

Ionisasi Gas Butana pada Metode Pelepasan Listrik Tegangan Searah dengan Ketidakmurnian Udara Tekanan Tinggi, Plasma Termal

Ikhsan Rahman Husein¹, Rakhmawati Farma¹, Saktioto¹
Program Studi S1 Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Riau, Kampus Bina Widya
Jl. Prof. Muchtar Luthfi Pekanbaru, 28293, Indonesia
Ikhsanrahman.h@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk menjelaskan ionisasi gas butana dengan campuran udara pada tekanan tinggi. Proses kelistrikan ini menggunakan elektroda grafit pensil yang digunakan untuk melucuti gas pembentukan plasma dengan metode electrical-discharge pada rentang tekanan atmosfer. Plasma Karbon diproduksi dengan mengoperasikan tegangan (DC) < 3,5kV dan mengalirkan gas butana ke dalam tabung plasma. Hasil eksperimen menunjukkan tegangan jatuh dan arus listrik. Tegangan dan arus listrik diperoleh sebelum dan sesudah terjadi breakdown. Densitas dan temperatur plasma Karbon dihitung dari arus listrik dan tegangan jatuh. Hasil eksperimen menunjukkan ionisasi udara pada tekanan rendah memiliki tegangan maksimum 570V, tegangan jatuh 530-570V dan arus listrik 0,27-0,45mA, sedangkan pada tekanan tinggi memiliki tegangan maksimum 1160V, tegangan jatuh 900-1100V dan arus 0,46-0,6mA. Ionisasi yang terjadi saat penambahan gas butana (ketidakmurnian campuran udara) pada tekanan rendah memiliki tegangan maksimum 772V, tegangan jatuh 536-775V dan arus listrik 0,03-0,45mA, sedangkan pada tekanan tinggi memiliki tegangan maksimum 1044V, tegangan jatuh 675-1055V dan arus listrik 0,03-0,69mA. Hasil data ini berhubungan dengan variasi distribusi gas yang berada didalam tabung. Hasil eksperimen diharapkan dapat digunakan untuk pengembangan pertumbuhan Carbon Nano Tube pada ujung katoda.

Kata kunci: *Arc Discharge, Ionisasi, Plasma Karbon, Tegangan DC*

1. Pendahuluan

Perkembangan penelitian tentang plasma dari aspek fisika, kimia dan bantuan matematika terus berkembang dengan berbagai aplikasi teknologi yang telah disumbangkan seperti dalam teknologi bahan dan penerapannya untuk penjernihan air yang ramah lingkungan [1], di bidang industri seperti pemotongan baja, pengelasan, dan sebagai sumber energi.

Plasma tekanan atmosfer saat ini memiliki peranan penting dalam pengembangan material seperti penumbuhan *Carbon Nano Tubes* (CNTs) yang telah berhasil dilakukan dengan menggunakan pelepasan listrik diantara elektroda seperti plasma tekanan atmosfer atau plasma termal [2]. Saat ini, banyak ilmuwan yang mengembangkan metode untuk menghasilkan CNT menggunakan banyak gas antara lain gas helium, gas argon, campuran helium-argon dan gas-gas lainnya. Gas butana menjadi medium yang sangat bagus dalam mensintesis CNT karena memiliki rantai karbon yang panjang dalam mempercepat terjadinya ionisasi.

Metode yang telah dilakukan untuk menghasilkan plasma dan membentuk CNTs antara lain *arc discharge method*, metode laser, dan *chemical vapour deposition* (CVD). Metode *arc discharge* merupakan metode yang digunakan

pertama kali dalam menemukan CNTs dan metode ini merupakan metode yang paling mudah dan efisien dalam menghasilkan ionisasi plasma karbon [3].

Penelitian ini akan mengusulkan pembentukan plasma dengan suatu tabung reaktor plasma lucutan gas karbon bertekanan atmosfer dan ketidakmurnian udara dengan dua elektroda yang dihubungkan dengan sumber tegangan listrik. Gas karbon yang digunakan akan terionisasi dan menghasilkan plasma.

2. Ionisasi Plasma Karbon dan Butana

Menurut Chen (1984), plasma merupakan daerah tumbukan elektron yang sangat signifikan terjadi [4]. Plasma dapat terjadi ketika temperatur atau energi gas dinaikkan sehingga keluaranya elektron dari orbit atomnya. Besarnya energi ionisasi atom atau molekul dapat dituliskan dalam Persamaan 1:

$$\frac{1}{2}m_e v_e^2 \geq e v_i \quad (1)$$

dimana m_e adalah massa elektron, v_e adalah kecepatan elektron, e adalah muatan elektron, dan v_i adalah potensial ionisasi [5].

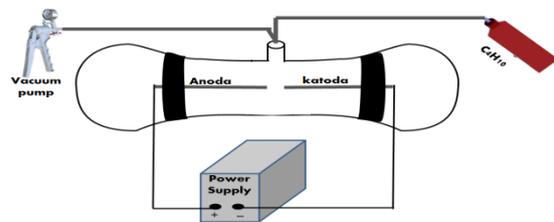
Proses terjadinya plasma diawali dan dipengaruhi oleh beberapa kejadian antara lain adalah disosiasi, eksitasi, ionisasi dan interaksi foton. Disosiasi

merupakan proses pemecahan molekul menjadi unsur-unsur atom. Eksitasi adalah peristiwa dimana elektron yang berada di tingkat energi yang lebih rendah berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Peristiwa kebalikan dari eksitasi tersebut disebut relaksasi. Ionisasi merupakan proses terlepasnya elektron dari atom. Proses ionisasi ini terjadi sangat cepat dan bila energi ionisasi ini tidak terjaga maka akan dengan cepat pula proses rekombinasi yaitu proses kembalinya elektron ke orbit atomnya.

Ionisasi dilakukan dengan berbagai metode salah satunya adalah *arc discharge*. *Arc discharge* adalah proses ionisasi dimulai dari polarisasi elektron dalam atom dan molekul, diikuti dengan aliran arus listrik antara dua elektroda melalui medium gas yang terionisasi dalam tegangan listrik dan tekanan tinggi. Tegangan yang tinggi menyebabkan arus listrik dikonduksikan oleh elektron dan ion [6].

3. Eksperimen Plasma Karbon dan Campuran Udara

Proses ionisasi dilakukan dengan menaikkan tegangan listrik secara perlahan dinaikkan sehingga pada jarak elektroda tertentu terjadi *spark* dengan diikuti tegangan jatuh dan arus listrik seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perencanaan dan pengoperasian plasma karbon tegangan DC

Gambar 1 menjelaskan ionisasi gas yang terjadi antara dua elektroda. Jarak antara elektroda dalam rentang skala millimeter untuk memudahkan tegangan jatuh terbentuk dan arus listrik yang relatif konstan. *Vacuum pump* digunakan untuk variasi tekanan gas didalam tabung plasma. *Power supply* yang digunakan hingga 3,5kV dan arus hingga 40mA. Awalnya, tekanan gas udara dalam tabung divariasikan. Kemudian, tegangan dinaikkan secara kontinu hingga terjadinya *spark*. *Spark* ini menandakan terjadinya ionisasi dengan menghasilkan tegangan jatuh dan arus listrik. Penambahan gas butana ditambahkan setelah variasi tekanan gas udara didalam tabung dilakukan dan tegangan dinaikkan secara kontinu untuk melihat ionisasi yang terjadi.

Gas butana yang masuk dan gas udara yang keluar memiliki kecepatan masing-masing. Secara statistik dapat diketahui dengan menggunakan persamaan Maxwell Boltzmann :

$$f(v) = \frac{dn_v}{dv} = \frac{4n}{\pi^{1/2}} \left(\frac{m}{2KT}\right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2KT}} \quad (2)$$

Besaran fisis ini dihitung untuk memprediksi tumbukan spesies Karbon dan banyaknya densitas Karbon yang terekombinasi dipermukaan katoda. Densitas dan temperatur plasma karbon dapat dihitung sebagai berikut:

$$n = \frac{2 \varepsilon_0 \varepsilon_r V}{e d^2} \quad (3)$$

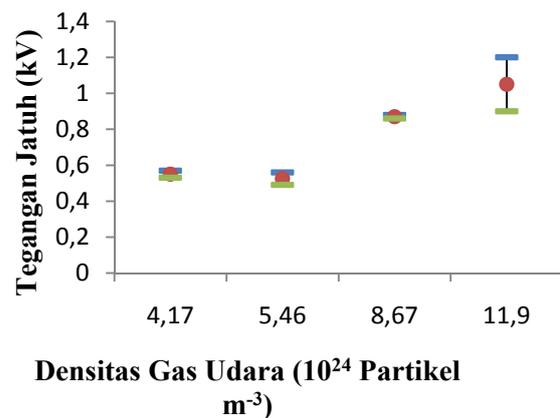
$$p = n \cdot K_b \cdot T \quad (4)$$

4. Pembahasan

Pada tekanan 12cmHg dengan tegangan DC maksimum 570V menghasilkan ionisasi gas dengan tegangan jatuh 0,53-0,57kV dan 0,27-0,45mA. Tekanan 16cmHg dengan tegangan maksimum 580V menghasilkan tegangan jatuh 0,49-0,56kV dan 0,31-0,48mA. Tekanan 26cmHg dengan tegangan maksimum 920V menghasilkan tegangan jatuh 0,86-0,88kV dan 0,54-0,6mA. Tekanan 36cmHg dengan tegangan maksimum 1160V menghasilkan tegangan jatuh 0,9-1,1kV dan 0,46-0,6mA. Data ini menunjukkan hubungan hampir linier antara tekanan dengan arus dan tegangan jatuh yang dihasilkan. Arus listrik muncul disebabkan karena terjadinya pergerakan ion positif dan elektron dari hasil ionisasi dimana elektron bergerak menuju ke anoda dan ion bergerak ke katoda.

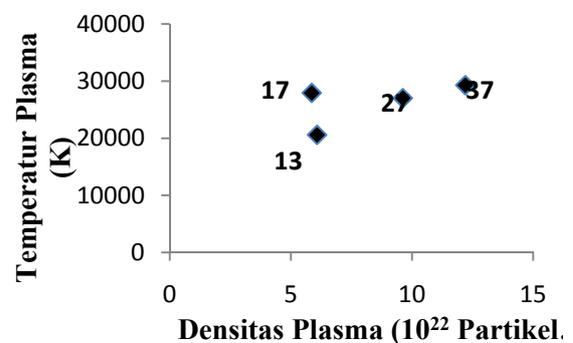
Pergerakan muatan terjadi karena adanya pengaruh beda potensial dari setiap elektroda.

Ketika tekanan didalam tabung dikurangi maka akan terjadi pula pengurangan densitas. Densitas yang berkurang juga mempengaruhi tegangan jatuh yang dihasilkan seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Densitas udara terhadap tegangan jatuh

Gas udara yang berada di dalam tabung mengalami ionisasi sehingga membentuk plasma. Plasma yang dihasilkan juga memiliki densitas seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 3. Pengaruh densitas plasma terhadap temperatur plasma

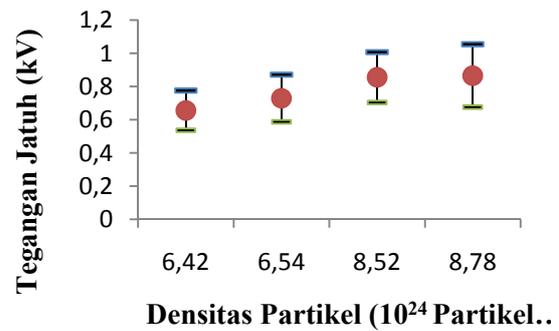
Gambar 3 menunjukkan hubungan hampir yang linier. Densitas plasma bertambah diikuti tekanan yang meningkat sehingga temperatur plasma juga akan meningkat. Temperatur ini merupakan pergerakan elektron yang terionisasi. Data kedua pada Gambar 3 turun karena tekanan yang diberikan relatif kecil.

Sedangkan ionisasi gas butana pada tekanan 26 cmHg memiliki densitas partikel $8,29 \times 10^{24}$ partikel/m³ dan tegangan maksimum 1199V. Pada tekanan 31cmHg memiliki densitas partikel $9,98 \times 10^{24}$ partikel/m³ dan tegangan maksimum 1303V. Tekanan 36 cmHg memiliki densitas partikel $11,5 \times 10^{25}$ partikel/m³ dan tegangan maksimum 1465V. Tekanan 41cmHg memiliki densitas partikel $13,1 \times 10^{25}$ partikel/m³ dan tegangan maksimum 1648V. Tekanan 41cmHg memiliki densitas partikel $14,9 \times 10^{25}$ partikel/m³ dan tegangan maksimum 1828V.

Tegangan listrik pada butana yang diberikan cenderung lebih besar dari tegangan pada gas udara disebabkan densitas butana bertambah. penambahan densitas butana yang semakin besar menyebabkan osilasi tumbukan semakin sulit karena panjang lintasan rata-rata partikel semakin kecil yang menyebabkan perubahan energi yang terjadi kecil. Butana memiliki *cross section* yang besar sehingga tumbukan eksitasi yang terjadi

begitu lambat. Semakin besar energi ionisasi maka semakin mudah gas terionisasi.

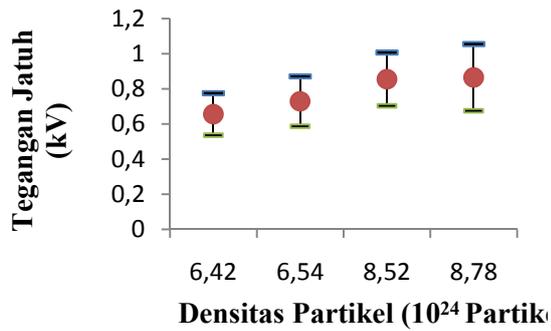
Gambar 4, 5, dan 6 menunjukkan *electrical discharge, breakdown voltage*, dan temperatur plasma.



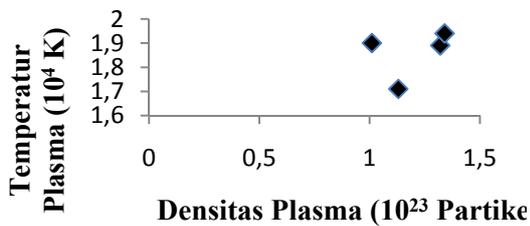
Gambar 4. Hubungan densitas partikel dan *breakdown voltage*

Gambar 4 menunjukkan perbandingan *breakdown voltage* yang dihasilkan oleh gas butana. *Breakdown voltage* terjadi karena adanya elektron yang lepas dari atom gas dan bergerak menuju katoda yang dipengaruhi oleh medan listrik. Medan listrik yang tetap menjaga gas terionisasi menyebabkan tidak memerlukan penambahan energi dari tegangan listrik yang lebih besar.

Gambar 5 menunjukkan proses *electrical discharge* yang terjadi. Elektron bergerak dengan kecepatan tertentu yang dipengaruhi oleh potensial listrik, medan listrik, kecepatan drift, dan osilasi tumbukan yang terjadi selama proses ionisasi.



Gambar 5. *Electrical Discharge* gas butana



Gambar 6. Hubungan densitas plasma terhadap temperatur plasma

Gambar 6 menunjukkan pergerakan elektron dan ion-ion hasil dari proses ionisasi. Semakin besar densitas plasma di dalam tabung maka temperatur plasma juga semakin besar, dimana pada plasma termal ini temperatur elektron dan ion adalah sama yang memenuhi kesetimbangan termodinamik Saha-Boltzmann. Hasil ini lebih kecil dibandingkan ionisasi pada udara disebabkan karena massa relatif butana lebih besar dari partikel udara. Rantai Karbon dari gas butana juga besar sehingga ionisasi semakin mudah terjadi.

5. Kesimpulan

Ionisasi yang dihasilkan akibat gas butana memiliki kecenderungan linier. Perancangan dan pengoperasian telah berhasil dilakukan. Tegangan maksimum, tegangan jatuh dan arus listrik saat terjadinya

ionisasi udara pada tekanan terkecil adalah 570V, 530-570V dan 0,27-0,45mA, sedangkan ionisasi yang terjadi pada tekanan terbesar adalah 1160V, 900-1100V dan 0,46-0,6mA. Ini karena *cross section* yang relatif besar, energi ionisasi, dan massa relatif dari gas tersebut. Densitas dan temperatur plasma yang dihasilkan menunjukkan hasil yang baik dalam meningkatkan pertumbuhan CNT.

6. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi Indonesia atas anggaran yang diberikan melalui Grant Riset KLN 2017 dan keterlibatan mahasiswa dalam Pekan Kreativitas Mahasiswa tahun 2017. Terima kasih juga kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat dan Laboratorium Fotonik Universitas Riau, Pekanbaru.

Daftar Pustaka

1. Nur, M. 2009. Koreksi Tekanan Gas Ideal untuk Plasma sebagai Materi Fase keempat dan Penerapannya pada Plasma Argon. *Berkala Fisika*. Vol 12. No 4. Hal 161-170
2. Yamaguchi, T., Bandows, S., and Iijima, S., 2004. *Synthesis of Carbon Nanohorn Particles by Simple Pulsed Arc Discharge Ignited Between Pre-heated Carbon Rods*. Department of Materials Science and Engineering,

21st Century COE Nano-Factory,
Meijo University, Nagoya.

3. Raniszewski, Grzegorz., Szymanski, Lukasz.,and Kolacinski, Zbigniew. 2012. *Carbon Nanotubes Synthesis By Electric Arc Plasma With External Magnetic Field*. Technical University Of Lodz, Institute Of Mechatronics And Information Systems
4. Chen, F. F. 1984. *Plasma Physics and Controlled Fusion*. Los Angeles: Plenum Press.
5. Nur, M. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang: Penerbit Undip Press.
6. Tufail, Kashif. 2014. *Synthesis And Characterization Of Carbon Nanotubes By Arc Discharge With Methane Gas*. Universiti Teknologi Malaysia.