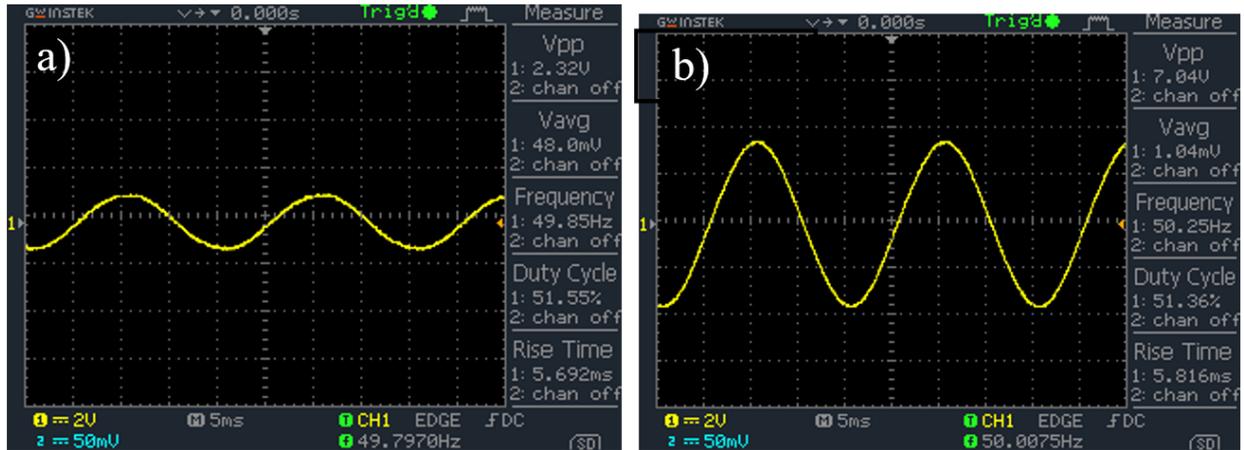
Hasil penelitian yang diperoleh adalah pengujian sistem catu daya DC bertegangan tinggi dari DC *magnetron sputtering*, dan parameter plasma yang diperoleh dari DC *magnetron sputtering*. Sistem rangkaian sumber tegangan DC *magnetron sputtering* dibuat dengan menggunakan saklar MCB TOMZN TOB1Z-63. Saklar menghubungkan antara arus listrik PLN AC bertegangan 240 Volt/50 Hz dan trafo regulator TDGC2-2kVA. Tegangan *output* pada trafo regulator dihubungkan dengan trafo MOT MA 600B 639Qr.

Gambar 4 menunjukkan grafik antara nilai *input* dan *output* yang diperoleh dari trafo MOT. Pada Gambar 4 menunjukkan grafik yang berbentuk linier. Hal ini membuktikan bahwa tegangan *output* dari MOT akan meningkat seiring dengan penambahan tegangan *input* yang diberikan.



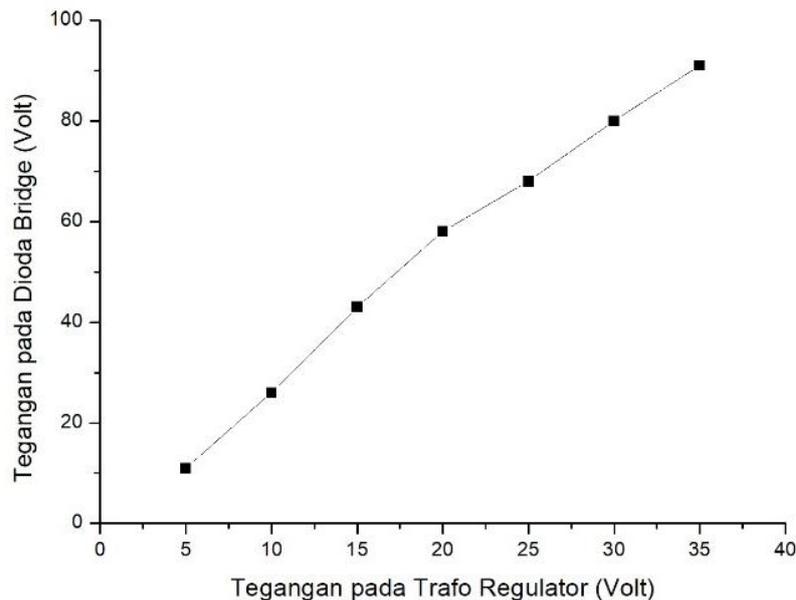
Gambar 4. Nilai *Input* dan *Output* Trafo Regulator dan Trafo MOT

Gambar 5 menunjukkan grafik tegangan *output* dari trafo regulator (a) dan trafo MOT (b) yang direkam dengan menggunakan osiloskop GW Instek GDS1042. Pada Gambar 5 (a) dan (b) grafik menunjukkan sinyal sinusoidal yang membuktikan bahwa tegangan yang diperoleh dari trafo regulator dan trafo MOT adalah tegangan AC. Pada grafik terlihat kenaikan amplitudo sinyal dari trafo regulator menuju trafo MOT yang menunjukkan bahwa trafo MOT menaikkan tegangan *output* dari trafo regulator.



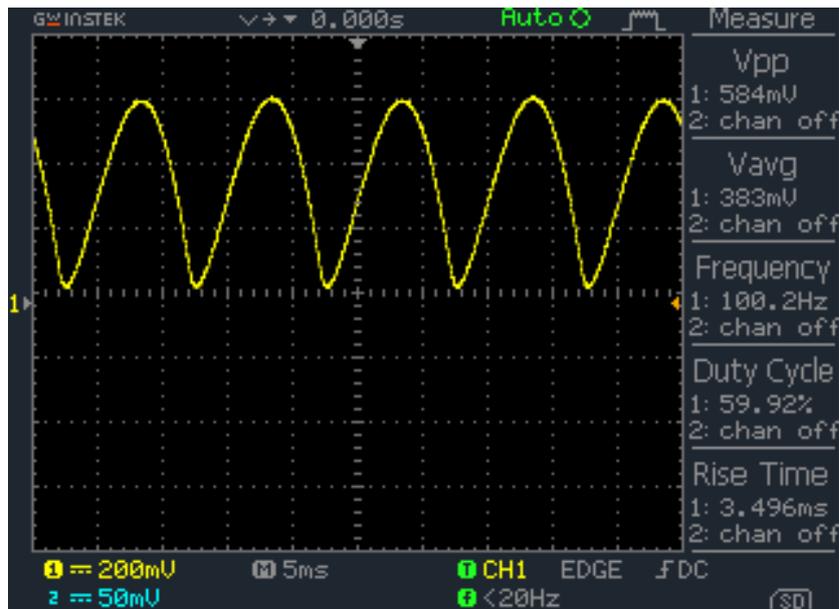
Gambar 5. (a) Sinyal Tegangan *Output* Trafo Regulator (b) Sinyal Tegangan *Output* Trafo MOT

Tegangan *output* pada trafo MOT kemudian dihubungkan dengan *diode bridge* HV CL04. Gambar 6 menunjukkan hubungan antara tegangan *output* trafo regulator terhadap *output* yang dihasilkan setelah dihubungkan dengan dioda *bridge* HV. Pada Gambar 6 menunjukkan grafik yang linear. Hal ini membuktikan bahwa tegangan *output* dari dioda *bridge* HV akan meningkat seiring dengan penambahan tegangan *input* yang diberikan.



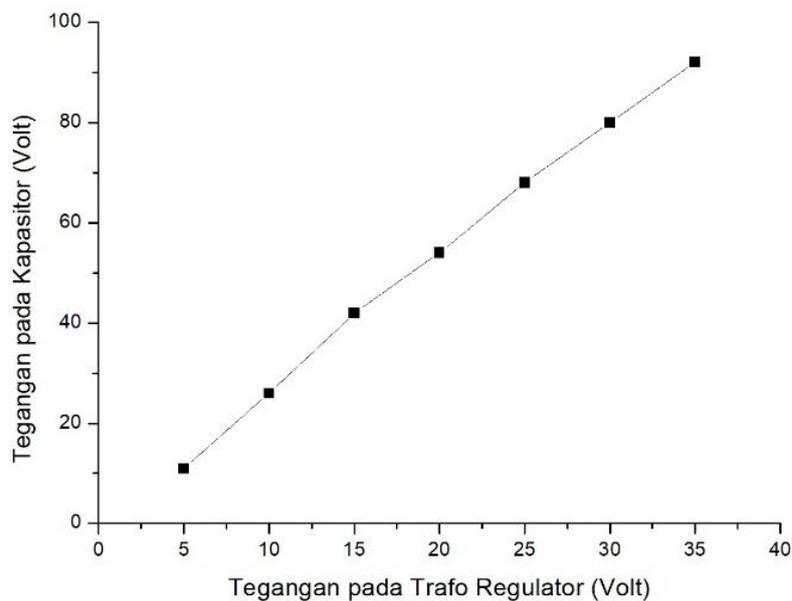
Gambar 6. Tegangan *Output* dari Rangkaian Setelah Dihubungkan dengan Dioda *Bridge* HV

Gambar 7 menunjukkan sinyal tegangan *output* yang diperoleh dari rangkaian setelah dihubungkan dengan dioda *bridge* HV. Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa sinyal tegangan yang diperoleh dari rangkaian setelah dihubungkan dengan dioda *bridge* HV berbentuk gelombang berdiri. Hal ini membuktikan bahwa dioda *bridge* yang dibuat mampu mengubah tegangan dari AC menjadi DC.



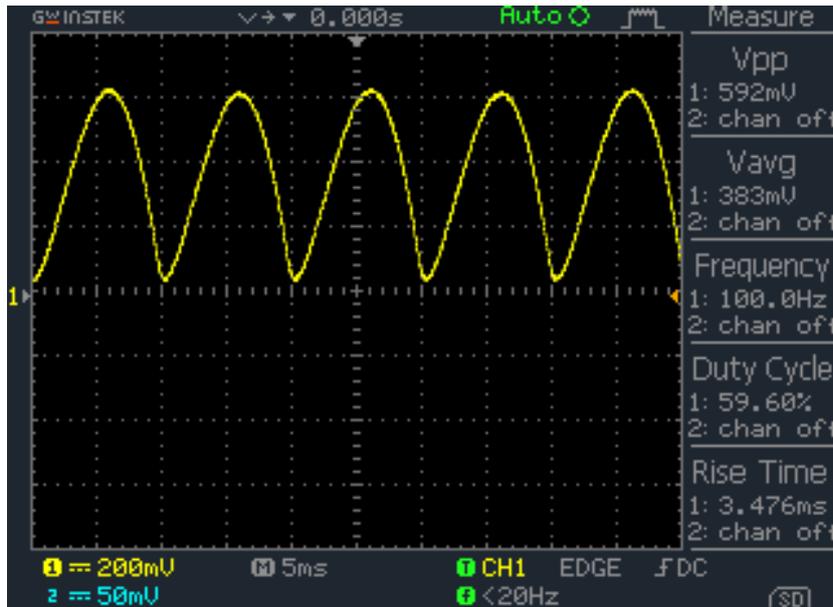
Gambar 7. Sinyal Tegangan Output Dioda Bridge HV

Tegangan DC yang dihasilkan dioda *bridge* HV kemudian dihubungkan dengan kapasitor. Output pada OF kapasitor HV RC-QZA215WREO dihubungkan dengan anoda dan katoda pada reaktor plasma. Gambar 8 menunjukkan grafik nilai tegangan output dari rangkaian setelah dihubungkan dengan kapasitor terhadap nilai tegangan output trafo regulator. Pada Gambar 8 menunjukkan grafik yang linear. Hal ini membuktikan bahwa tegangan output dari kapasitor akan meningkat seiring dengan penambahan tegangan input yang diberikan.



Gambar 8. Tegangan Input Reaktor Plasma

Gambar 9 menunjukkan sinyal tegangan output dari rangkaian setelah dihubungkan dengan kapasitor (tegangan input reaktor plasma). Pada Gambar 9 menunjukkan kenaikan tegangan, hal ini membuktikan bahwa kapasitor menaikkan nilai tegangan dari output diode bridge.



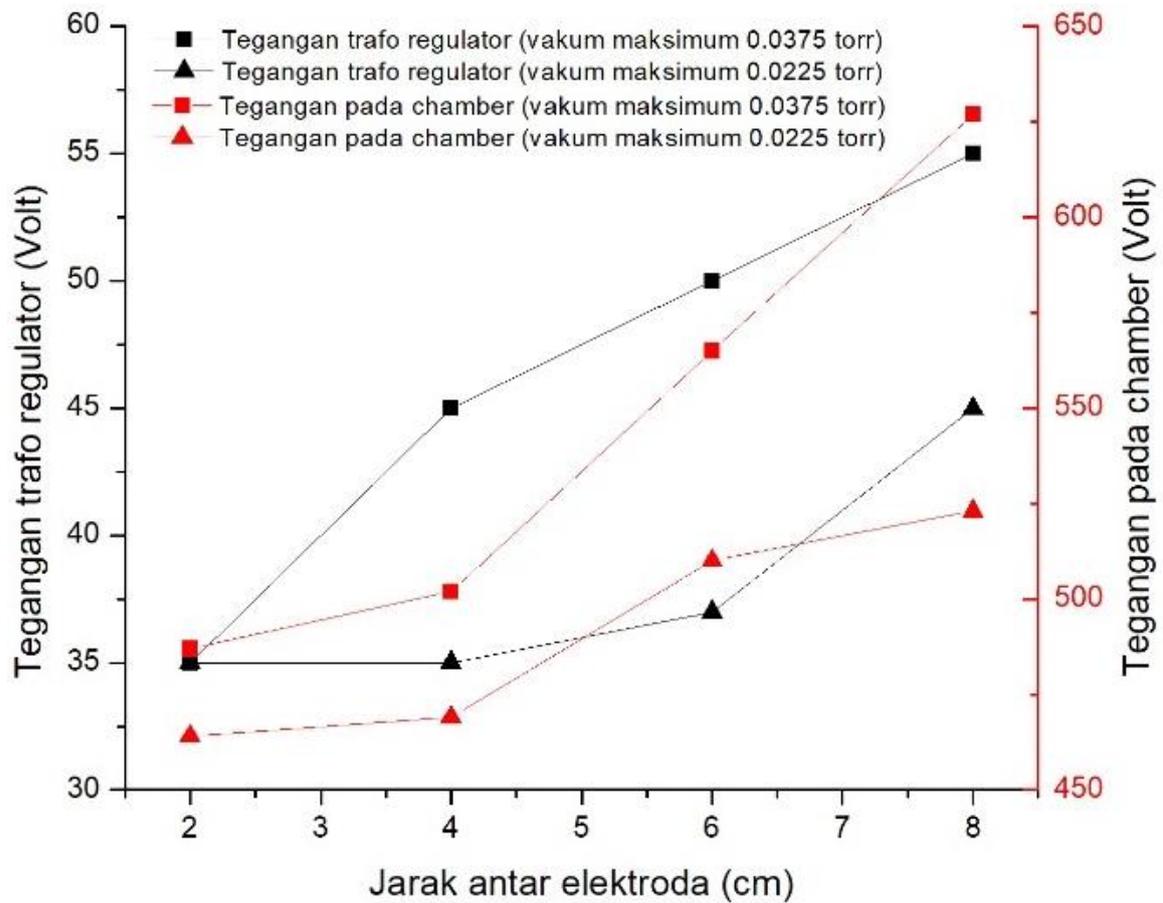
Gambar 9. Sinyal Tegangan *Input* Reaktor Plasma

Parameter plasma yang dihasilkan ditunjukkan oleh Tabel 1 yang menjelaskan tegangan yang terukur pada reaktor plasma pada saat plasma terbentuk dengan durasi vakum 45 menit untuk setiap jarak antar elektroda dan pompa vakum yang berbeda.

Tabel 1. Parameter Plasma yang Terbentuk

Jarak antar Elektroda (cm)	Vakum Maksimum (torr)	Tegangan saat Plasma Terjadi (Volt)
2	0.0375	487
	0.0225	464
4	0.0375	502
	0.0225	469
6	0.0375	565
	0.0225	510
8	0.0375	627
	0.0225	523

Gambar 10 menunjukkan grafik perbandingan antara tegangan pada saat plasma terjadi dan tegangan *output* dari trafo regulator yang berbentuk linier. Hal ini membuktikan bahwa plasma yang dihasilkan dari DC *magnetron sputtering* stabil.



Gambar 10. Grafik Kestabilan Plasma

Jenis plasma yang dihasilkan merupakan plasma lucutan pijar. Plasma lucutan pijar terjadi ketika molekul gas mengalami proses ionisasi berkelanjutan akibat diberikan tegangan tinggi. Plasma lucutan pijar terjadi untuk setiap jarak antar elektroda yang berbeda untuk vakum maksimum 0,0375 torr. Tabel 2 menunjukkan jenis plasma lucutan pijar yang terbentuk untuk setiap jarak antar elektroda.

Tabel 2. Plasma Lucutan Pijar

Jarak antar Elektroda (cm)	Plasma Lucutan Pijar yang Terjadi
2	
4	
6	
8	

Selain plasma lucutan pijar, DC *magnetron sputtering* juga menghasilkan plasma *cathode glow*. Plasma *cathode glow* dapat terjadi apabila gas yang bertekanan rendah berada diantara dua buah elektroda tegangan tinggi. Fenomena *cathode glow* terjadi pada DC *magnetron sputtering* ketika elektron tereksitasi dari katoda dan bergerak menuju anoda. Dalam pergerakannya menuju anoda, elektron akan menabrak atom-atom gas sehingga menyebabkan terjadinya ionisasi gas yang akan menghasilkan *cathode glow*. Plasma *cathode glow* terjadi untuk setiap jarak antar elektroda yang berbeda pada vakum maksimum 0.0225 torr. Tabel 3 menunjukkan jenis plasma *cathode glow* yang terbentuk untuk setiap jarak antar elektroda.

Tabel 3. Plasma Cathode Glow

Jarak antar Elektroda (cm)	Plasma Cathode Glow yang Terjadi
2	
4	
6	
8	

Perbedaan plasma yang diperoleh pada kedua jenis pompa vakum disebabkan oleh daya vakum dan tingkat vakum yang dihasilkan oleh kedua pompa yang berbeda. Untuk vakum maksimum 0.0375 torr memiliki daya vakum sebesar 0.25 HP, sedangkan untuk vakum maksimum 0.0225 torr memiliki daya vakum sebesar 1 HP.

KESIMPULAN

Direct Current magnetron sputtering mampu menghasilkan plasma.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Allah SWT. dan kedua orang tua saya. Tak lupa terima kasih kepada jodoh saya yang telah memberikan motivasi secara tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wirjoadi, Bambang Siswanto. (2008). "Sifat Optik, Struktur Kristal dan Struktur Mikro Lapisan Tipis ZnO:Al pada Substrat Kaca Sebagai Bahan TCO", Jurnal Ganendra, Vol. XI, No.2.
- [2] Stamate, V., Vascan, I., Lazar, I., Lazar, G., Caraman, I., Caraman, M. (2005). "Optical and Surface Properties TiO₂ Thin Films Deposited by Magnetron Sputtering Method", Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 7, No.2.
- [3] Leng, D., Lili Wu, Hongchao Jiang. (2012). "Preparation and Properties of SnO₂ Film Deposited by Magnetron Sputtering", International Journal of Photoenergy, Vol. 2012.
- [4] Tarenbaum, S.B., 1967, Plasma Physics, McGraw-Hill.
- [5] Callen, J.D., 2003, Fundamentals of Plasma Physics, University of Wisconsin.
- [6] Nur, Muhammad, 2011, Fisika Plasma dan Aplikasinya, Semarang: Universitas Diponegoro.
- [7] Triadyaksa, P., Nasruddin, Wasiq, J., Nur, M. (2007). "Rancang Bangun dan Pengujian Sistem Reaktor Plasma Lucutan Pijar Korona guna Mempercepat Pertumbuhan Tanaman Mangrove", Berkala Fisika, Vol. 10, Nomor 3.
- [8] Tseng, C.H., 1999, The application of Pulsed Corona Discharge Technology in Flue Gas Desulfurization and Denitrification, The Air & Waste Management Association's 92nd Annual Meeting & Exhibition, St. Louis, Missouri, USA.
- [9] Francis, F.C., 1974, Introduction to Plasma Physics, Plenum Press, New York.