

Karakteristik plasma lucutan berpenghalang dielektrik isian gas Nitrogen

Febry Fitriani, Muhammad Nur, Fajar Arianto
Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang.
E-mail: febryfitriani@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Research on the characteristics of the dielectric barrier discharge filled with Nitrogen gas fields has been done. The plasma reactor that used in this study formed by a spiral-shaped cylindrical electrode component. Spiral electrode is made of copper wire with 72 windings and 25.05 mm of diameter, while the cylindrical electrode from copper sheets are glued on the walls of the outer tube diameter of 0,27 mm with a length of 25 cm. The dielectrics that used is pyrex with a length of 30 cm, a diameter of 3 cm, and a thickness of 2,45 mm. Characterization of dielectric barrier discharge plasma is used to determine the working area of the reactor and knowing the initial voltage to the emergence of the current as a sign of discharge. This characterization was done with Nitrogen gas field, which is a variation of voltage used is from 0,4 to 1.2 kV with a rise of 0.2 kV interval and Nitrogen flow rate of 2-8 L /min with intervals increase of 1 L/min. Result in the discharge flow 7 L/min with the lowest mobility value of 58.300 m²/V.s and the discharge flow 4 L/min with the highest mobility value of 91.600 m²/V.s. Therefore, it can be concluded that the greater the saturation current value, the greater the value of the ion mobility (μ)

Keywords: Dielectric barrier discharge plasma, Characteristics of dielectric barrier discharge plasma, Mobility of charge carriers.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai karakteristik plasma lucutan berpenghalang dielektrik isian gas Nitrogen. Reaktor plasma yang digunakan dalam penelitian ini dibentuk oleh komponen elektroda yang berbentuk spiral-silinder. Elektroda spiral terbuat dari kawat tembaga dengan jumlah lilitan sebanyak 72 lilitan yang berdiameter 25,05 mm, sedangkan elektroda silinder dari lembaran tembaga yang direkatkan pada dinding bagian luar tabung berdiameter 0,27 mm dengan panjang 25 cm. Bahan dielektrik yang digunakan adalah pyrex dengan panjang 30 cm, diameter 3 cm, dan tebal 2,45 mm. Karakterisasi plasma lucutan berpenghalang dielektrik ini digunakan untuk mengetahui daerah kerja reaktor dan mengetahui tegangan awal untuk munculnya arus sebagai tanda munculnya lucutan. Karakterisasi ini dilakukan dengan isian gas Nitrogen, yaitu variasi tegangan yang digunakan yaitu 0,4-1,2 kV dengan interval kenaikan 0,2 kV dan debit aliran Nitrogen 2-8 L/menit dengan interval kenaikan 1 L/menit. Hasil pada debit alir 7 L/menit dengan nilai mobilitas terendah sebesar 58.300 m²/V.s dan debit alir 4 L/menit dengan nilai mobilitas tertinggi sebesar 91.600 m²/V.s. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai arus saturasi maka semakin besar pula nilai mobilitas ion (μ).

Kata kunci: Plasma lucutan berpenghalang dielektrik, karakteristik plasma lucutan berpenghalang dielektrik, mobilitas pembawa muatan.

PENDAHULUAN

Banyak aplikasi telah dikembangkan dan diteliti menggunakan lucutan plasma berdasarkan geometri yang berbeda. Lucutan plasma dapat di bangkitkan menggunakan

berbagai bahan untuk elektroda, gas yang berbeda di berbagai macam tekanan atau bahkan solusi cair atau serbuk [1]. Plasma didefinisikan sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik. Plasma dikenalkan pertama kali oleh Irving Langmuir dan Lewi

Tonks pada tahun 1928. Plasma juga dapat didefinisikan sebagai percampuran kuasinetral dari elektron, radikal, ion positif, dan ion negatif. Percampuran antara ion-ion yang bermuatan positif dengan elektron-elektron bermuatan negatif memiliki sifat-sifat yang sangat berbeda dengan gas, sehingga plasma disebut sebagai materi ke empat setelah padat, cair, dan gas [2].

Lucutan plasma penghalang dielektrik berbentuk koaksial (*Coaxial Dielectric Barrier Discharge*) merupakan sistem tertutup. Lucutan plasma ini dihasilkan pada celah di antara dua elektroda yaitu elektroda kawat sebagai elektroda aktif di bagian dalamnya dan elektroda terluar (elektroda pasif) yang berupa lembaran aluminium dengan tabung gelas *pyrex* sebagai penghalang [3].

Pada penelitian ini menggunakan reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik yang dimodifikasi dengan elektroda yang berkonfigurasi spiral-silinder dan memasang selang silikon pada kawat tembaga untuk tempat keluarnya plasma. Gas isian yang digunakan adalah Nitrogen. Dari sifat tersebut memunculkan hipotesis akan diperoleh karakteristik dari reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik.

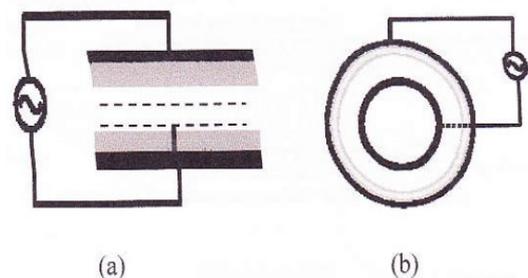
DASAR TEORI

Plasma

Menurut Chen dkk [4], plasma merupakan daerah reaksi tumbukan elektron yang sangat signifikan untuk terjadi. Plasma dapat terjadi ketika temperatur atau energi suatu gas dinaikkan sehingga memungkinkan atom-atom gas terionisasi dan akan membuat gas tersebut melepaskan elektron-elektronnya yang pada keadaan normal mengelilingi inti. Plasma dapat terjadi secara alami, tetapi plasma juga dapat dibuat dalam skala laboratorium maupun industry yang dapat diaplikasikan pada berbagai bidang, misalnya termonuklir, elektronik, dan laser [5].

Lucutan Penghalang Dielektrik (*Dielectric Barrier Discharge*)

Lucutan plasma berpenghalang dielektrik berbentuk koaksial (*Coaxial Dielectric Barrier Discharge*) merupakan sistem tertutup. Lucutan plasma ini dihasilkan pada celah di antara dua elektroda, yaitu elektroda kawat sebagai elektroda aktif di bagian dalamnya dan elektroda terluar (elektroda pasif) yang berupa lembaran aluminium dengan tabung gelas *pyrex* sebagai penghalang (*barrier*). Bila kedua elektroda ini diberi tegangan listrik, maka akan menghasilkan medan listrik yang tidak homogen muatan ruang (*space-charge*) akan timbul sebelum terjadinya tembus total dan distribusi medan listrik yang terjadi akan mempengaruhi nilai dari tegangan tembus. Bentuk konfigurasi elektroda lucutan plasma penghalang dielektrik ditunjukkan pada Gambar 1.

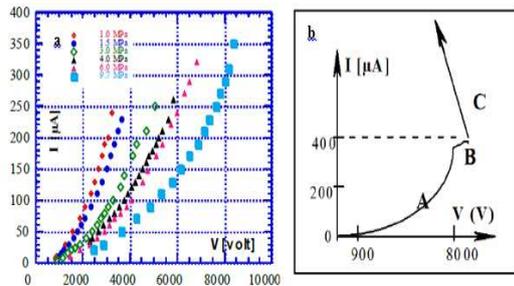


Gambar 1. Bentuk konfigurasi elektroda lucutan plasma penghalang dielektrik. (a) Geometri elektroda tampak samping, (b) Geometri elektroda tampak depan[2]

Karakteristik Arus dan Tegangan

Bentuk khusus dari hubungan arus terhadap tegangan bergantung pada tegangan yang diberikan ke ujung elektroda. Hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 2a dan bentuk khusus dari kurva arus dan tegangan dalam gas Nitrogen direpresentasikan oleh sketsa pada Gambar 2b. Pada daerah A, arus akan selalu lebih rendah dari kondisi jenuh *sigmond*, sehingga arus *unipolar*. Setelah transisi pada

daerah lucutan C, arus menjadi *bipolar* dan dalam keadaan yang ekstrem arus *arc* dapat terdeteksi secara langsung. Sejak daerah A dapat kita analisis berdasarkan kerapatan gas.



Gambar 2. Hubungan arus terhadap tegangan (a) Karakteristik I-V untuk gas Nitrogen pada beberapa tekanan (b) Bentuk khusus dari kurva I-V pada gas Nitrogen [6]

Mobilitas Rerata Pembawa Muatan

Secara kelistrikan mobilitas ion dalam kondisi plasma sangat menarik untuk dibahas. Pembahasan secara mikroskopik inilah yang diharapkan dapat menjelaskan penerapan teknologi plasma korona, agar teknologi tersebut dapat dimanfaatkan lebih efektif. Sistem plasma korona dengan elektroda titik bidang telah digunakan untuk menentukan mobilitas elektron nontermal dalam gas argon dan nitrogen densitas tinggi dan sangat murni [7].

Dengan menggunakan rumus Robinson, mobilitas rerata pembawa muatan dalam plasma yang dihasilkan oleh reaktor lucutan berpenghalang dielektrik dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$\mu_{RT} = \frac{C^2 d^3}{2S \epsilon_t} \quad (1)$$

dengan, μ adalah nilai mobilitas ion dalam $\text{cm}^2/\text{V.s}$, C merupakan nilai gradien, d^3 merupakan jarak antar elektroda dalam cm, S merupakan luas permukaan elektroda pasif

dalam cm, dan ϵ_t merupakan permitivitas total untuk 3 bahan dielektrik [8].

Nitrogen

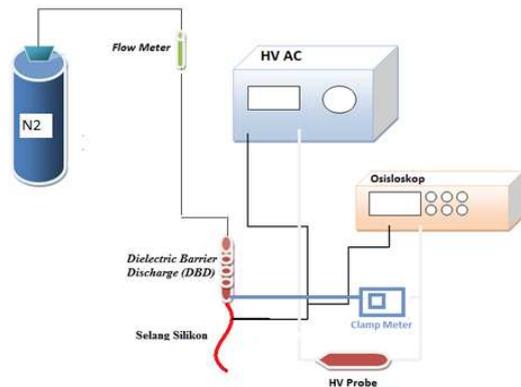
Nitrogen adalah salah satu unsur golongan VA yang merupakan unsur nonlogam dan gas yang paling banyak di atmosfer bumi. Nitrogen merupakan unsur yang relatif stabil, tetapi membentuk isotop-isotop yang ke-4 di antaranya bersifat radioaktif. Di alam Nitrogen terdapat dalam bentuk gas N_2 yang tidak berwarna dan tidak berbau, tidak berasa, dan tidak beracun. Pada suhu yang rendah Nitrogen dapat berbentuk cairan atau bahkan kristal padat yang tidak berwarna (bening). Selain itu Nitrogen terdapat dalam bentuk senyawa nitrat, amoniak, dan protein [9].

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Penelitian tentang karakteristik plasma lucutan berpenghalang dielektrik isian gas Nitrogen dengan perakitan reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik terdiri dari elektroda dalam berbentuk spiral yang terbuat dari kawat tembaga dengan jumlah lilitan sebanyak 72 lilitan dan diameter 25,05 mm. Elektroda luar yang berbentuk selimut silinder terbuat dari lembaran tembaga dengan diameter 3 cm dan panjang 30 cm. Kedua elektroda tersebut dihalangi oleh sebuah penghalang (*barrier*) yang terbuat dari bahan *pyrex* berbentuk tabung dengan tebal 2,45 mm dan tinggi tabung tersebut 30 cm. Kedua elektroda ini dihubungkan dengan sumber *HVAC*, selain itu juga dihubungkan dengan *clampmeter* dan *HV Probe*. *Clampmeter* digunakan untuk mengetahui besar arus, sedangkan *HV Probe* tersebut dihubungkan dengan osiloskop yang digunakan untuk mengetahui besar tegangan yang digunakan. Terdapat selang pada sisi reaktor yang berguna sebagai isian gas Nitrogen dengan diameter

selang 6 mm. Skema peralatan penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema peralatan penelitian

Gas Nitrogen sebagai gas kerja dimasukkan ke dalam kolom kapiler dengan mengatur debit aliran gasnya pada rentang 2-8 L/menit dengan interval 1 L/menit. Tegangan dan sinyal elektronik yang dihasilkan dapat dilihat menggunakan osiloskop. Arus diukur menggunakan *clampmeter* dan debit aliran gas diukur menggunakan *flowmeter*.

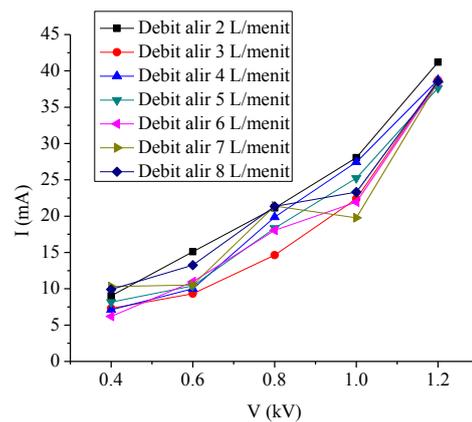
Pada penelitian ini dilakukan secara keseluruhan meliputi 4 tahap. Tahap pertama yaitu perakitan reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik, karakterisasi lucutan plasma berpenghalang dielektrik dengan isian gas Nitrogen, menghitung nilai mobilitas ion Nitrogen, dan analisis data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Arus (I) - Tegangan (V)

Pada penelitian ini pengukuran tegangan dilakukan dengan menggunakan osiloskop dan pengukuran arus dilakukan dengan menggunakan *clampmeter* serta pengukuran debit aliran Nitrogen menggunakan *flowmeter*. Tegangan yang digunakan untuk membangkitkan plasma mulai 0,4 kV sampai dengan 1,2 kV dengan interval kenaikan tegangan 0,2 kV dan variasi debit aliran Nitrogen dari 2 L/menit sampai 8 L/menit dengan interval kenaikan 1 L/menit.

Pada Gambar 4 terlihat jelas bahwa pada debit alir 2 L/menit pada tegangan 1,2 kV menghasilkan arus sebesar 41,2 mA lebih besar dibandingkan dengan debit alir Nitrogen lainnya. Hal ini menunjukkan terjadi peningkatan arus yang terukur pada peningkatan tegangan. Peningkatan besar arus akan sebanding dengan besar tegangan dikarenakan peran pelipatgandaan elektron saat timbul lucutan plasma dimana elektron akan bergerak dari elektroda aktif (elektroda dalam) yang terakumulasi pada bahan dielektrik yang melindungi elektroda pasif (elektroda luar) pada waktu yang bersamaan sehingga terjadi interaksi antara muatan listrik dengan molekul-molekul atau atom-atom Nitrogen di antara kedua elektroda.

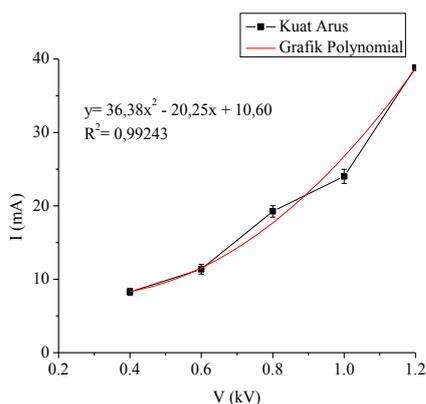


Gambar 4. Grafik karakteristik arus sebagai fungsi tegangan

Interaksi yang terjadi yaitu ionisasi, rekombinasi, eksitasi, dan deeksitasi. Elektron berenergi tinggi yang menumbuk atom atau molekul akan mengubah energi kinetik menjadi energi ionisasi yang menghasilkan spesies tereksitasi. Penyerapan energi tumbukan oleh elektron mengakibatkan perpindahan elektron dari tingkat energi yang lebih rendah menuju ke tingkat energi yang lebih tinggi yang dinamakan proses eksitasi. Eksitasi akan berlangsung sementara dan elektron akan kembali ke tingkat energi semula disertai dengan pemancaran foton. Interaksi tersebut terus menerus sehingga pemancaran foton dalam jumlah yang besar ini akan

mengakibatkan munculnya lucutan plasma pada reaktor tersebut.

Grafik polynomial rata-rata arus sebagai fungsi tegangan pada debit aliran gas Nitrogen 2 L/menit sampai 8 L/menit dengan interval 1 L/menit disajikan pada Gambar 5. Gambar 5 merupakan grafik fit polynomial yang menjelaskan hubungan polynomial antara arus dan tegangan. Seperti grafik-grafik yang sudah dibahas sebelumnya, arus akan naik ketika tegangan dinaikkan. Tegangan diset sebesar 0,4 kV, 0,6 kV, 0,8 kV, 1 kV, dan 1,2 kV. Pada tegangan 0,4 kV menghasilkan nilai arus terkecil yaitu sebesar 8,28 mA dan nilai arus terbesar mencapai 38,83 mA pada tegangan jenuh 1,2 kV. Dari grafik di atas terlihat bahwa pada reaktor plasma lucutan berpenhalang dielektrik isian gas Nitrogen memiliki hubungan polynomial paling baik yang di jelaskan dengan persamaan $y = 36,38x^2 - 20,25x + 10,60$ dengan nilai *Adjusted R-Squared* sebesar 0,99243. *Adjusted R-Squared* merupakan koefisien determinasi pada regresi polynomial yang sering diartikan seberapa besar kemampuan semua variabel bebas dalam menjelaskan varians dari variabel terikatnya.

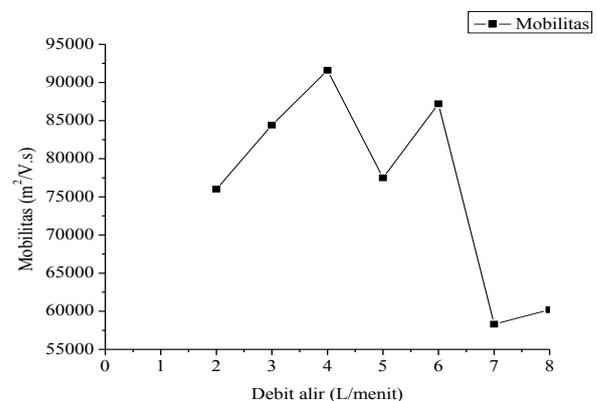


Gambar 5. Grafik polynomial rata-rata arus sebagai fungsi tegangan

Nilai Mobilitas Rerata Pembawa Muatan

Mobilitas merupakan kecepatan yang diperoleh suatu ion yang bergerak saat melewati gas dalam setiap satuan medan

listrik. Secara umum nilai mobilitas dipengaruhi oleh besar medan listrik, jumlah molekul gas, dan temperatur. Dalam penelitian ini faktor yang mempengaruhi adalah medan listrik plasma lucutan pijar korona menimbulkan medan listrik yang tidak seragam karena konfigurasi elektrodanya. Gambar 6 menunjukkan nilai mobilitas ion Nitrogen (N_2^+) terhadap debit alir pada reaktor plasma lucutan berpenhalang dielektrik yang ditentukan menggunakan Persamaan (1).



Gambar 6. Grafik hubungan antara nilai mobilitas μ dengan debit alir Nitrogen

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin besar debit alir Nitrogen, maka semakin tinggi pula laju ion yang bergerak saat melewati gas dalam medan listrik. Meskipun pada debit alir 5 L/menit dan 7 L/menit mengalami penurunan, namun pada debit alir selanjutnya nilai mobilitas semakin naik. Hal ini terjadi karena perbedaan C (nilai gradien) dari grafik linear $I^{1/2}$ dengan V . Besar nilai C ini bergantung pada nilai arus saturasi ion pada tegangan tertentu. Semakin besar nilai arus saturasi, maka semakin besar pula C (nilai gradien), karena dipengaruhi adanya peningkatan arus seiring peningkatan tegangan masukan pada reaktor plasma lucutan berpenhalang dielektrik.

Pembawa muatan yang berada di dalam sebuah medan listrik akan bergerak karena gaya elektrostatis. Sesuai dengan hukum Newton, partikel tersebut akan mendapatkan percepatan. Sebuah material (apapun fasenya)

terdapat partikel pembawa dan partikel netral, sehingga dalam laju aliran partikel pembawa muatan bergerak sangat rapat terhadap partikel lain. Partikel pembawa muatan dalam sebuah materi ketika diberi medan listrik akan bergerak dengan kecepatan merata yang disebut dengan kecepatan hanyut atau *drift velocity*. Besarnya kecepatan hanyut tersebut sebanding dengan besarnya medan listrik dan nilai mobilitas. Sedangkan, nilai mobilitas merupakan kebebasan partikel bergerak, baik dalam gerak acak maupun dipengaruhi medan atau gaya [10]. Jadi dapat disimpulkan bahwa nilai mobilitas (μ) semakin tinggi seiring bertambahnya debit alir. Pada debit alir 7 L/menit menghasilkan nilai mobilitas terendah sebesar $58.300 \text{ m}^2/\text{V.s}$ dan debit alir 4 L/menit menghasilkan nilai mobilitas tertinggi sebesar $91.600 \text{ m}^2/\text{V.s}$.

KESIMPULAN

Pada karakteristik tegangan (V) – arus (I), arus listrik yang dihasilkan dalam reaktor plasma lucutan berpenghalang dielektrik meningkat seiring bertambahnya tegangan. Peningkatan debit Nitrogen mengakibatkan kenaikan arus yang dihasilkan pada tegangan dan nilai mobilitas merata pembawa muatan. Hubungan antara nilai mobilitas pembawa muatan ion Nitrogen terhadap debit gas Nitrogen adalah semakin besar debit alir Nitrogen, maka semakin tinggi pula laju ion yang bergerak saat melewati gas dalam medan listrik. Meskipun pada debit alir 5 L/menit dan 7 L/menit mengalami penurunan, namun pada debit alir selanjutnya nilai mobilitas semakin naik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Fisika Atom dan Nuklir, Divisi Fisika Plasma, Departemen Fisika,

Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro serta *Center for Plasma Research* (CPR) yang telah mendukung karya ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zhang, S., Sobota, A., van Veldhuizen, E. M. dan Bruggeman, P.J. (2015) *Gas Flow Characteristics of a Time Modulated APPJ: The Effect of Gas Heating on Flow Dynamics*, IOP Publishing, United Kingdom.
- [2] Nur, M. (2011) *Fisika Plasma dan Aplikasi*, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [3] Kuraica, M.M., dkk. (1996) *Application of Coaxial Dielectric Barrier Discharge for Portable and Waste Water Treatment*. Faculty of Physics. Serbia and Montenegro.
- [4] Chen, G., Zhou M., Chen, S. dan Chen, W. (2009) *The Different Effect of Oxygen and Air DBD Plasma Byproducts on The Degredation of Methyl Violet 5BN*, Journal of Hazardous Materials 172, 786-791.
- [5] Fridman, A. (2008) *Plasma Chemistry*, Cambridge University Press.
- [6] Nur, M., Bonifaci, N., Denat, A. (2014) *Ionic Wind Phenomenon and Charge Carrier Mobility in Very High Density Argon Corona Discharge Plasma*, IOP Publishing, Journal of Physics:ConferenceSeries 495.
- [7] Nur, M., Bonifaci, N., and Denat, A. 1997. *Non-thermal Electron Mobility in High density Gaseous Nitrogen and Argon in Divergent Electric Field*. Proc. ICPIG XXIII, IV: 12-13. Toulouse, France.
- [8] Nur, M. (2016) *Modifikasi Karakteristik I (V) Robinson untuk Korona Kawat Silinder dengan Bahan Dielektrik Banyak*. Un Publish Paper
- [9] Sunardi (2006) *Unsur Kimia Deskripsi dan Pemanfaatannya*. CV. Yrama Widya. Bandung.