

## **Analisis mobilitas pembawa muatan pada lucutan plasma korona negatif konfigurasi kawat silinder menggunakan gas nitrogen**

*BN Michael GP dan Muhammad Nur*

*Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang*

*E-mail: michael\_marbun@st.fisika.undip.ac.id*

### **ABSTRACT**

*Carbon mobility analysis has been carried out on plasma corona discharge of negative of cylindrical wire configuration using nitrogen gas. The study was conducted using a 24 cm long stainless steel cylinder and an iron wire stretched to the center in a cylindrical tube with a wire length of 24 cm. Both ends of the cylinder are closed using an insulator material and given the input and output holes of the gas. The nitrogen gas flowrate used is 2 L / min to 6 L / min at intervals of 1 L / min and the applied voltage is from 0 kV until arc discharges occur at 0.3 kV intervals. The characterization of the negative corona discharge plasma reactor was carried out to determine the initial stresses for the emergence of currents as a sign of the operation of the reactor, the final stresses for knowing arc discharges, reactor working areas, and the relation of currents to stress for gradient values. The result of this characterization is obtained by charge load mobility  $4.59 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{V.s}$  at 2 L / min flowrate,  $9.29 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{V.s}$  at flowrate 3 L / min,  $1.15 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{V.s}$  at a flowrate of 4 L / min,  $4.13 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{V.s}$  at a flowrate of 5 L / min, and  $9.29 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{V.s}$  at a flowrate of 6 L / min. The result of this negative corona charge discharging mobility is compared with a positive corona discharge study. From this comparison it can be concluded that the mobility of negative corona discharge charge carriers at 2 L / min flow discharge is higher than positive discharge, while at 6 L / min flowrate the negative and positive corona charge discharge charge is equal.*

**Keywords:** *Plasma corona negative, cylinder wire, charge carrier mobility, nitrogen gas, voltage, current*

### **ABSTRAK**

*Penelitian analisis mobilitas pembawa muatan pada lucutan plasma korona negatif konfigurasi kawat silinder telah dilakukan menggunakan gas nitrogen. Penelitian dilakukan dengan menggunakan silinder stainless steel sepanjang 24 cm dan kawat besi yang membentang pada bagian tengah dalam tabung silinder dengan panjang kawat 24 cm. Kedua ujung silinder ditutup menggunakan bahan isolator dan diberi lubang masukan dan keluaran gas. Debit alir gas nitrogen yang digunakan yaitu 2 L/menit sampai 6 L/menit dengan interval 1 L/menit dan tegangan yang digunakan dari 0 kV sampai terjadi lucutan arc dengan interval 0,3 kV. Karakterisasi reaktor plasma lucutan korona negatif dilakukan untuk mengetahui tegangan awal untuk munculnya arus sebagai tanda bekerjanya reaktor, tegangan akhir untuk mengetahui munculnya lucutan arc, daerah kerja reaktor, dan hubungan arus terhadap tegangan untuk mengetahui nilai gradien. Hasil dari karakterisasi ini diperoleh mobilitas pembawa muatan  $4,59 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{V.s}$  pada debit alir 2 L/menit,  $9,29 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{V.s}$  pada debit alir 3 L/menit,  $1,15 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{V.s}$  pada debit alir 4 L/menit,  $4,13 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{V.s}$  pada debit alir 5 L/menit, dan  $9,29 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{V.s}$  pada debit alir 6 L/menit. Hasil mobilitas pembawa muatan lucutan korona negatif ini dibandingkan dengan penelitian lucutan korona positif. Dari perbandingan ini dapat disimpulkan bahwa mobilitas pembawa muatan lucutan korona negatif pada debit alir 2 L/menit lebih tinggi dibandingkan lucutan positif, sedangkan pada debit alir 6 L/menit mobilitas pembawa muatan lucutan korona negatif dan positif bernilai sama.*

**Kata kunci:** *Plasma korona negatif, kawat silinder, mobilitas pembawa muatan, gas nitrogen, tegangan, arus*

## **PENDAHULUAN**

Gas merupakan suatu zat yang mempunyai volume dan mudah berubah bentuk sesuai dengan bentuk tempat kondisinya. Gas merupakan fase ketiga setelah fase padat dan

cair. Pada lapisan atmosfer bumi terdapat beberapa gas penyusun atmosfer. Komposisi gas penyusun saat atmosfer kering (tanpa kandungan air), yaitu 78,6% nitrogen ( $N_2$ ), 21% oksigen ( $O_2$ ), 0,9% argon (Ar), 0,03% karbon dioksida ( $CO_2$ ), dan berbagai jenis gas-gas pada

level yang sangat kecil (kurang dari 0,002%) [1].

Plasma merupakan penamaan untuk gas terionisasi. Plasma dapat digolongkan menjadi dua, yaitu plasma terionisasi lemah dan terionisasi kuat. Plasma terjadi ketika kondisi gas terisi oleh partikel bermuatan dengan energi potensial antar partikelnya lebih kecil dibandingkan dengan energi kinetik partikel-partikel yang terdapat dalam gas tersebut [2].

Lucutan korona merupakan plasma. Lucutan korona termasuk lucutan mandiri (*self-sustained*) yang terbentuk pada medan listrik tidak seragam (*non uniform*) yang kuat antarelektrode. Lucutan plasma korona terdapat dua jenis, yaitu lucutan plasma korona positif dan lucutan plasma korona negatif. Jenis lucutan plasma korona ini ditentukan oleh polaritas tegangan yang diberikan pada elektrode aktif.

Elektrode aktif adalah elektrode yang mempunyai intensitas medan listrik yang tinggi. Elektron-elektron yang bergerak dari katode menuju anode akan dapat mengionisasi atom-atom atau molekul gas di antara elektrode. Ionisasi terjadi di sekitar elektrode titik karena pengaruh medan listrik ion-ion hasil ionisasi akan mengalir atau bergerak menuju katode melalui daerah aliran (*drift region*). Aliran ion-ion ini akan menimbulkan arus ion yang disebut arus saturasi unipolar [3].

Telah dilakukan beberapa penelitian pembangkitan plasma dan aplikasi radiasi plasma dalam beberapa tahun terakhir. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Gang Xiao, dkk [4] bahwa pada suhu 350-850 °C pada celah lucutan plasma korona DC negatif beberapa elektron tidak terikat pada molekul gas dan berpindah ke tabung anode. Elektron ini membentuk arus elektron dan rasio arus elektron terhadap arus total meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Selain itu, material bahan katode hanya memiliki sedikit pengaruh pada karakteristik pelepasan lucutan plasma korona pada suhu tinggi.

Salah satu gas yang ada di alam yaitu gas nitrogen. Nitrogen merupakan unsur kimia

dengan simbol N dan memiliki nomor atom 7. Nitrogen berada pada golongan 15 tabel periodik dan merupakan nonlogam diatomik. Nitrogen mempunyai karakteristik tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan sebagian besar merupakan gas diatomik. Nitrogen dapat bersifat insulator atau semikonduktor.

## DASAR TEORI

### Plasma

Irvin Langmuir dan Lewi Tonks mengemukakan konsep mengenai plasma kali pertama pada tahun 1928. Mereka mendefinisikan plasma sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik. Peristiwa ionisasi adalah terlepasnya elektron suatu atom dari ikatannya. Gas dapat terionisasi jika terdapat atom-atom yang terionisasi bermuatan ion positif dan elektron. Terbentuknya gas terionisasi dalam tabung dapat menjadi terionisasi lemah atau terionisasi kuat [3].

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 akan membuat gas tersebut melepaskan elektron-elektronnya yang pada keadaan normal mengelilingi inti [5].

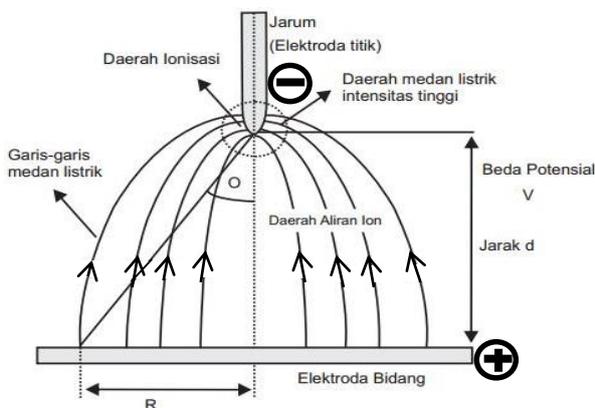
### Pembangkitan Plasma

Plasma dapat dibangkitkan dengan menyusun dua buah elektrode diletakkan di dalam tabung berisi gas dengan kedua elektrode dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi, maka akan terjadi lucutan listrik di antara elektrode-elektrodenya. Elektron saling menumbuk dengan atom-atom atau molekul-molekul gas di antara elektrode menuju anode. Elektron-elektron dipercepat oleh beda potensial, sehingga tumbukan antara elektron akan terjadi terus menerus mengakibatkan ionisasi berantai [3].

Peristiwa ionisasi dapat menyebabkan terjadinya disosiasi atau disebut juga pemisahan suatu molekul menjadi atom-atom penyusunnya. Tumbukan antara elektron dengan partikel-partikel gas tidak hanya menyebabkan terjadinya ionisasi, tetapi juga rekombinasi [5]. Rekombinasi merupakan proses kebalikan dari ionisasi, terjadi proses pengikatan elektron oleh ion dan ikatan antar atom membentuk molekul. Selain ionisasi oleh elektron, ionisasi juga dapat terjadi terhadap suatu atom atau molekul yang memperoleh energi dari sejumlah foton yang disebut fotoionisasi.

### Reaktor Plasma

Reaktor plasma yaitu sebuah tempat yang menjadi media pembentukan plasma. Untuk membangkitkan plasma salah satu caranya yaitu dengan memanfaatkan peristiwa lucutan korona tegangan tinggi (sesuai Gambar 1).



**Gambar 1** Reaktor plasma lucutan korona elektrode titik bidang [3]

### Mobilitas Pembawa Muatan

Mobilitas ion ( $\mu$ ) dapat didefinisikan kecepatan ion yang bergerak melalui gas pada pengaruh medan listrik. Peristiwa terdapatnya arus ion di antara dua elektrode diawali oleh pada daerah elektrode titik terdapat medan listrik yang kuat. Kuat medan listrik ini mempercepat partikel bermuatan terutama elektron, sehingga terjadi ionisasi berantai

karena tumbukan elektron. Kepadatan ion positif meningkat secara eksponensial dengan bertambahnya waktu di daerah dekat katode. Hal ini dapat mendistorsi medan listrik yang menjadi bidang non-Laplacian. Bidang terdistorsi menciptakan lapisan tipis (sering disebut “selubung katode”) dengan ionisasi yang sangat intens di dalamnya [6].

Karakteristik arus  $I$  terhadap tegangan  $V$  dan mobilitas pembawa muatan dalam setiap reaktor plasma dapat dilakukan karakteristik hubungan arus dengan tegangan. Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk menentukan karakteristik hubungan arus  $I$  terhadap tegangan  $V$  tersebut, baik teoretis maupun eksperimen [7]. Perumusan Robinson secara teoretis dinyatakan dalam persamaan (1) atau persamaan (2) berikut.

$$I_s = \frac{2\mu\epsilon_0}{d} (V - V_i)^2 \quad (1)$$

atau

$$I_s = \frac{2xy\mu\epsilon_0}{d^3} (V - V_i)^2 \quad (2)$$

dengan  $I_s$  merupakan besar arus saturasi unipolar dalam mA,  $\mu$  nilai mobilitas ion dalam  $\text{cm}^2/\text{Volt}\cdot\text{second}$ ,  $\epsilon_0$  merupakan nilai permitivitas,  $x$  dan  $y$  besarnya nilai jarak,  $V$  tegangan operasi, dan  $V_i$  tegangan ambang korona dalam Volt [5]. Dengan perumusan Robinson dapat dimodifikasi menjadi persamaan (3) dengan rumus luas permukaan pasif dalam persamaan (4) [8].

$$I_s = \frac{2\mu\epsilon_t S}{d^3} (V - V_i)^2 \quad (3)$$

dengan,

$$S = 2\pi r l \quad (4)$$

dengan  $S$  adalah luas permukaan elektrode pasif dalam cm,  $r$  adalah jari-jari penghalang (*barrier*) dalam cm,  $l$  adalah panjang elektrode (diameter elektrode x jumlah lilitan) dalam cm, dan  $d$  adalah jarak antarelektrode dalam cm. Jika di antara elektrode pasif dan elektrode aktif dipisahkan beberapa material, misalnya udara atau gas, cairan dan padat yang merupakan bahan dielektrik dengan masing-masing permitivitas dielektrik adalah  $\epsilon_1$  untuk bahan 1,  $\epsilon_2$  untuk bahan 2, dan  $\epsilon_3$  untuk bahan 3, maka

hubungan antara  $I_s$  (V) dapat mengikuti persamaan 5 [8].

$$I_s = \frac{2S\mu RT \varepsilon_t}{d^3} (V - V_i)^2 \quad (5)$$

dengan  $\varepsilon_t$  adalah permitivitas total untuk 3 bahan dielektrik yang mengikuti rumus persamaan (6).

$$\frac{1}{\varepsilon_t} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1}{\varepsilon_3} \quad (6)$$

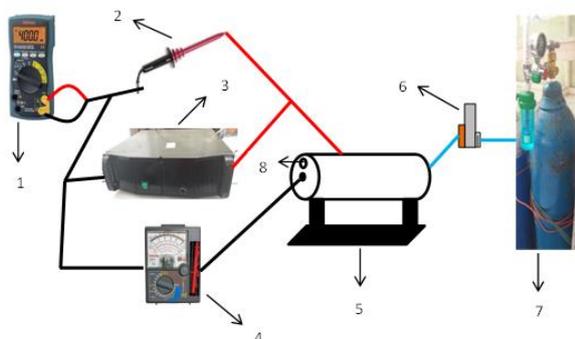
Pada penelitian ini hanya menggunakan 1 bahan dielektri yaitu gas nitrogen, sehingga persamaannya menjadi persamaan 7 berikut.

$$\frac{1}{\varepsilon_t} = \frac{1}{\varepsilon_1} \quad (7)$$

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini reaktor yang akan digunakan adalah reaktor plasma korona kawat silinder yang merupakan sistem tertutup. Reaktor tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan DC. Reaktor ini terdiri dari tabung yang terbuat dari bahan baja anti karat (*stainless steel*) dengan tebal 0,25 cm dan berdiameter 3,5 cm serta tingi tabung tersebut sebesar 24 cm yang berfungsi sebagai penghalang lucutan antar kedua elektrode.

Kedua elektrode ini, yaitu berupa elektrode dalam yang di bagian dalamnya terbuat dari baja antikorasi (*stainless steel*) dengan bentuk lurus dengan panjang 24 cm dan elektrode luar yang berupa dinding tabung. Terdapat alas reaktor yang terbuat dari papan kayu berbentuk persegi panjang dengan ukuran 35 cm x 15 cm sebagai bahan isolator. Skema alat dan bahan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2** Skema alat dan bahan penelitian

Keterangan:

1. Multimeter digital Sanwa
2. Probe HV (nomor kode EC 1010, EnG 1010, *Made in Taiwan*)
3. Sumber tegangan tinggi DC
4. Multimeter analog Sanwa
5. Reaktor plasma korona kawat silinder
6. Flowmeter (Kofloc Model RX1600A Kojima)
7. Gas Nitrogen (N)
8. Masukan dan keluaran gas Nitrogen (N)

Penentuan nilai mobilitas pembawa dapat dilakukan menggunakan data arus dan tegangan yang telah didapatkan. Arus yang terukur merupakan arus saturasi *unipolar* antara anode dan katode, dengan menggunakan persamaan (8) berikut dapat dihitung nilai mobilitas pembawa muatan

$$I_s = \frac{2\mu S \varepsilon_1 V^2}{d^3} \quad (8)$$

Nilai mobilitas ion dapat ditentukan dengan membuat hubungan  $I^{1/2}$  sebagai fungsi V didapat sebuah grafik linier [8]. Melalui nilai koefisien arah gerak grafik (gradien) linier ini, maka nilai mobilitas pembawa muatan dapat diketahui. Perhitungan gradien  $I^{1/2}$  sebagai fungsi V dirumuskan pada persamaan (9) berikut.

$$\frac{\sqrt{I_s}}{V} = \sqrt{\frac{2\mu S \varepsilon_1}{d^3}} \quad (9)$$

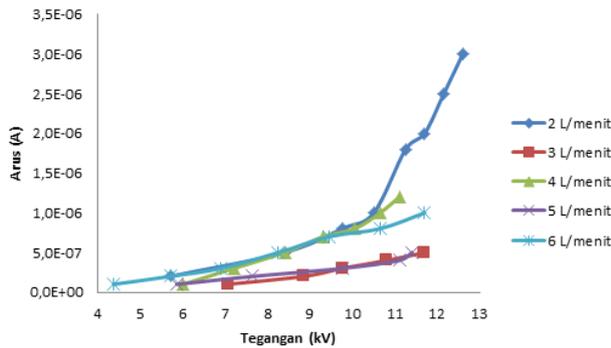
Jika ruas kiri dimisalkan sebagai a, maka dapat ditentukan nilai a dari grafik  $I^{1/2}$  sebagai fungsi V. Setelah didapat nilai a, nilai mobilitas pembawa muatan dapat ditentukan menggunakan persamaan (10) berikut.

$$\mu = \frac{a^2 d^3}{2S \varepsilon_1} \quad (10)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Arus (I) – Tegangan (V)

Hasil karakteristik arus (I) – tegangan (V) ditunjukkan pada gambar 3 berikut.



**Gambar 3** Keseluruhan karakteristik plasma lucutan korona arus DC negatif konfigurasi kawat silinder menggunakan gas nitrogen

Gambar 3 menunjukkan bahwa karakteristik arus sebagai fungsi tegangan pada lucutan korona arus DC negatif akan meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan yang diberikan kepada reaktor. Hal ini sesuai berdasarkan teori arus saturasi *unipolar* yang menyatakan bahwa arus akan selalu meningkat sebanding dengan kuadrat tegangan dengan  $I \sim V^2$  [8].

Arus mulai mengalir pada saat tegangan ambang diberikan sebesar 4,2 kV pada 2 L/menit dengan arus 0,2  $\mu\text{A}$ , 6 kV pada 3 L/menit dengan arus 0,1  $\mu\text{A}$ , 5,7 kV pada 4 L/menit dengan arus 0,1  $\mu\text{A}$ , 5,1 kV pada 5 L/menit dengan arus 0,1  $\mu\text{A}$ , dan 3,6 kV pada 6 L/menit dengan arus 0,1  $\mu\text{A}$  (sesuai Tabel 1). Setelah tegangan mencapai lebih dari angka tersebut nilai arus akan meningkat dan memiliki nilai yang berbeda untuk setiap debit alir gas nitrogen.

Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 3 terlihat arus dan tegangan tertinggi pada debit alir 2 L/menit dengan arus sebesar 3  $\mu\text{A}$  dan tegangan 12,6 kV. Terlihat dari karakterisasi ini untuk mengalirnya arus pada reaktor, tegangan awal pada debit alir 2 L/menit menuju 3 L/menit mengalami kenaikan sebesar 1,8 kV, sedangkan pada 3 L/menit menuju 6 L/menit mengalami penurunan sebesar 0,3 kV, 0,6 kV, dan 1,5 kV. Hal ini disebabkan pada debit alir 2 L/menit gas nitrogen yang mengalir pada

reaktor merupakan debit alir paling kecil dibandingkan debit alir lainnya.

Di dalam reaktor, atom-atom gas nitrogen ini menempati ruang, tetapi tidak padat jika dibandingkan dengan debit alir yang lebih besar dari 2 L/menit. Saat penambahan debit alir menjadi 3 L/menit, atom-atom gas nitrogen semakin bertambah dalam reaktor. Ketika penambahan debit alir menjadi 4 L/menit, atom-atom gas nitrogen bertambah dibandingkan debit alir sebelumnya dalam reaktor. Karena semakin bertambahnya atom-atom dalam reaktor, maka terjadi kerapatan atom-atom, sehingga tegangan yang dibutuhkan untuk mengalirkan arus dalam reaktor semakin kecil.

**Tabel 1** Tegangan ambang pada setiap variasi debit alir gas

Debit Alir Gas (liter/menit)	Tegangan Ambang (kV)	Arus ( $\mu\text{A}$ )
2	4,2	0,2
3	6,0	0,1
4	5,7	0,1
5	5,1	0,1
6	3,6	0,1

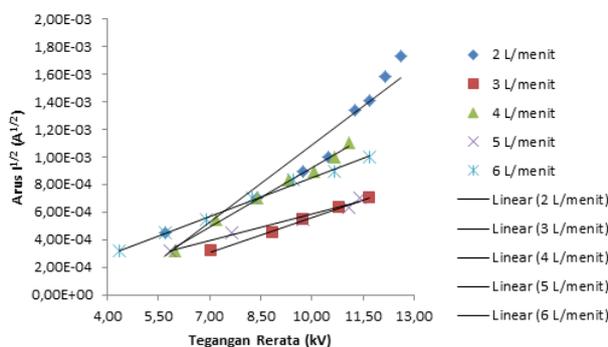
Pada penelitian ini akan timbul lucutan *arc* pada reaktor yang ditandai dengan bunyi pada reaktor. Gas nitrogen pada mulanya berfungsi sebagai isolator dapat berfungsi sebagai konduktor karena pengaruh medan listrik yang sangat tinggi. Medan listrik yang tinggi menyebabkan elektron dipercepat dan terjadi tumbukan dengan molekul gas nitrogen. Elektron-elektron tersebut mengionisasi gas nitrogen yang berada di antara elektrode kawat dan silinder sehingga menghasilkan ion  $N^+$ .

Pengaruh medan listrik menyebabkan ion  $N^+$  bergerak menuju katode. Pergerakan ion-ion tersebut yang menyebabkan timbulnya arus ion yang terbaca pada amperemeter, yang disebut dengan arus saturasi *unipolar*. Pijaran katode yang disebabkan oleh tumbukan-

tumbukan ion dan elektron akan menimbulkan kenaikan arus. Pada keadaan ini proses ionisasi akan terjadi secara berantai dan tidak lagi memerlukan penambahan tegangan dari luar untuk terjadinya ionisasi.

Setelah permukaan katode seluruhnya berpijar, tegangan dan arus listrik akan naik secara simultan. Apabila tegangan terus dinaikkan, maka katode akan semakin panas yang disebabkan tumbukan ion berenergi tinggi dan proses ini menjadi dominan untuk memproduksi elektron. Dalam hal ini tegangan lucutan menjadi menurun dan arus listrik meningkat sehingga terjadi lucutan *arc*. Lucutan *arc* tidak memerlukan lagi penambahan tegangan untuk mendukung lucutan, karena pada katode akan terpancar elektron-elektron terus-menerus yang disebabkan proses *thermionik* [5].

Dari hasil hubungan arus sebagai fungsi tegangan dapat diperoleh hubungan akar arus sebagai fungsi tegangan rerata untuk mendapatkan nilai gradien. Dari nilai gradien ini dapat ditentukan mobilitas pembawa muatan (sesuai Gambar 4).



**Gambar 4** Keseluruhan karakteristik akar arus sebagai fungsi tegangan rerata plasma lucutan korona arus DC negatif konfigurasi kawat silinder menggunakan gas nitrogen

**Mobilitas Pembawa Muatan**

Mobilitas pembawa muatan (sesuai Tabel 2) dapat ditentukan menggunakan persamaan (11) berikut.

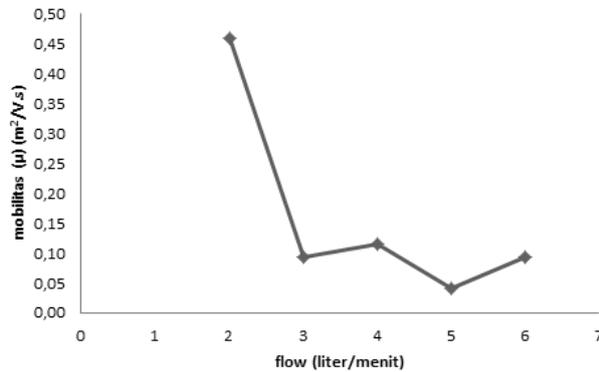
$$\mu = \frac{a^2 d^3}{2S\epsilon_1} \tag{11}$$

dengan a sebagai nilai gradien, d sebagai jarak antara kawat dengan dinding silinder, S sebagai luas permukaan elektrode pasif, dan  $\epsilon_1$  sebagai permitivitas dielektrik udara. Untuk menentukan nilai gradien didapatkan dari grafik linier hubungan akar arus sebagai fungsi tegangan rerata.

**Tabel 2** Mobilitas pembawa muatan pada setiap variasi debit alir gas

Debit Alir Gas (liter/menit)	Gradien	Mobilitas $\mu$ $m^2/V.s$
2	$2,0 \times 10^{-4}$	$4,59 \times 10^{-1}$
3	$9,0 \times 10^{-5}$	$9,29 \times 10^{-3}$
4	$1,0 \times 10^{-4}$	$1,15 \times 10^{-1}$
5	$6,0 \times 10^{-5}$	$4,13 \times 10^{-3}$
6	$9,0 \times 10^{-5}$	$9,29 \times 10^{-3}$

Dari tabel 2 terlihat mobilitas tertinggi pada debit alir 2 liter per menit, sedangkan mobilitas terendah pada debit alir 5 liter per menit. Terjadi penurunan mobilitas yang tajam pada penambahan debit alir dari 2 liter per menit ke 3 liter per menit (sesuai Gambar 5). Hal ini disebabkan pada debit alir 2 liter per menit gas nitrogen yang mengalir pada reaktor merupakan debit alir paling kecil dibandingkan debit alir 3 liter per menit. Di dalam kawat silinder atom-atom gas nitrogen ini menempati ruang kawat silinder, tetapi tidak padat jika dibandingkan dengan debit alir yang lebih besar dari 2 liter per menit, sehingga pada saat penambahan debit alir atom-atom gas nitrogen bertambah dan padat yang menimbulkan kecepatan atom semakin berkurang.



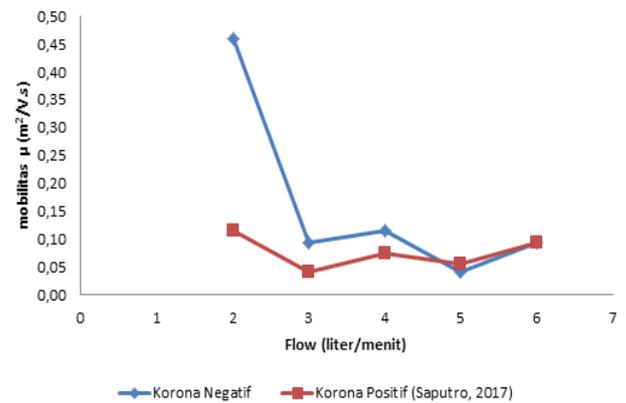
**Gambar 5** Grafik mobilitas pembawa muatan sebagai fungsi debit aliran gas nitrogen

Mobilitas akan menurun seiring bertambahnya debit alir gas nitrogen ke dalam reaktor. Bertambahnya debit alir gas nitrogen memicu penumpukan atom-atom gas dalam tabung reaktor silinder, sehingga terjadi penurunan medan listrik, sedangkan telah diketahui bahwa medan listrik ini bertugas menarik ion menuju katode. Ketika terjadi penurunan medan listrik, aliran ion akan semakin lambat karena ditarik dengan lemah oleh katode karena penumpukan atom-atom.

Aliran ion yang semakin lambat akan mempengaruhi arus ion *unipolar*, sehingga dengan adanya penurunan arus ion *unipolar* menyebabkan penurunan mobilitas, karena mobilitas pembawa muatan berbanding lurus dengan arus ion *unipolar*.

### Perbandingan Mobilitas Pembawa Muatan Korona Negatif dengan Mobilitas Pembawa Muatan Korona Positif

Telah dilakukan penelitian tentang analisis mobilitas pembawa muatan pada lucutan plasma korona arus DC positif konfigurasi kawat silinder menggunakan gas nitrogen oleh [9]. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa mobilitas pembawa muatan lucutan korona positif lebih kecil dibandingkan dengan lucutan korona negatif (sesuai Gambar 6).



**Gambar 6** Grafik perbandingan mobilitas korona negatif penelitian ini dengan penelitian korona positif yang dilakukan oleh [9]

Pada grafik Gambar 6 terlihat bahwa saat debit alir 2 liter per menit pada lucutan korona negatif mobilitas sebesar  $4,59 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{V.s}$ , sedangkan lucutan korona positif mobilitas sebesar  $1,15 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{V.s}$ . Saat debit alir 6 liter per menit pada lucutan korona negatif dan lucutan korona positif memiliki mobilitas yang sama, yaitu sebesar  $9,30 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{V.s}$ . Hal ini dipengaruhi oleh polaritas tegangan yang diberikan pada kawat elektrode aktif.

Plasma lucutan korona positif dapat dibentuk dengan memberikan polaritas positif pada kawat elektrode. Elektron-elektron yang bergerak dari katode menuju anode akan dapat mengionisasi atom-atom atau molekul gas di antara kawat elektrode dengan dinding silinder. Ionisasi terjadi di sekitar kawat elektrode, karena pengaruh medan listrik ion-ion hasil ionisasi akan mengalir atau bergerak menuju katode melalui daerah aliran. Aliran ion-ion ini akan menimbulkan arus ion yang disebut arus saturasi *unipolar*.

Terdapat sedikit perbedaan hasil dalam penelitian ini yang disebabkan karena mobilitas yang terukur tidak hanya gas nitrogen saja, tetapi masih terdapat gas oksigen sebagai penyusun udara karena menggunakan gas nitrogen dengan kemurnian 99%. Plasma lucutan korona negatif dapat dibentuk dengan memberi polaritas negatif pada kawat elektrode.

Hal yang membedakan dengan lucutan korona positif adalah ion yang mengalir melalui daerah aliran merupakan ion-ion yang bermuatan negatif. Ion-ion bermuatan negatif terbentuk karena di dalam reaktor plasma kemurnian gas nitrogen 99,99% dan terdapat 0,01% unsur gas lain, sehingga terdapat molekul elektronegatif ( $O_2$ ) yang mempunyai sifat sangat mudah menangkap elektron. Elektron yang mengalir dari katode menuju anode mengionisasi gas nitrogen pada reaktor, hal ini dapat disebut tumbukan ionisasi [5].

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian analisis mobilitas pembawa muatan pada lucutan plasma korona arus DC negatif konfigurasi kawat silinder menggunakan gas nitrogen yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Hasil penelitian hubungan arus (I) dengan tegangan (V) membentuk grafik linier dengan kenaikan arus sebanding dengan kenaikan nilai kuadrat tegangan ( $I \sim V^2$ ).
2. Penurunan mobilitas yang tajam terjadi pada penambahan debit alir dari 2 liter per menit ke 3 liter per menit.
3. Perbandingan mobilitas ion pembawa muatan lucutan korona negatif dengan lucutan korona positif dipengaruhi oleh polaritas tegangan yang diberikan pada kawat elektrode.
4. Lucutan plasma korona negatif menghasilkan ion-ion bermuatan negatif karena di dalam udara terdapat sejumlah molekul elektronegatif ( $O_2$ ).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hermana dan Assomadi. 2013. *Atmosfer Sains dan Fenomena*. Surabaya.
- [2] Nicholson, D.R. 1983. *Introduction to Plasma Theory*. John Wiley & Sons.

- [3] Nur, M. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [4] Gang Xiao., Xihui Wang., Jiapeng Zhang., Mingjiang Ni., Xiang Gao., dan Kefa Cen. 2013. Current analysis of DC negative corona discharge in a wire-cylinder configuration at high ambient temperatures. *Journal of Electrostatics* 72 (2014) 107-119.
- [5] Chen J., and 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*. 22 (2), 199-224.
- [6] 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.
- [7] Nur, Muhammad., 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: Conference Series* 495.
- [8] Nur, Muhammad. 2016. *Modifikasi Karakteristik I (V) Robinson untuk Korona Kawat Silinder dengan Bahan Dielektrik Banyak*. UnPublish Paper.
- [9] Saputro, Viktor Prima. 2017. Analisis mobilitas pembawa muatan pada lucutan plasma korona arus DC positif konfigurasi kawat silinder menggunakan gas nitrogen. Skripsi. Departemen Fisika FSM UNDIP. Semarang.