

KARAKTERISASI PLASMA JET ARGON MENGGUNAKAN KOLOM DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE (DBD) PADA TEKANAN ATMOSFER

Andi Wibowo Kinandana, Muhammad Nur dan Zaenul Muhlisin

*Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail: : andikinandana@st.fisika.undip.ac.id / andikinandana@student.undip.ac.id*

ABSTRACT

An atmospheric of Argon plasma jet is generated with column dielectric barrier discharge high voltage alternating current. Characterization of Argon plasma jet is used to observe the effect of variations in the voltage (V) to the length of the plasma jet. Voltage (V) and current (I) were analyzed to identify its effect to the length of the plasma jet. In this study, Argon gas is passed through the capillary column by regulating the flow rate of gas. Then the voltage is being increased until the plasma jet can be seen. Voltage is used consecutively in the range 0 to 10,5 kV at flow rate of Argon gas is 3 L / min. The result shows that electrical current increase and then reach saturation condition by the increase of voltage. The increase of the length of the plasma jet were given by the increase of the applied voltage. This research indicates that the length of the plasma jet characteristics tends to increase. The value of the voltage is affects to the value length of the plasma jet.

Keywords: Plasma jet, characterization of plasma jet, voltage, current.

ABSTRAK

Plasma jet Argon pada tekanan atmosfer telah berhasil dibangkitkan dengan kolom dielectric barrier discharge dengan sumber tegangan tinggi AC (Alternating current). Karakterisasi plasma jet Argon digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan (V) terhadap panjang plasma jet. Selain itu tegangan (V) dan arus listrik (I) dianalisis untuk mengidentifikasi korelasinya terhadap panjang plasma jet yang dihasilkan. Dalam penelitian ini gas Argon dialirkan melalui kolom kapiler dengan mengatur debit aliran gasnya. Kemudian tegangan dinaikkan sampai muncul plasma jet. Tegangan yang digunakan berturut-turut yaitu dalam rentang 0-10,5 kV pada debit aliran gas Argon sebesar 3 L/menit.. Peningkatan tegangan menyebabkan arus meningkat kemudian mengalami kejenuhan. Peningkatan panjang plasma jet terjadi seiring dengan peningkatan tegangan yang diberikan. Hal ini mengindikasikan bahwa karakteristik panjang plasma jet cenderung meningkat. Besarnya tegangan mempengaruhi panjang plasma jet yang dihasilkan.

Kata kunci: Plasma jet, karakteristik plasma jet, tegangan, arus

PENDAHULUAN

Banyak aplikasi telah dikembangkan dan diteliti menggunakan lucutan plasma berdasarkan geometri yang berbeda menggunakan berbagai bahan untuk elektroda, gas yang berbeda di berbagai macam tekanan atau bahkan solusi cair atau serbuk, cara yang berbeda untuk menyalakan dan mempertahankan lucutan menggunakan berbagai sumber daya dan sering kali fitur tambahan seperti pemanasan atau medan magnet. Fleksibilitas yang besar ini dalam

memproduksi plasma menyebabkan keragaman penggunaan plasma dengan berbagai aplikasi di industri, energi, biomedis, analisis dan kualitas hidup. Di beberapa negara plasma memainkan peran penting dan tidak bisa digantikan.

Plasma Jet merupakan hasil aliran gas yang terionisasi dari kolom lucutan plasma. Plasma jet berbentuk seperti jilatan api (flare). Plasma Jet dingin pada tekanan atmosfer dapat diaplikasikan untuk pemrosesan material dan aplikasi biomedis seperti penyembuh luka, disinfektan dan dekontaminasi [1]. Pada tekanan atmosfer plasma jet memiliki berbagai

cakupan dimensi, mulai dari skala mikrometer yang sesuai untuk pengobatan lokal dan akurat, sampai skala besar yang sesuai untuk pengobatan sampel skala besar. Sehingga banyak perbedaan konfigurasi dan aplikasi dari plasma non-thermal [2].

Dalam penggunaan plasma jet gas mulia juga ditambahkan dalam plasma. Gas mulia ditambahkan agar proses ionisasi, eksitasi dan disosiasi dalam plasma berlangsung dengan optimal. Oleh karena itu perlu adanya penelitian untuk mengetahui karakteristik dari plasma jet dengan menggunakan kolom lucutan berpenghalang dielektrik dengan penambahan gas mulia Argon.

DASAR TEORI

Gas Argon termasuk dalam golongan gas mulia yang bersifat inert atau elemen tidak reaktif [3]. Argon pertama kali ditemukan oleh Sir William Ramsay dan Lord Rayleigh sebagai unsur kimia pada tahun 1895. Penamaan Argon berasal dari bahasa Yunani kuno *αργόν* yang berarti malas. Secara fisik Argon memiliki nomor atom 18 dengan konfigurasi elektron $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$, massa atom 39,948 g/mol, massa jenis 1,784 g/L pada keadaan STP konduktivitas termal 0,0178 W/mK. Argon adalah tidak berbau, dan tidak mudah terbakar dengan titik didih $-185,85\text{ }^\circ\text{C}$ dan titik lebur $-189,35\text{ }^\circ\text{C}$. Argon merupakan gas yang paling banyak ketiga di atmosfer bumi, berada pada tingkat 0,93% (9300 ppm). Argon adalah unsur tidak beracun yang paling sering digunakan dalam laser, bola lampu dan arc welding machines. Argon memiliki energi ionisasi pertama 15,759610 eV dan energi ionisasi kedua 27,62966 eV [4].

Plasma didefinisikan sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik. Plasma dikenalkan pertama kali oleh Irving Langmuir dan Lewi Tonks pada tahun 1928. Penamaan plasma terilhami dari plasma darah karena memiliki sifat gas terionisasi yang menyerupai plasma darah. Plasma juga dapat didefinisikan sebagai campuran 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 [5].

Sama seperti namanya, plasma tekanan atmosfer dioperasikan pada rentang tekanan atmosfer normal. Gas kerja yang digunakan dalam rentang tekanan atmosfer, atau perangkat untuk menghasilkan plasma dalam udara terbuka [6]. Plasma tekanan atmosfer memiliki arti teknis sangat praktis berkaitan dengan banyak aplikasi. Hal ini karena, berbeda dengan plasma tekanan rendah atau tekanan tinggi [7].

Lucutan berpenghalang dielektrik sering disebut lucutan plasma senyap, lucutan ini dapat digunakan untuk menghasilkan non-equilibrium plasma tekanan atmosfer. Lucutan diantara elektroda, salah satu atau keduanya dilapisi oleh lapisan dielektrik. Arus akan distabilkan dan di distribusikan oleh kapasitansi dari penghalang dielektrik. Efek dari pengurangan lapisan dielektrik adalah sebagai pendistribusi impedansi kapasitif yang akan manstabilkan lucutan antara elektroda dengan membatasi kerapatan arus [8].

Proses mendasar dalam pembentukan plasma adalah ionisasi. Ionisasi didefinisikan sebagai proses terlepasnya elektron suatu atom atau molekul dari ikatannya. Energi yang dibutuhkan untuk melepas satu atau lebih elektron dari orbitnya pada sebuah atom atau molekul dapat didefinisikan sebagai energi ionisasi E_i . Besarnya energi ionisasi dinyatakan dalam satuan elektron-volt (eV). Peristiwa kebalikan dari ionisasi disebut rekombinasi, rekombinasi terjadi dengan cara pengikatan elektron oleh ion dan pengikatan menjadi molekul sehingga menjadi spesies netral atau ion negatif. Proses ionisasi dan rekombinasi secara sederhana ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1 Proses ionisasi dan rekombinasi

$e + A \rightarrow A^+ + 2e$	Tumbukan ionisasi	(R-1)
$h\nu + A \rightarrow A^+ + e$	Fotoionisasi	(R-2)

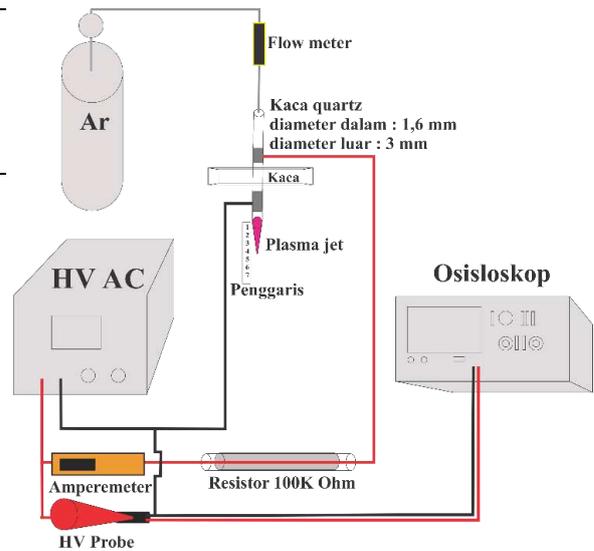
$A^+ + 2e \rightarrow A + e$	Rekombinasi bentuk ketiga	(R-3)
$A^+ + e \rightarrow A$	Rekombinasi bentuk kedua	(R-4)

Peristiwa rekombinasi disertai dengan pemancaran foton. Sedangkan eksitasi adalah peristiwa dimana elektron yang berada di tingkat energi lebih rendah berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan menyerap energi elektron yang menumbuknya. Peristiwa kebalikan dari eksitasi disebut relaksasi atau deeksitasi. Peristiwa deeksitasi disertai dengan pemancaran foton [5].

Plasma jet dapat dapat dihasilkan dengan panjang sampai beberapa sentimeter dan dapat disentuh dengan tangan kosong. Plasma jet Argon tekanan atmosfer pada suhu kamar dapat dihasilkan dari elektroda cincin tunggal dengan lebar 1 cm yang terbuat dari potongan logam pada lucutan berpenghalang dielektrik dengan pulsa tegangan 4 kHz. Pulsa plasma jet Argon dioperasikan secara terus menerus selama beberapa jam tanpa menaikkan suhu dan kerapatan elektron sebesar 3,9 kali lebih besar dari jet sinusoidal [9].

METODE PENELITIAN

Penelitian tentang karakterisasi lucutan plasma jet Argon menggunakan kolom lucutan berpenghalang dielektrik pada tekanan atmosfer yang dibangkitkan oleh sistem pembangkit plasma tegangan tinggi. Pada sistem menggunakan sumber tegangan tinggi AC. Sumber tegangan tinggi AC dihubungkan dengan resistor 100 KΩ dan HV probe, dari resistor kemudian dihubungkan dengan elektroda bagian atas. Keluaran sumber tegangan tinggi AC yang lainnya dihubungkan dengan elektroda bagian bawah dan HV probe. HV probe dihubungkan dengan osiloskop



Gambar 1. Skema peralatan penelitian

Elektroda yang digunakan terbuat dari lapisan tipis tembaga yang melingkari kolom kapiler quartz. Elektroda terbuat dari lapisan aluminium (aluminium foil) dengan panjang elektroda atas 20 mm dan elektroda bawah 30 mm, jarak antar elektroda 10 mm dan jarak elektroda bawah dengan ujung kolom kapiler adalah 5 mm. Gas Argon sebagai gas kerja dimasukkan ke dalam kolom kapiler dengan mengatur debit aliran gasnya pada sebesar 3 L/menit. Tegangan dan sinyal elektronik yang di hasilkan dapat dilihat menggunakan osiloskop. Arus diukur menggunakan amperemeter. Debit aliran gas diukur menggunakan flowmeter. Panjang jet diukur menggunakan penggaris.

Plasma jet Argon pada tekanan atmosfer menggunakan kolom kapiler. Kolom kapiler terbuat dari kaca quartz dengan diameter dalam 1,6 mm dan diameter luar 3 mm dengan panjang 100 mm. Pada bagian tengah kolom kapiler ditambahkan kaca bening dengan ukuran panjang 100 mm, lebar 74 mm dan tebal 3 mm. Kaca berfungsi sebagai penghalang dielektrik untuk memisahkan kedua elektroda. Gambar skema peralatan penelitian dapat dilihat pada gambar 1.

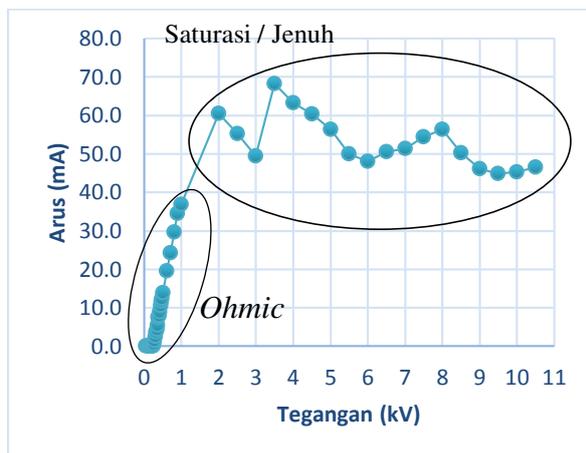
Pada penelitian ini dilakukan secara keseluruhan meliputi 3 tahap. Tahap pertama yaitu perakitan plasma jet Argon, karakterisasi

dan analisis data. Karakterisasi pada penelitian ini meliputi tegangan, arus dan panjang jet.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Arus (I) – Tegangan (V)

Pada penelitian ini tegangan yang digunakan untuk membangkitkan plasma dilakukan variasi kenaikan tegangan dari tegangan 0 kV sampai 10,5 kV. Pengukuran tegangan dilakukan dengan menggunakan osiloskop, pengukuran arus dilakukan dengan menggunakan amperemeter, pengukuran debit aliran gas Argon menggunakan flowmeter dan pengukuran panjang jet menggunakan penggaris.



Gambar 2. Grafik karakteristik arus sebagai fungsi tegangan

. Hasil pengukuran arus listrik rata-rata sebagai fungsi tegangan untuk debit aliran gas Argon 3 liter/menit, dapat dilihat pada grafik yang ditampilkan pada gambar 2. Perlakuan ini bertujuan untuk mengetahui tegangan awal untuk munculnya arus, tegangan awal untuk terjadinya lucutan plasma dan tegangan awal untuk munculnya jet dari ujung kolom kapiler.

Dengan perlakuan peningkatan tegangan arus listrik akan meningkat berbanding lurus dengan tegangan sampai mencapai tegangan 1 kV, kemudian arus akan mengalami saturasi (keadaan jenuh) pada tegangan 1 kV sampai 10,5 kV, pada keadaan ini arus berkisar antara 44,8 mA sampai 68,2

mA. Puncak arus maksimum terjadi pada tegangan 3,5 kV.

Secara umum karakteristik arus sebagai fungsi tegangan pada plasma jet Argon menggunakan kolom lucutan berpenghalang dielektrik pada tekanan atmosfer, setelah arus listrik mulai mengalir kemudian arus akan meningkat berbanding lurus dengan tegangan, daerah ini dikategorikan sebagai daerah ohmic. Daerah Ohmic merupakan daerah berlakunya hukum Ohm. Berdasarkan rangkaian ekuivalen untuk plasma jet, yaitu:

$$\frac{dU_{tot}(t)}{dt} = \frac{I_{dp}(t)}{C_a} \quad (1)$$

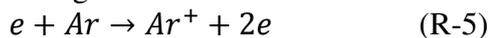
Daerah ohmic ini merupakan arus $I_{dp}(t)$ yang melewati dielektrik, daerah ini terjadi sampai pada tegangan 1 kV. Hal ini diakibatkan karena peningkatan tegangan yang diberikan sehingga elektron-elektron bergerak bolak balik dan mengionisasi molekul-molekul dan atom-atom gas Argon diantara elektroda. Ionisasi terjadi pada kolom kapiler, karena pengaruh medan listrik dan debit aliran gas, ion yang bermuatan positif dan elektron yang bermuatan negatif hasil ionisasi akan bergerak menuju elektroda yang sesuai. Akibat adanya arus yang mengalir seluruhnya pada kolom kapiler maka terjadi pertukaran energi antara elektron yang dipercepat dan atom-atom atau molekul-molekul dari gas Argon.

Daerah ohmic diikuti oleh arus kapasitif $I_{ac}(t)$ yang cenderung jenuh atau saturasi (tidak berubah karena tegangan). Daerah ini menandakan perubahan muatan dalam setiap waktu hanya sama untuk setiap tegangan. Ketika tegangan yang diberikan ditingkatkan arus akan mengalami saturasi (arus jenuh) hal ini disebabkan oleh arus kapasitif $I_{ac}(t)$ pada lucutan berpenghalang dielektrik dan interaksi antara muatan listrik dengan molekul-molekul atau atom-atom gas Argon di antara kedua elektroda. Interaksi yang terjadi yaitu ionisasi, rekombinasi, eksitasi dan deeksitasi. Arus akan turun ketika ion dan elektron hasil ionisasi pada kedua elektroda terikat kembali oleh atom gas Argon yang masuk pada kolom kapiler atau

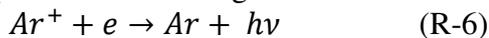
yang disebut dengan peristiwa rekombinasi. Hal ini juga dipengaruhi oleh arus kapasitif $I_{dc}(t)$ yang dihasilkan oleh sumber tegangan AC, ketika jumlah muatan berkurang akibat perubahan waktu mengakibatkan ionisasi berkurang sehingga terjadi rekombinasi. Apabila jumlah muatan bertambah akibat perubahan waktu mengakibatkan ionisasi meningkat sehingga arus akan meningkat.

$$I_{tot}(t) = I_{dp}(t) + I_{dc}(t) \quad (2)$$

Arus $I_{tot}(t)$ total pada plasma jet merupakan gabungan antara arus $I_{dp}(t)$ dengan arus kapasitif $I_{dc}(t)$. Elektron berenergi tinggi yang menumbuk atom atau molekul akan mengubah energi kinetik menjadi energi ionisasi yang menghasilkan spesies tereksitasi. Reaksi ionisasi pada plasma jet argon dapat dituliskan sebagai berikut:



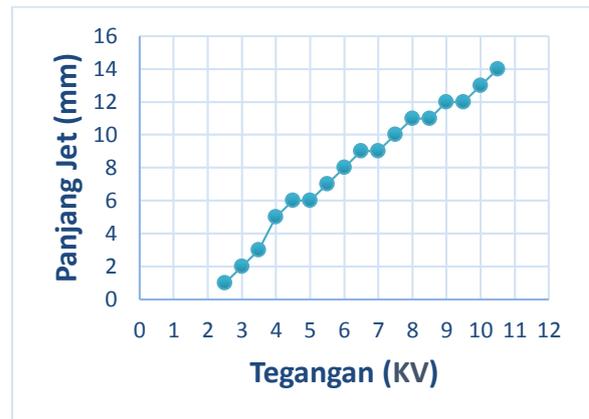
Sedangkan reaksi rekombinasi pada plasma jet argon dapat dituliskan sebagai berikut:



Penyerapan energi tumbukan oleh elektron mengakibatkan perpindahan elektron dari tingkat energi yang lebih rendah menuju ke tingkat energi yang lebih tinggi. Eksitasi akan berlangsung sementara dan elektron akan kembali ke tingkat energi semula disertai dengan pemancaran foton. Interaksi yang berulang-ulang dan terjadi terus menerus ini yang mengakibatkan arus yang dihasilkan akan naik dan turun.

Karakteristik Panjang Jet – Tegangan (V)

Berdasarkan hasil yang didapat plasma jet dapat dilihat di dalam dan di luar kolom kapiler, pada saat plasma jet muncul dan tegangan dinaikkan plasma jet akan terdorong ke luar melalui ujung kolom kapiler. Panjang plasma jet yang dihitung merupakan plasma jet yang keluar dari ujung kolom kapiler. Panjang plasma jet akan meningkat seiring dengan peningkatan tegangan yang diberikan dan mencapai panjang maksimum pada tegangan tertinggi. Hasil pengukuran dapat dilihat pada grafik pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik karakteristik panjang jet sebagai fungsi tegangan

Secara umum karakteristik arus sebagai fungsi tegangan pada plasma jet Argon menggunakan kolom lucutan berpenghalang dielektrik pada tekanan atmosfer terjadi peningkatan panjang plasma jet seiring dengan kenaikan tegangan. Hal ini dikarenakan peran elektron pada pembentukan plasma jet, pada saat tegangan dinaikkan medan listrik akan semakin besar dan semakin banyak elektron yang menumbuk atom gas Argon, sehingga plasma jet akan semakin panjang akibat dorongan gas Argon yang keluar dari kolom kapiler.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada karakteristik arus (I) – tegangan (V) didapatkan arus listrik akan meningkat seiring dengan penambahan tegangan yang dinamai daerah *ohmic*.
2. Karakterisasi arus (I) – tegangan (V) setelah terjadi plasma jet terdapat arus jenuh dimana daerah ini disebut daerah perubahan jumlah muatan karena perubahan waktu selalu konstan, plasma yang terjadi merupakan plasma jet kuasi netral.

3. Peningkatan panjang plasma jet terjadi seiring dengan peningkatan tegangan yang diberikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Fisika Atom dan Nuklir, Divisi Fisika Plasma, Jurusan 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]. Kunhardt, E. E., 2000, *Generation of Large-Volume, Atmospheric Pressure, Non-equilibrium Plasmas*, *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 28, No. 1, 189-200.
- [3]. Höllig, A., Schug, A., Fahlenkamp, A., Rossaint, R., dan Coburn, M., 2014, *Argon: Systematic Review on Neuro- and Organoprotective Properties of an "Inert" Gas*, *International Journal of Molecular Sciences*, Vol 15, 18175-18196.
- [4]. Coburn, M., Sanders, R., Ma, D., Drive E., Reg S., Magalon, G., dan Rossaint, R., 2012, *Argon: The 'Lazy' Noble Gas With Organoprotective Properties*, *European Journal of Anaesthesiology*, 29:549–551.
- [5]. Nur, M, 2011, *Fisika Plasma dan Aplikasi*, *Fakultas Sains dan Matematika*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [6]. Olenici, C. S.B., 2011, *Micro Capillary Dielectric Barrier Plasma Jet Discharge Characterisation by Optical Spectroscopy*, Disertasi, Fakultas Fisika, Universitas Dortmund, Dortmund.
- [7]. Wolf, R. A., 2013, *Atmospheric Pressure Plasma for Surface Modification*, *John Wiley & Sons, New Jersey*.
- [8]. Harry, J. E., 2010, *Introduction to Plasma Technology*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [9]. Hong, Yi., Lu, Na., Pan, J., Li,j., dan Wu, Y., 2013a, *Electrical and Spectral Characteristics of an Atmospheric Pressure Argon Plasma Jet*, Elsevier, *Thin Solid Films*, 408-414.