

PENGARUH PELEPASAN ELEKTRON ELEKTODA JARUM BERJARAK TERHADAP PERILAKU PLASMA PADA REAKTOR BERTEKANAN RENDAH

David Suban Koten^{1*}, Mikael Namas², Yudi Antoniu H.Berr³

^{1,2,3} Politeknik Negeri Kupang

* E-mail: davidsubankoten@gmail.com

Abstrak

Plasma merupakan gas yang terionisasi, yaitu substansi yang elektron-elektronnya keluar dari orbit tiap atom dan dapat dibuat dengan cara memanaskan gas atau dengan cara memaparkan medan elektromagnetik yang cukup kuat menggunakan laser atau pembangkit gelombang mikro. Dalam penelitian ini diulas bagaimana merancang generator plasma tegangan tinggi, sehingga dapat memasok tegangan arus searah (DC) untuk membangkitkan plasma di dalam ruangan reaktor yang berisi gas argon tekanan rendah. Penelitian ini juga dilakukan analisa tegangan breakdown sampai ditemukan plotting hubungan antara tegangan breakdown dengan tekanan gas dan jarak antar elektroda. Diharapkan plotting tersebut bisa disesuaikan dengan kurva sesuai dengan Hukum Paschen dan mendapatkan hasil yang mendekati kurva ideal.

Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui bentuk dan perilaku plasma serta debit plasma yang di hasilkan dari pelepasan elektron elektroda berbentuk jarum yang di tempatkan dalam reaktor bertekanan rendah dengan jarak tertentu untuk dapat menghasilkan debit plasma yang signifikan, sehingga nantinya hasil dari penelitian ini bisa dilakukan penelitian lanjutan yakni penerapan plasma dalam bidang industri, pertanian dan elektro medik.

Kata kunci: plasma, reaktor, elektroda Bola, argon, Paschen, tegangan breakdown

PENDAHULUAN

Plasma merupakan gas yang terionisasi, yaitu substansi yang elektron-elektronnya keluar dari orbit tiap atom dan dapat dibuat dengan cara memanaskan gas atau dengan cara memaparkan medan elektromagnetik yang cukup kuat menggunakan laser atau pembangkit gelombang mikro. Peningkatan atau penurunan jumlah elektron yang ada dalam plasma menghasilkan partikel-partikel bermuatan positif maupun negatif yang disebut dengan ion. Hal ini biasanya bisa diikuti dengan lepasnya ikatan molekul. Munculnya muatan listrik yang besar membuat plasma menjadi bersifat konduktif sehingga bereaksi sangat kuat terhadap medan elektromagnetik. Seperti halnya pada gas, plasma tidak memiliki bentuk maupun volume yang tetap kecuali berada dalam ruang tertutup. Namun, tidak seperti gas di bawah pengaruh medan magnet, plasma bisa membentuk beberapa macam struktur seperti filamen, berkas sinar, dan lapisan ganda. Penerapan teknologi plasma dalam bidang industri dan komersial antara lain plasma cutting (sebuah teknologi yang muncul dari pengelasan plasma pada tahun 1960) dan merupakan cara

yang sangat produktif untuk memotong lembaran logam dan plat. Plasma welding, pada aplikasi ini, menggunakan frekuensi dan tegangan tinggi. Las plasma tersebut jauh lebih baik dari las tungsten karena proses pengelasan bisa lebih cepat. Selain itu terdapat juga metode plasma nitriding, yang merupakan fungsi plasma pada proses pengerasan material logam. Pada aplikasi ini, material logam ditempatkan di antara katoda dan elektroda anoda dalam tabung vakum pelepasan arus listrik. Penerapan dalam bidang komersial dan industri lainnya, yakni pembuatan ozon, sterilisasi air kolam, menghilangkan berbagai organik teruap yang tidak diinginkan, seperti pestisida kimia, pelarut atau bahan kimia dari atmosfer, dan pengion udara yang baik buat kesehatan. Dari berbagai aplikasi teknologi plasma baik di dunia industri maupun komersial yang sudah mulai dikembangkan, namun masih mengalami kendala yakni penerapan teknologi plasma dalam bentuk perangkat yang belum tersedia di pasaran atau dijual secara bebas. Salah satu faktor penyebabnya adalah bagaimana merancang sistem reaktor plasma yang mempunyai tekanan yang rendah (vacuum) dan menghasilkan debit plasma yang

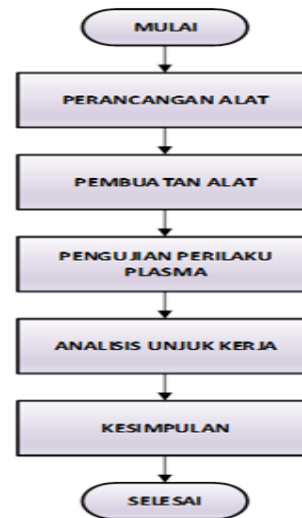
tinggi. Dalam penelitian ini dirancang sebuah generator plasma yang dibangkitkan dari HVT (high voltage transformer) yang menghasilkan tegangan untuk mengaktifkan plasma pada elektroda yang dipasang dalam tabung kedap udara. HVT berfungsi mengubah tegangan AC 220 V menjadi tegangan AC 2000 V, sementara dioda tegangan tinggi dan kapasitor berfungsi sebagai rangkaian penyearah dan filter yang selanjutnya mengubah tegangan AC 2000 V menjadi tegangan DC 2000 V. Dari generator plasma yang dibuat, akan dilakukan optimasi parameter proses terbentuknya plasma yaitu mengetahui Kurva Paschen dari gas yang digunakan (gas argon). Pada penelitian ini digunakan jenis elektroda Jarum. Pemilihan jenis elektroda bola ditekankan kepada fungsinya yaitu untuk memperoleh medan listrik yang sangat tinggi. Sehingga dapat menghasilkan debit plasma yang cukup besar.

Penelitian yang dilakukan ini juga sejalan dengan Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) tahun 2017 - 2045 untuk mendukung arah pembangunan nasional di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, serta menjawab komitmen Pemerintah dalam mendukung Pengembangan Material maju. Tujuan lain dari penelitian ini bagi lembaga Politeknik Negeri Kupang, yakni menjadi sumber informasi dan dapat menjadi satu materi pembelajaran bagi mahasiswa Politeknik Negeri Kupang dalam ilmu Fisika dan di harapkan menjadi satu materi praktikum pada laboratorium General yang berkaitan dengan Perkembangan Teknologi Plasma,

METODE PENELITIAN

Penelitian di lakukan dengan berawal dari perancangan alat, pembuatan alat, dan pengujian untuk mengetahui bentuk plasma yang di hasilkan dari pelepasan elektron berbentuk bola pada media gas argon serta mengetahui debit plasma yang di hasilkan dalam reaktor plasma. hasil penelitian ini dijadikan data awal untuk penelitian lanjutan pada penerapan teknologi plasma dalam dunia industri, pertanian dan Kedokteran.

Alur dari penelitian ini dapat di lihat pada Gambar 1. yang menjelaskan prosedur pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan

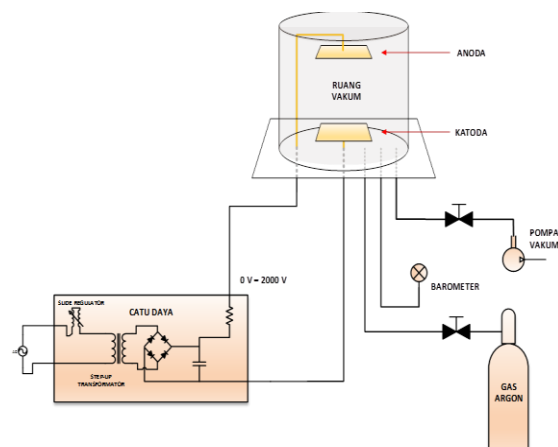


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

a.) Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu:

1. Perancangan sistem generator plasma.
2. Pembuatan sistem generator plasma yang terdiri dari pembuatan catu daya, pembuatan tabung vakum, pemasangan pompa vakum, pemasangan instalasi pipa dan katup, pemasangan reservoir gas argon, pemasangan alat-alat ukur, dan pembuatan sistem elektroda.
3. Pengujian perilaku plasma.
4. Pengambilan data.
5. Analisis unjuk kerja plasma yang dihasilkan.



Gambar 2. Desain sistem generator plasma.

Tabung kedap udara sebagai reaktor yang diisi gas argon bertekanan rendah dievakuasi melewati pipa dengan menggunakan pompa vakum dan dikendalikan oleh katup, sementara

di sisi lain tabung berisi gas argon bertekanan tinggi berperan sebagai pemasok gas argon dan dikendalikan oleh katup. Tekanan gas di dalam reaktor bisa diamati melalui alat ukur tekanan. Anoda dan katoda dibuat dari tembaga yang berbentuk jarum. Elektroda tersebut tersusun paralel. Catu daya yang digunakan untuk anoda dan katoda merupakan sumber bertegangan maksimal DC 2000 V.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal yang dilakukan adalah perancangan alat, kemudian diikuti pembuatan alat, dan dilakukan pengujian, untuk kemudian dianalisis hasilnya dan ditarik kesimpulan

A. Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk melakukan penelitian dibagi menjadi beberapa bagian. Pertama adalah bagian catu daya (power supply) yang berfungsi untuk memasok tegangan tinggi searah (DC). Bagian ini mengubah masukan berupa tegangan bolak-balik 220 V menjadi tegangan searah yang bisa diatur mulai dari 0 V hingga mencapai 2000 V.



Gambar 3. menunjukkan bagian catu daya

Bagian kedua adalah reaktor plasma yang harus berupa ruang kedap udara tembus pandang sehingga bisa dilakukan pengamatan secara visual. Di dalam ruangan tersebut terdapat elektroda jarum yang bisa diubah jarak antar anoda dan katoda.



Gambar. 4 Reaktor plasma yang digunakan dalam penelitian.

Gambar 4. menunjukkan reaktor plasma yang digunakan dalam penelitian ini. Pada bagian dasar terdapat platform logam rata yang dikelilingi dengan seal berupa silicon glue untuk membuat keadaan vakum ketika gelas reaktor ditutupkan dari atas, sehingga mencegah kebocoran gas dari luar ke dalam reaktor. Selain itu pada Gambar 5 juga terdapat amperemeter di sebelah bawah dari platform reaktor, yang digunakan untuk mengukur besarnya arus ketika terjadi plasma dalam reaktor.



Gambar. 5. Gabungan alat penelitian yang digunakan pada pengambilan data.

Kemudian gas argon diisikan ke dalam reaktor dengan ketelitian tekanan sebesar 1 desiTorr. Kesemua bagian harus memiliki alat ukur sesuai dengan parameternya. Bagian pertama alat ukurnya adalah tegangan keluaran ke reaktor. Bagian kedua alat ukurnya adalah jarak antar elektroda dengan ketelitian 1 mm, dan amperemeter untuk mengukur arus yang terjadi antar elektroda. Bagian ketiga alat ukurnya adalah barometer dengan ketelitian 1 desiTorr. Pada Gambar 5 ditunjukkan semua

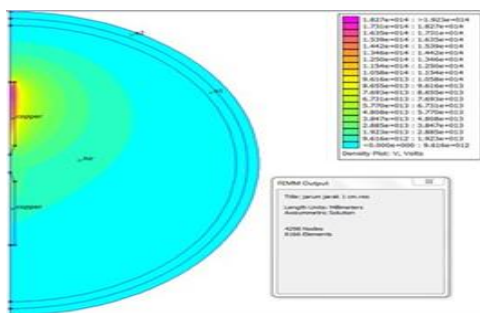
alat penelitian yang digunakan dalam proses pengambilan data.

Selain catu daya dan reaktor plasma, berikut ini adalah alat-alat pendukung yang harus disiapkan:

1. Konduktor elektroda yang melewati lubang pada dinding reaktor.
2. Pengatur tegangan catu daya berbentuk tombol putar.
3. Voltmeter yang mengukur tegangan catu daya, dengan ketelitian 1 volt.
4. Amperemeter yang mengukur arus yang terjadi melewati elektroda, dengan ketelitian 1 mA.
5. Penggaris skala 1 mm di dalam reaktor yang diposisikan di belakang elektroda dan dipasang sejajar dengan sumbu elektroda, yang berfungsi untuk mengetahui jarak antar elektroda.
6. Penahan elektroda yang bisa dilonggarkan dan dikencangkan untuk mengatur jarak antar elektroda.
7. Pipa yang melewati lubang evakuasi gas.
8. Barometer pada pipa utama, yang mengukur tekanan udara di dalam reaktor, dengan ketelitian 0,1 Torr (1 desiTorr).
9. Kran untuk evakuasi gas.
10. Pompa vakum untuk melakukan evakuasi gas.
11. Kran untuk memasok gas argon.
12. Tabung reservoir gas argon.
13. Osiloskop untuk melakukan cross-check dan konfirmasi tegangan DC pasokan ke reaktor plasma.

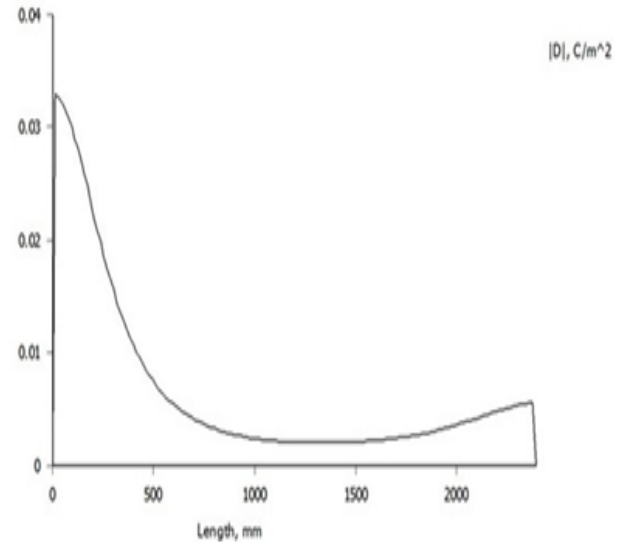
HASIL

Kontur intensitas medan listrik yang terjadi dalam reaktor secara teoritis ditunjukkan pada Gambar 8, yang merupakan hasil simulasi dari perangkat lunak FEMM.



Gambar. 6 Intensitas medan listrik pada elektroda jarum dengan jarak 1 cm dan tegangan 500 V.

Secara grafis, hasil plotting fluks medan magnet pada reaktor plasma ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar. 7 Hasil plotting fluks medan magnet elektroda jarum dengan jarak 1 cm dan tegangan 500 V.

Bagian ketiga adalah pendukung berupa pipa penghubung, pompa evakuasi, dan tabung cadangan gas argon. Perangkat pendukung tersebut harus mampu mengeluarkan udara (mengevakuasi) pada reaktor hingga mencapai tekanan kurang dari 0,01 Torr, dan tidak diperbolehkan terdapat kebocoran sehingga setelah evakuasi tekanan tidak boleh berubah.

B. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan menggunakan perulangan bertahap sesuai dengan tujuannya yaitu mendapatkan kurva Paschen yang merupakan fungsi tegangan breakdown terhadap jarak elektroda dan tekanan gas argon. Pengambilan data dilakukan dimulai dari jarak elektroda 0,25 cm. Pertama jarak antar elektroda diatur hingga ujung jarum anoda dengan ujung jarum katoda berjarak 0,25 cm, kemudian baut pengatur dikunci dan reaktor ditutup. Tabel I menunjukkan contoh pengambilan data yang dilakukan pada tekanan 0,8 Torr dan jarak elektroda 0,25 cm.

Pada Tabel 1 ditunjukkan salah satu pengamatan breakdown voltage yang terjadi pada gas argon dengan tekanan 0,8 Torr dan jarak antar elektroda (menggunakan jarum) adalah 0,25 cm. Pada Tabel I ini, data tegangan dilompati hingga 265 V karena nilai arusnya sama-sama 0 mA. Dapat dilihat bahwa ketika tegangan mencapai 268 V tiba-tiba terbentuk arus 120 mA, dan secara visual terbentuk plasma pada reaktor. tampilan plasma ditunjukkan pada Gambar 8. Pada pengambilan data ini, maka dapat disimpulkan bahwa breakdown voltage untuk tekanan 0,8 Torr dan jarak elektroda jarum 0,25 cm adalah bernilai 268 V. Pengamatan dengan menaikkan tegangan tidak lagi diperlukan karena breakdown voltage sudah didapat. Gambar 9 menunjukkan hubungan arus terhadap tegangan.



Gambar. 8 Salah satu percobaan ketika terjadi plasma di dalam reaktor.

Dari hasil terlihat terbentuknya debit plasma yang begitu besar pada jarak elektroda jarum anoda dan elektroda jarum berjarak 5 cm

TABEL 1. Contoh Pengamatan Tegangan Terhadap Arus Pada Tekanan 0,8 Torr, Jarak Elektroda 0,25 Cm, Menggunakan Elektroda Jarum

Tegangan (V)	Arus (mA)
1	0
2	0
3	0
...	...
265	0
266	0
267	0
268	120
269	120
270	120
271	120
272	120
273	123
274	123
275	127
276	128
277	124
278	129
279	130
280	131
281	133
282	139
283	136
284	140
285	145
286	142
287	140
288	149
289	150
290	150

Pengambilan data dilakukan terus untuk tekanan yang berbeda dengan sela tekanan 0,1 Torr. Di level berikutnya, pengambilan data dilakukan untuk jarak elektroda yang berbeda (dibuat lebih jauh).

PEMBAHASAN

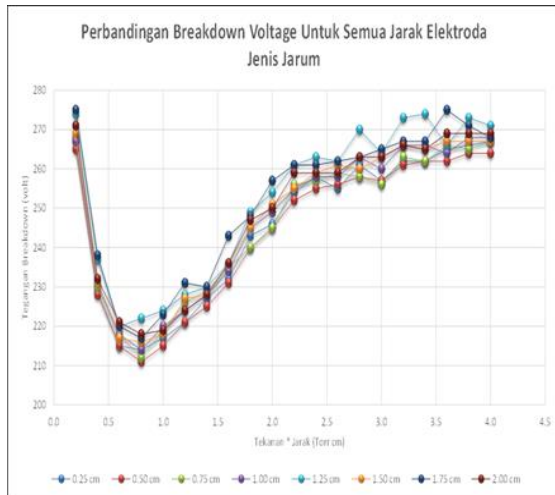
semua data berkaitan dengan jarak antar elektroda digabung dengan membuat rata-rata seperti pada Tabel 2.

Tabel.2. Gabungan rata-rata data breakdown voltage dari masing-masing jarak elektroda jarum.

Tekanan * Jarak (Torr cm)	Pengambilan Data (V)								Rata-rata (V)
	0.25 cm	0.50 cm	0.75 cm	1.00 cm	1.25 cm	1.50 cm	1.75 cm	2.00 cm	
0.2	268	265	268	267	274	269	275	271	269.6
0.4	229	228	230	231	237	231	238	232	232.0
0.6	215	215	218	218	220	217	220	221	218.0
0.8	214	211	212	214	222	216	217	218	215.5
1.0	217	215	219	220	224	218	223	219	219.4
1.2	221	221	226	224	228	227	231	224	225.3
1.4	227	225	229	228	230	228	230	228	228.1
1.6	232	231	235	234	236	236	243	236	235.4
1.8	243	240	240	245	249	245	248	247	244.6
2.0	246	245	245	249	254	251	257	250	249.6
2.2	254	252	256	255	261	255	261	259	256.6
2.4	258	255	257	258	263	259	261	259	258.8
2.6	255	256	259	258	262	261	262	259	259.0
2.8	261	258	258	263	270	260	263	263	262.0
3.0	257	257	256	260	264	263	265	263	260.6
3.2	262	261	263	266	273	266	267	266	265.5
3.4	262	262	262	266	274	265	267	265	265.4
3.6	265	262	266	264	266	267	275	269	266.8
3.8	266	264	265	268	273	267	271	269	267.9
4.0	267	264	267	268	271	267	268	269	267.6

Dari Gambar 12. dapat dianalisis tentang tegangan breakdown yang terjadi pada lingkungan gas argon tekanan rendah menggunakan elektroda jenis jarum. Penggunaan elektroda jarum memiliki akurasi jarak yang paling tinggi dibandingkan dengan elektroda jenis plat sejajar maupun bola.

Seperti terlihat pada Gambar 5.19, bila dibaca dari tekanan tinggi menuju ke tekanan rendah (dari kanan ke kiri), maka tegangan breakdown cenderung menurun, dari 277 V dan terus menurun. Hal ini disebabkan karena pada tekanan tinggi, terdapat banyak atom gas antara kedua elektroda, sehingga diperlukan tegangan yang tinggi (energi yang lebih tinggi) untuk membuat jalur ionisasi antara Elektroda



Gambar 9 .Hasil plotting tegangan breakdown rata-rata dari semua jarak eksperimen.

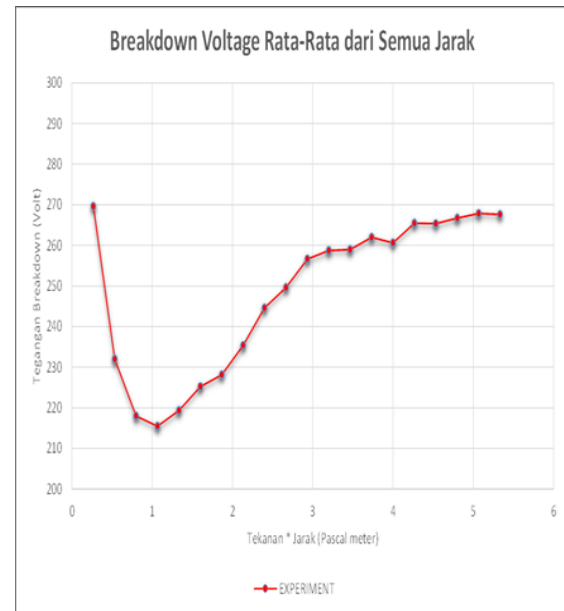
Semakin rendah tekanan, konsentrasi gas semakin rendah yang berakibat pada jumlah atom gas antara kedua elektroda lebih sedikit. Hal ini membuat pembentukan plasma atau jalur ionisasi lebih mudah terbentuk karena hambatan yang lebih kecil. Akibatnya adalah tegangan breakdown berangsur turun seiring turunnya tekanan gas.

Namun pada satu titik, yaitu sekitar 0,8 Torr-cm, tegangan breakdown mencapai titik terendahnya, yang dalam hal ini bernilai 223 V. Ketika tekanan diturunkan, maka tegangan breakdown akan mulai naik drastis. Hal ini disebabkan di tekanan tersebut, terjadi hal sebaliknya, yaitu konsentrasi atom gas yang terlalu sedikit justru akan membuat pembentukan jalur ionisasi lebih sulit. Hal ini disebabkan elektron dari atom yang terpental dari tumbukan elektron dari elektroda (atau dari elektron atom gas lainnya)

Pencarian Kurva Paschen Ideal

Kurva Paschen Ideal dicari berdasarkan hasil plotting . Pada kedua pendekatan, digunakan MSE (mean squared error) sebagai indikator kemiripan data hasil pengamatan dengan data kurva ideal yang dicari. Pencarian nilai MSE didasarkan atas error atau selisih antara data pengamatan dengan data kurva ideal yang

dikuadratkan untuk menghindari nilai negatif (yang disebut dengan SE atau squared error) dan dari semua nilai SE tersebut dicari rata-ratanya sehingga muncul nilai MSE tersebut. Semakin rendah nilai MSE, maka akan semakin mirip pula hasil pengamatan terhadap kurva ideal.



Gambar 12. Hasil plotting kurva Paschen.

Pada hasil pengambilan data, didapatkan Kurva Paschen aktual sesuai dengan hasil pliting untuk semua jarak menggunakan elektroda jarum .

PENUTUP

Desain generator plasma yang telah dirancang meliputi catu daya (pengubah tegangan AC 220 V menjadi DC 2000 V), pengatur tegangan pasok, ruangan reaktor, elektroda, pompa vakum, reservoir argon, instalasi pemipaan, serangkaian katup vakum, voltmeter, amperemeter, dan barometer. Generator tersebut telah berhasil membangkitkan plasma sesuai dengan kaidah teori yang ada. Perilaku medan listrik yang terjadi pada elektroda berbentuk jarum berupa medan yang terfokus sepanjang permukaan jarum katoda dan juga terdapat sebaran yang merata mengarah pada anoda

Diharapkan pada penelitian berikutnya bisa menghasilkan perilaku plasma pada gas mulia lainnya, yaitu helium, neon, kripton, xenon, dan radon.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Kupang dalam hal ini Pusat Penelitiandan Pengabdian kepada Masyarakat yang telah memberikan kesempatan dan mendanahi penelitian ini dalam program penelitian rutin tahun anggaran 2022. kepada tim peneliti untuk melakukan penelitian ini. Selanjutnya, ucapan terimakasih kepada Mikael Namas, S.Si.,M.Si dan Yudi Antoniu H.Berr,A.Md yang telah berkontribusi sebagai tim peneliti dalam menyelesaikan penelitian ini. Kepada Tim Pengelola Jurnal FLASH, penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan perannya dalam mereview hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Alonso, M. dan Edward, J.F. 1967. *Fundamental University Physics.Vol.II Fields and Wave*. Addison-Wesley Publishing.
- [2]. Czapka, Tomasz. 2011. *Back-Corona Discharge Phenomenon in the Nonthermal Plasma System*. IEEE Transactions on Plasma Science. New York.
- [3]. Chen, J. dan Davidson, J.H. 2002. *Electron Density and Energy Distributions in the Positive DC Corona: Interpretation for Corona-Enhanced Chemical Reactions*. Plasma Chemistry and Plasma Processing. Vol. 22.
- [4]. Davidson, J.H. 2000. *Recent Trends In Electrostatic Precipitation*. New York: McGraw-Hill Inc.
- [5]. Duffy, A. 1999. *Electric Charge and Coulomb's Law, Physics Lecture Demonstration*. Massachusetts: Boston University.
- [6]. E., Kuffel, W.S., Saengl, J., Kuffel. 2000. *High Voltage Engineering Fundamental*. Published by Butterworth-Heinemann. Typeset by Laser Words, Madras, India.
- [7]. Hayt, W.G. 1982. *Teknologi Elektromagnetik*. Edisi keempat alih Bahasa Houw Liong. Jakarta: Erlangga.
- [8]. Iskander, M.F. 1992. *Electromagnetic Fields and Waves*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- [9]. Kind, D. 1993. *Pengantar Teknik Ekspremental Tegangan Tinggi*. Bandung: ITB.
- [10]. Kim, H.H. Prieto, G., Takashima, K., Katsura, S., Mizuno, A. 2002. *Performance Evaluation of Discharge Plasma for Gaseous Pollutant Removal*. Journal of Electrostatic Elsevier Vol. 55.
- [11]. Li, Dashuai, Tong, Ling, Gao, Bo, dan Tian, Yu. 2015. *The Study of 2.45 GHz Atmospheric Microwave Plasma Generator*. IEEE Transaction on Industry Applications. Vol. 15. New York.
- [12]. M.S., Naidu. 1995. *High Voltage Enggineering*. Second Edition. New York: McGraw-Hill Inc.
- [13]. Nur, Muhammad. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Universitas Diponegoro. Semarang.