

Variasi bentuk elektroda terhadap distribusi plasma yang dihasilkan

Mira Setiana*, Bangkit Ina Ferawati

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta

Jl. IKIP PGRI I No. 117, Kab. Bantul-D.I Yogyakarta

*e-mail: mirasetiana@upy.ac.id

Abstrak - Elektroda memainkan peran penting dalam membangkitkan dan mempertahankan plasma, serta mengendalikan sifat plasma dan meningkatkan kualitas lapisan tipis yang dideposisikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh bentuk elektroda bagian atas terhadap distribusi plasma yang dihasilkan. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua buah elektroda (elektroda atas dan bawah) yang dirangkai dengan konfigurasi Capacitive Coupled Discharges (CCD). Tebal elektroda atas adalah 1 cm. Bentuk Elektroda atas yang digunakan pada penelitian ini adalah balok dan silinder. Distribusi plasma yang dihasilkan diamati menggunakan teknik pengambilan gambar biasa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk elektroda mempengaruhi distribusi plasma yang dihasilkan. Elektroda atas berbentuk balok menghasilkan plasma yang cenderung homogen dibandingkan dengan plasma yang dihasilkan oleh elektroda atas berbentuk silinder.

Kata Kunci: Plasma, bentuk elektroda

Abstract – The electrodes play an important role in generating and maintaining the plasma, as well as controlling the properties of the plasma and improving the quality of the deposited films. This study aims to analyze the effect of the shape of the top electrode on the distribution of the resulting plasma. The electrodes used in this study consist of two electrodes (upper and lower electrodes) arranged in a Capacitive Coupled configuration Discharges. The thickness of the top electrode is 1 cm. The shape of the top electrode used in this study is a beam and a cylinder. The resulting plasma distribution was observed using conventional imaging techniques. The results showed that the shape of the electrodes affected the distribution of the resulting plasma. The top electrode in the form of a beam produces plasma that tends to be homogeneous compared to the plasma produced by the top electrode in the form of a cylinder.

Key words: : Plasma, electrode shape

PENDAHULUAN

Plasma Chemical Vapor Deposition (CVD) memainkan peran penting dalam rekayasa material karena memungkinkan untuk produksi lapisan tipis dengan komposisi, tekstur, dan sifat yang dapat dikontrol dengan baik [1–4]. Salah satu bagian dari sistem Plasma CVD yang memegang peran penting untuk mengontrol stabilitas plasma adalah bagian elektroda sistem. Elektroda digunakan untuk membangkitkan dan mempertahankan plasma [5–8] yang diperlukan untuk mengubah bahan kimia menjadi lapisan tipis yang terdposisi di atas permukaan substrat. Elektroda juga dapat digunakan untuk mengatur tegangan dan arus plasma untuk memastikan reaksi kimia yang diinginkan. Dalam sistem Plasma CVD, elektroda berfungsi sebagai sumber energi dan kontrol untuk memastikan kondisi optimal untuk pembentukan lapisan tipis. Elektroda dalam sistem plasma mengontrol stabilitas plasma dengan modulasi aliran elektron dan mempertahankan potensial

listrik yang stabil di antara elektroda dan permukaan yang sedang diproses. Ini membantu menjaga konsentrasi ion dan elektron dalam sistem dan memastikan bahwa reaksi plasma berlangsung secara konsisten dan efisien.

Kestabilan plasma sangat berpengaruh pada kualitas lapisan tipis yang terdposisi di atas substrat [1]. Plasma yang stabil memastikan bahwa proses deposisi berlangsung dengan konsisten dan memungkinkan produksi lapisan tipis yang berkualitas tinggi. Reaksi plasma yang tidak stabil atau tidak terkontrol dapat menyebabkan kerusakan atau variasi dalam komposisi dan struktur lapisan tipis, yang berdampak negatif pada kualitas dan performansinya. Sebagai permissalan, jika terjadi fluktuasi tegangan atau konsentrasi plasma, maka dapat terjadi variasi dalam jumlah ion dan elektroda yang terlibat dalam proses deposisi. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan atau perubahan dalam komposisi dan struktur lapisan tipis yang terdposisi, seperti adanya *defect* atau

variasi dalam ketebalan dan komposisi. Oleh karena itu, menjaga stabilitas plasma dan mengontrol parameter-parameter yang mempengaruhinya sangat penting untuk memastikan produksi lapisan tipis yang berkualitas tinggi.

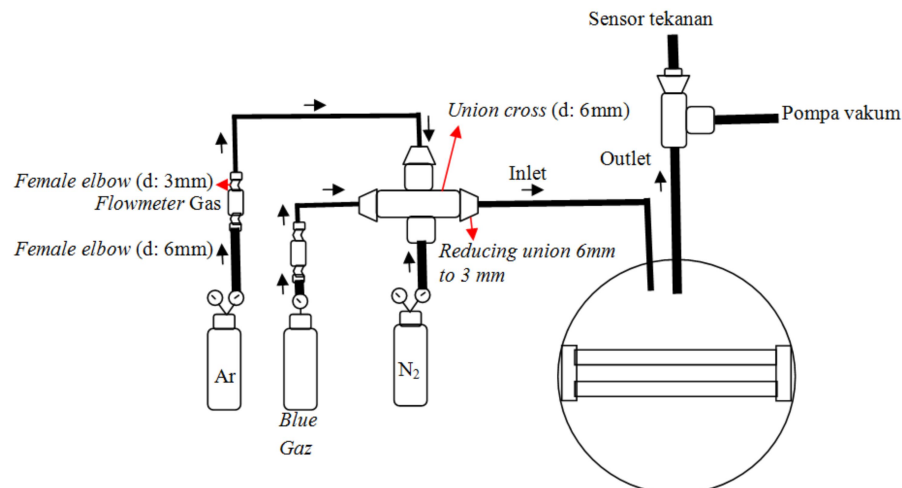
Geometri permukaan elektroda mempengaruhi intensitas plasma yang dihasilkan[9]. Hal ini karena geometri permukaan elektroda mempengaruhi distribusi medan listrik[8,10–13] dan aliran gas yang membentuk plasma. Perubahan geometri dapat mengubah intensitas medan listrik dan distribusinya, sehingga mempengaruhi jumlah partikel plasma yang terbentuk dan proses interaksinya. Menemukan geometri yang tepat adalah penting untuk mencapai plasma yang stabil dan efisien[14].

Bentuk elektroda atas dan bawah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap intensitas plasma dalam suatu sistem plasma. Bentuk elektroda yang tepat dapat meningkatkan efisiensi dan stabilitas plasma[15–17], serta mempengaruhi distribusi tegangan dan arus dalam ruang plasma. Jika geometri permukaan

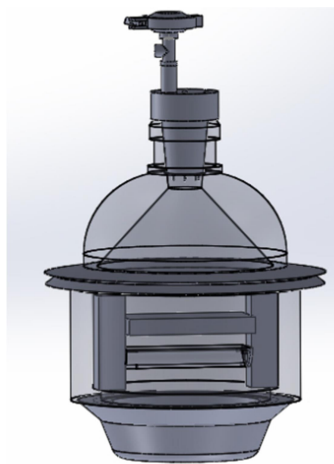
elektroda tidak sama pada sistem plasma CVD, hal ini dapat mempengaruhi kinerja sistem dan memperparah masalah seperti distribusi medan listrik yang tidak merata dan aliran gas yang tidak terkoordinasi. Ini dapat menyebabkan pembentukan plasma yang tidak stabil dan mengurangi efisiensi proses.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan membuat desain sistem reaktor plasmas CVD menggunakan software Solidworks 2013. Desain sistem ini terdiri dari desain tutup reaktor[18], desain jalur perpipaan gas (**Gambar 1**), desain penyangga elektroda[18], dan desain elektroda (**Gambar 3**). Gas yang digunakan adalah Gas Argon (*carrier gas*), *Blue Gaz* (sumber karbon), dan Gas Nitrogen (*flashing*). *Chamber* reaktor dibuat dari desikator vakum (**Gambar 2**). Penyangga elektroda yang digunakan berbahan keramik dengan lubang pengait berbentuk persegi (1 cm x 1 cm) dengan kedalaman 1 cm.



Gambar 1. Desain Jalur Perpipaan Sistem Plasma CVD



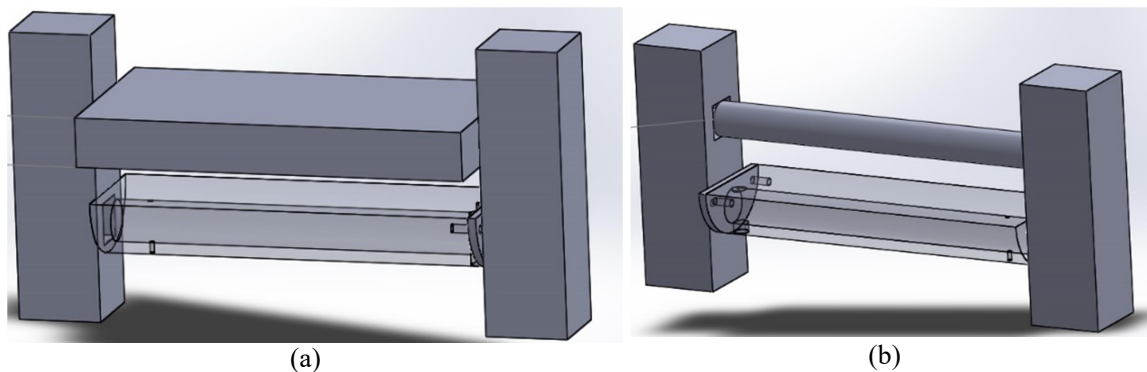
Gambar 2. Chamber Reaktor Sistem Plasma CVD

Tutup reaktor dan elektroda dibuat dari bahan stainless steel tipe SS 304. Elektroda yang digunakan divariasikan bentuk dan ukuran, yaitu balok (p: 9,5 cm; l: 5 cm; t: 1 cm) dan silinder (p: 9,5 cm; d: 1 cm). Masing-masing elektroda dipasang pada sistem secara bergantian, dan diamati pengaruhnya terhadap intensitas plasma yang terbentuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Plasma dihasilkan dari disosiasi dan ionisasi molekul maupun atom senyawa gas yang mendapatkan energi, baik itu energi listrik maupun panas. Pada penelitian ini, energi yang dimaksudkan adalah energi listrik. Karena adanya energi tersebut, molekul maupun atom dalam senyawa gas yang awalnya bersifat netral, akan mengalami pergerakan, saling bertumbukan dan akhirnya mengalami disosiasi dan ionisasi. Pada pembahasan ini, pengaruh energi listrik diabaikan, karena besar daya yang digunakan adalah tetap. Penelitian ini akan lebih banyak menyoroti mengenai pengaruh medan listrik terhadap intensitas dan distribusi plasma yang dihasilkan.

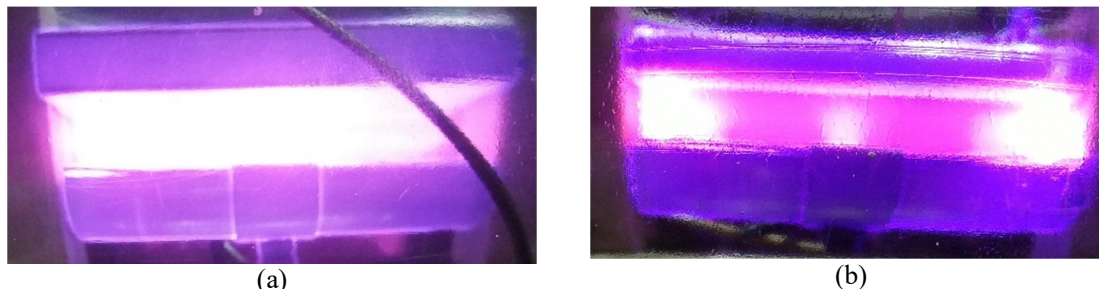
Elektroda merupakan bagian penting pada sistem Plasma CVD. Pada penelitian ini, konfigurasi elektroda yang digunakan adalah *Capacitively Coupled Discharges* (CCD). Sebagaimana istilahnya tersebut, elektroda pada sistem ini terdiri dari dua buah elektroda (elektroda atas dan elektroda bawah), yang disusun seperti kapasitor. Pada penelitian ini bentuk elektroda bagian atas divariasikan, yaitu berbentuk balok dan silinder (**Gambar 3**).



Gambar 3. Bentuk elektroda bagian atas: (a) balok, (b) silinder.

Kedua bentuk elektroda tersebut (**Gambar 3**) memiliki geometri permukaan yang berbeda. Hal ini tentunya akan mempengaruhi

distribusi medan listrik dan intensitas plasma yang dihasilkan (**Gambar 3**).



Gambar 4. Intensitas plasma pada elektroda: a. Balok, b. Silinder

Pada Gambar 4.a dan 4.b terlihat bahwa plasma yang dihasilkan adalah plasma *glow discharge*. Plasma yang terbentuk dari elektroda atas balok (Gambar 4.a) cenderung homogen dan stabil. Sedangkan plasma yang terbentuk dari elektroda atas silinder (Gambar 4.b) cenderung tidak homogen, dengan intensitas tertinggi terdapat pada ujung elektroda. Hal ini dapat terjadi karena geometri elektroda dapat mempengaruhi distribusi medan listrik yang dihasilkan. Peran medan listrik dalam konteks plasma adalah memberikan gaya, mengarahkan, dan membantu mempercepat gerak partikel bermuatan. Hubungan antara gaya, medan listrik, dan kecepatan gerak partikel bermuatan, dinyatakan dalam persamaan Hukum Lorentz berikut:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}), \quad (1)$$

dengan \vec{F} merupakan gaya yang diberikan pada partikel (N), q merupakan muatan partikel (C), \vec{E} merupakan medan listrik yang diberikan (Volt/m), \vec{v} merupakan kecepatan partikel, dan \vec{B} merupakan medan magnet (T).

Elektroda dengan kurvatur yang lebih besar (silinder), cenderung menghasilkan distribusi medan listrik yang tidak merata dibandingkan dengan elektroda yang memiliki kurvatur nol (balok). Hal ini dikarenakan, kurvatur mempengaruhi garis-garis medan listrik yang terbentuk di sekitarnya. Elektroda dengan kurvatur lebih besar seperti silinder, memiliki perubahan radius kelengkungan (jari-jari) yang signifikan pada permukaannya. Perubahan radius kelengkungan ini menyebabkan garis-garis medan listrik yang melintasi permukaan elektroda berubah secara signifikan. Akibatnya, distribusi medan listrik di sekitar elektroda menjadi tidak merata. Pada penelitian ini, ujung elektroda silinder yang digunakan memiliki jari-jari yang lebih kecil. Semakin kecil jari-jarinya, maka permukaan elektroda akan semakin melengkung, dan kurvturnya akan semakin besar. Selain itu, lubang untuk mengaitkan elektroda silinder memiliki bentuk yang berbeda (persegi), sehingga masih ada ruang bagi plasma untuk menjangkau ujung elektroda. Dikarenakan jari-jari ujung elektroda silinder lebih kecil dibandingkan jari-jari elektroda silinder, maka medan listrik paling kuat dihasilkan pada bagian ujung elektroda, sedangkan di bagian tengah elektroda medan listriknya cenderung lebih lemah. Akibatnya arus listrik dan plasma yang

terbentuk lebih terkonsentrasi pada bagian ujung elektroda, dan intensitas plasma yang dihasilkan menjadi lebih tinggi di bagian ujung elektroda. Sehingga pada elektroda silinder, plasma dengan intensitas tinggi dihasilkan pada ujung-ujung elektroda.

Elektroda berbentuk balok memiliki geometri permukaan yang datar (kurvatur nol). Pada kondisi ini, muatan akan terdistribusi merata di permukaan elektroda, sehingga medan listrik yang dihasilkan cenderung lebih homogen. Hal ini memungkinkan pembentukan plasma yang lebih homogen pada permukaan elektroda balok.

KESIMPULAN

Variasi bentuk elektroda berhasil dibuktikan dapat mempengaruhi distribusi plasma yang dihasilkan. Bentuk elektroda mempengaruhi distribusi medan listrik yang dihasilkan. Distribusi medan listrik ini nantinya akan mempengaruhi disosiasi dan ionisasi partikel-partikel dalam plasma sehingga menghasilkan intensitas dan distribusi plasma yang berbeda. Elektroda berbentuk balok menghasilkan plasma *glow discharge* yang cenderung stabil dan homogen, sementara elektroda berbentuk silinder menghasilkan plasma yang cenderung berpusat di ujung elektroda (tidak homogen).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis haturkan untuk semua anggota Laboratorium Research Center for Advanced System and Material Technology, Universitas Brawijaya dan Tim yang telah membantu mengimplementasikan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Bitu, S. Vizireanu, D. Stoica, V. Ion, S. Yehia, A. Radu, S. Iftimie, G. Dinescu, "On the Structural, Morphological, and Electrical Properties of Carbon Nanowalls Obtained by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition", *J. Nanomater.* vol. 2020, pp 12–17, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8814459>.
- [2] S.S. Choi, D.W. Kim, J.W. Joe, J.H. Moon, K.C. Park, J. Jang, "Deposition of diamondlike carbon films by plasma enhanced chemical vapour deposition", *Mater. Sci. Eng. B*, vol. 46, pp 133–136, (1997)

- [https://doi.org/10.1016/S0921-5107\(96\)01948-4](https://doi.org/10.1016/S0921-5107(96)01948-4).
- [3] J. Miller, A. Ceballos, L.B. Bayu Aji, A. Moore, C. Wasz, S.O. Kucheyev, S. Elhadj, S. Falabella, "Hollow-cathode chemical vapor deposition of thick, low-stress diamond-like carbon films", *Thin Solid Films*, vol. 714, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2020.138394>.
- [4] Y. Seekaew, N. Tammanoon, A. Tuantranont, T. Lomas, A. Wisitsoraat, C. Wongchoosuk, "Conversion of Carbon Dioxide into Chemical Vapor Deposited Graphene with Controllable Number of Layers via Hydrogen Plasma Pre-Treatment", *Membranes (Basel)*, vol. 12, 2022. <https://doi.org/10.3390/membranes12080796>.
- [5] G. Saito, Y. Nakasugi, T. Akiyama, "Generation of solution plasma over a large electrode surface area", *J. Appl. Phys.*, vol. 118, 2015. 023303. <https://doi.org/10.1063/1.4926493>.
- [6] M.I. Boulos, P.L. Fauchais, E. Pfender, *Handbook of Thermal Plasmas*, Springer International Publishing, Cham, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12183-3>.
- [7] T. Oh, C. Cho, W. Ahn, J. Yook, J. Lee, S. You, J. Yim, J. Ha, G. Bae, H. You, Y. Lee, "Plasma Generator with Dielectric Rim and FSS Electrode for Enhanced RCS Reduction Effect Taejoo", *Sensors*, vol. 21, no. 24, pp. 8486, 2021. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s21248486>.
- [8] N. De Geyter, R. Morent, S. Van Vlierberghe, M. Frère-Trentesaux, P. Dubruel, E. Payen, "Effect of electrode geometry on the uniformity of plasma-polymerized methyl methacrylate coatings", *Prog. Org. Coatings*, vol. 70, no. 4 pp. 293–299, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.11.009>.
- [9] E. V. Barnat, G.R. Laity, S.D. Baalrud, "Response of the plasma to the size of an anode electrode biased near the plasma potential", *Phys. Plasmas*, vol. 21, no. 10, 103512, 2014. <https://doi.org/10.1063/1.4897927>.
- [10] R. Tyata, D. Subedi, "An Investigation of the Effect of Electrode Geometry and Frequency of Power Supply in the Homogeneity of Dielectric Barrier Discharge in Air", *Kathmandu Univ. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, pp. 96–101, 1970. <https://doi.org/10.3126/kuset.v6i1.3316>.
- [11] K. Takaki, M. Shimizu, S. Mukaigawa, T. Fujiwara, "Effect of electrode shape in dielectric barrier discharge plasma reactor for NOx removal", *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 32, pp. 32–38, 2004. <https://doi.org/10.1109/TPS.2004.823973>.
- [12] J. Jain, J. Moreno, B. Bora, L. Soto, "Influence of electrode geometry on X-ray emission, plasma inductance, voltage, and current derivative signals obtained from a plasma focus device", *Results Phys.*, vol. 23, p. 104016, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104016>.
- [13] N. A. K. Umiati, and M. Facta, "Electric field contours in non-uniform electrode shape," *BERKALA FISIKA*, vol. 23, no. 4, pp. 126-130, 2020.
- [14] M. Shuto, F. Tomino, H. Ohmi, H. Kakiuchi, K. Yasutake, "Voltage distribution over capacitively coupled plasma electrode for atmospheric-pressure plasma generation", *Nanoscale Research Letters*, vol. 8, 202, 2013. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-8-202>.
- [15] W.Z. Ahmad Farhadi, Y. Zhu, L. Gu, "Influence of electrode shape and size on electrical arc channel and creator", *Procedia CIRP*, vol. 68, pp. 215–220, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.051>.
- [16] L. Sansonnens, J. Schmitt, "Shaped electrode and lens for a uniform radio-frequency capacitive plasma", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 82, pp. 182–184, 2003. <https://doi.org/10.1063/1.1534918>.
- [17] A.Y. Wardaya, Z. Muhlisin, J.E. Suseno, M. Nur, P. Triadyaksa, A. Khumaeni, S. Hadi, E.A. Sarwoko, J. Windarta, "The Current-Voltage Characteristics for Electrode Geometry Model of Positive DC Corona Discharge in Air", *Gazi Univ. J. Sci.*, vol. 35, pp. 1140–1150, 2022. <https://doi.org/10.35378/gujs.885345>.

- [18] M. Setiana, D.H. Santjojo, "Perancangan reaktor plasma CVD untuk deposisi lapisan karbon", *Jurnal Teras Fisika*, vol. 5, no. 1 hlm. 267, 2022.
<https://doi.org/10.20884/1.jtf.2022.5.1.5502>
.