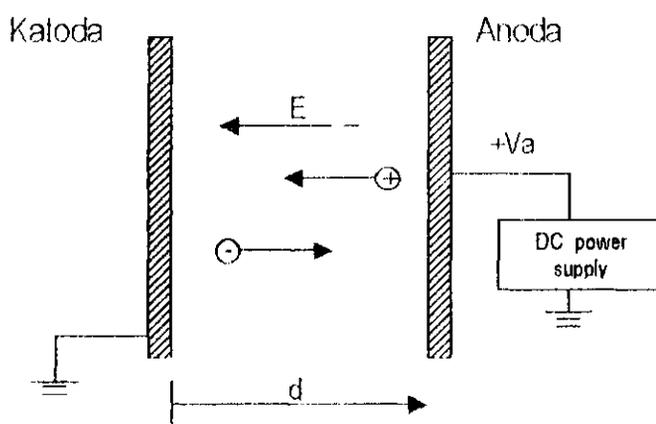


## BAB II

### TELAAH KEPUSTAKAAN

#### 2.1 . Gerak Partikel dalam Medan Listrik

Medan Elektrostatik seragam dapat dibangkitkan oleh dua plat paralel dengan jarak ( $d$ ) tertentu seperti pada gambar 2.1. Muatan positif akan bergerak dari potensial lebih tinggi menuju potensial yang rendah (potensial negatif yang lebih tinggi) dan muatan negatif juga akan bergerak menuju potensial positif yang lebih tinggi. Sedangkan arah medan listrik antara plat paralel ditentukan oleh arah muatan positif yang bergerak (Roth, J.R, 1995).



*Gambar 2.1 Gerak muatan positif dan negatif dalam medan listrik*

Adapun gaya yang ditimbulkan oleh gerak partikel bermuatan antara dua plat sejajar ditunjukkan oleh persamaan :

$$F = e E \quad (N) \quad (2.1)$$

dimana:  $F$  = Gaya elektrostatik (N)

$e$  = Muatan listrik ( $1,602 \times 10^{-19}$  C)

$E$  = Medan listrik (V/m)

Pada gambar 2.1 diatas diperlihatkan, sebuah elektron memancar dengan kecepatan nol dikatoda yang memiliki energi potensial ( $e \cdot Va$ ), dan elektron memperoleh energi kinetik dan energi potensial dengan total energi:

$$W = \frac{1}{2}mv^2 + eV \quad (J) \quad (2.2)$$

Sedangkan besarnya kecepatan elektron ketika bergerak dan sampai ke anoda adalah:

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \quad (2.3)$$

dengan:  $m$  = Massa elektron ( $9,1 \times 10^{-31}$  kg)

$v$  = Kecepatan elektron (m/s)

$V$  = Tegangan (volt)

Bentuk energi yang diperoleh elektron selama perpindahan tersebut adalah energi kinetik dan konstan. Secara kuantitatif besarnya medan listrik diantara dua plat paralel dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$E = \frac{V}{d} \quad (\text{volt / m}) \quad (2.4)$$

Lintasan suatu partikel bermuatan  $q$ , yang bergerak dalam medan listrik dan medan magnet dapat ditentukan dengan persamaan gaya lorentz:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (2.8)$$

dimana:

$F$  = gaya elektrostatis (N)

$q$  = muatan listrik( Coulumb)

$E$  = medan listrik (N/C)

$v$  = kecepatan partikel (m/s)

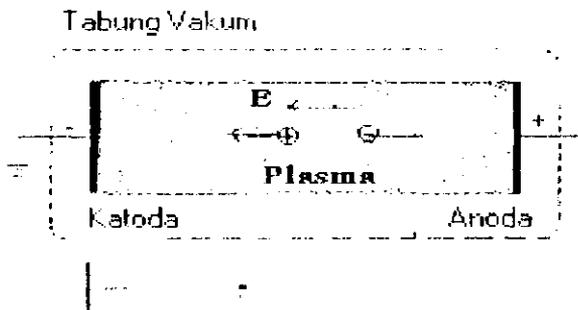
$B$  = medan magnet (Tesla)

Medan listrik luar menyebabkan gerak  $q$  linear sedangkan medan magnet menyebabkan  $q$  berotasi.

## 2.3. Karakteristik Plasma

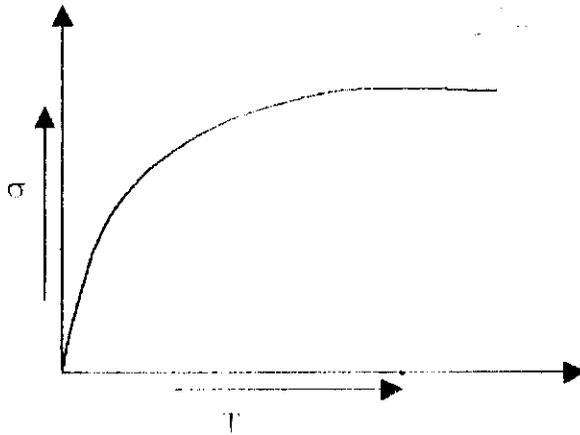
### 2.3.1. Resistivitas dan konduktivitas listrik

Arus listrik terjadi karena ion-ion dan elektron-elektron yang bergerak dan mengakibatkan arah sejajar dengan medan listrik, seperti terlihat pada gambar 2.3.



*Gambar. 2.3. Pergerakan ion dan elektron pada tekanan rendah.*

Konduktivitas plasma berbanding lurus dengan temperatur, semakin tinggi temperatur maka konduktivitasnya semakin tinggi dan resistivitasnya semakin rendah, namun pada temperatur yang lebih tinggi akan menjadi eksponensial. Jika temperaturnya sangat tinggi sekali maka konduktivitasnya akan stabil (lihat gambar 2.4). Hal ini karena pada kondisi ini elektron dan ion banyak dihasilkan. Dimana gerak elektron akan semakin kecil karena ion lebih banyak dan jumlahnya besar.



*Gambar 2.4. Hubungan temperatur dengan konduktivitas.*

### 2.3.2. Frekuensi Plasma

Plasma yang dibangkitkan diantara dua plat sejajar yang dihubungkan dengan potensial akan terpolarisasi dan permukaan plat negatif dibanjiri dengan elektron yang menuju ke plat positif. Besarnya frekuensi plasma terhadap densitas dapat ditulis sebagai berikut (Chen, F.F., 1974)

$$\omega_p = \left( \frac{n e^2}{m \epsilon_0} \right)^{1/2} \text{ rad/s} \quad (2.18)$$

dimana  $\omega_p = 2 \pi f_p$

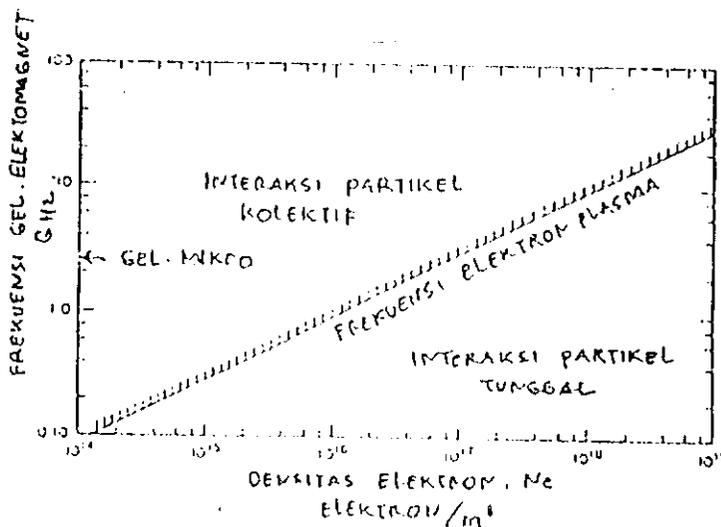
$\epsilon_0$  permitivitas ruang hampa ( $8,854 \times 10^{-12}$  (F/m))

Persamaan 2.18 di atas merupakan frekuensi elektron plasma, dimana elektron-elektron akan berosilasi dan ion bergerak relatif terhadap elektron. Dalam kasus ini frekuensi ion plasma juga sama dengan persamaan di atas tetapi dalam perhitungan ion negatif terdiri dari massa elektron dan jumlah muatan ionik. Secara numerik, frekuensi plasma

didasarkan pada jumlah densitas dalam partikel permeter kubik yang ditunjukkan oleh (Loud, B.B., 1998):

$$f_p = 8,98 \cdot n^{1/2} \quad (2.19)$$

Gambar 2.5 berikut memperlihatkan hubungan antara frekuensi dengan densitas, dimana dalam interaksi partikel dibawah frekuensi elektron plasma, masing-masing elektron dapat merespon medan listrik dari gelombang elektromagnet, apabila interaksi partikel diatas frekuensi plasma, gaya interaksi masing-masing elektron menyebabkan medan listrik mempengaruhi elektron secara kolektif (Roth, J.R., 1995).



**Gambar 2.5:** Frekuensi elektron Plasma, dalam GHz sebagai fungsi harga densitas elektron dalam elektron  $m^3$

#### 2.4. Pelepasan Muatan Pada Tekanan Atmosfir

Secara klasik pelepasan muatan lebih mudah terjadi pada tekanan rendah karena pada tekanan ini jumlah gas dalam relatif kecil sehingga memudahkan elektron yang

terionisasi untuk bertumbukan dengan atom gas yang memiliki konduktifitas lebih besar dibandingkan dengan tekanan tinggi, contohnya pada lampu neon.

Proses pelepasan muatan pada tekanan atmosfer mudah dilakukan karena tidak menggunakan ruang vakum dan sumber tegangan untuk membangkitkan plasma mudah diperoleh. Namun pada proses ini medan listrik yang di butuhkan untuk mem-*break down*-kan gas cukup tinggi, dan diperlukan suatu media tertentu agar medan listrik terkonsentrasi pada daerah tersebut. Pelepasan muatan pada kondisi ini lebih mudah dibangkitkan, namun ada kondisi dimana adanya komplikasi gas sehingga plasma sulit terbentuk (Saktioto, 2000).

#### 2.4.1. Breakdown Tegangan Listrik.

Breakdown tegangan listrik merupakan proses perubahan suatu sifat materi non konduktor menjadi konduktor yang menghasilkan medan yang cukup besar. Keadaan gas terionisasi yang dihasilkan oleh breakdown dibentuk dalam waktu beraksi dari  $10^{-9}$  detik sampai beberapa detik, yang biasanya antara  $10^{-8}$  sampai  $10^{-4}$  detik (Raizer, Y.P., 1999). Peristiwa ini mengakibatkan perubahan tegangan secara drastis (Braithwaite, N.J., 1999).

#### 2.4.3. Mikroskopis Plasma

Secara umum karakteristik parameter muatan plasma DC dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 2.1. Parameter Karakteristik muatan glow DC (Roth, J.R., 1995)

Parameter	Nilai rendah	Nilai karakteristik	Nilai tinggi
Tekanan gas netral (Torr)	$10^{-6}$	0.5	760

Tegangan Elektroda (V)	100	1000	50.000
Arus elektroda (A)	$10^{-1}$	0,5	20
Temperatur kinetik elektron (eV)	1	2	5
Tingkat Daya (W)	$10^{-2}$	200	250.000
Volume Plasma (liter)	$10^{-6}$	0,1	100

#### 2.4.4. Temperatur dan Energi Muatan Partikel

Besarnya energi pada medan elektrostatik dapat ditulis :

$$\begin{aligned}
 U_{\max} &= \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 \\
 U &= \frac{3}{2} k T \\
 U &= \frac{1}{2} m v^2
 \end{aligned}
 \tag{2.22}$$

Antara katoda dan anoda terdapat udara. Pada mulanya udara bersifat sebagai isolator, tapi karena ia diberi tegangan tinggi sifat isolatornya berkurang.

Telah diketahui bahwa gaya partikel bermuatan antara dua plat diberikan pada persamaan (2.1) dan (2.6) maka diperoleh hubungan antara medan listrik dengan medan magnet:

$$E = B \cdot v \tag{2.25}$$

dimana:  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m_e}}$

Maka :  $W = 1/2 \epsilon_0 \cdot B^2 v^2$  (2.26)

dimana: B = medan listrik (Tesla)

v = Kecepatan elektron (m/s)

V = Tegangan (Volt)

$m_e$  = massa elektron (kg)

$\epsilon_0$  = permitiviti ( $F/m$ )

Plasma terbentuk karena adanya pemacu energi pada gas. Energi dari luar plasma disebabkan oleh medan listrik yang tinggi sehingga gas tereksitasi dan terionisasi. Supaya plasma tetap terbentuk maka energi dari luar harus diberikan secara terus menerus. Energi dari dalam plasma hanya sebagai energi tambahan berupa tumbukan, foton dan temperatur dari partikel-partikel. Energi dari medan listrik untuk memproduksi plasma cukup besar sebelum terbentuk daripada setelah terbentuk. Ini disebabkan sebagian besar wujud zat (gas) memiliki energi ionisasi yang besar, namun bila plasma sudah terbentuk maka sebagian energi dari partikel akan dikontribusikan untuk mengionisasi partikel lain yang mana partikel lain tersebut umumnya juga dalam kondisi tereksitasi sehingga mudah terionisasi. Untuk memproduksi plasma berlaku:

Energi luar = Energi ionisasi gas

Energi ionisasi gas  $< \frac{1}{2} mv^2$  , dimana  $m$  adalah massa partikel dan  $v$  adalah kecepatan partikel plasma. Pada tekanan atmosfer breakdown gas terjadi pada range medan listrik 30MV/m [2] dan pada kondisi plasma dibutuhkan 60kv/m. Tekanan atmosfer memerlukan lebih besar medan listrik karena sebagian besar energi yang diberikan pada partikel mengalami tumbukan elastis atau paling tidak tumbukan dalam kondisi partikel tereksitasi. Harga medan listrik juga dipengaruhi dengan jarak elektroda dengan hubungan  $E = V/d$ , dimana  $d$  adalah jarak elektroda.

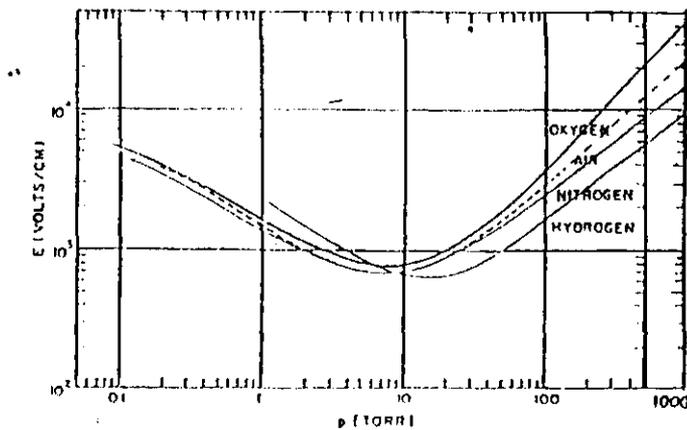
Plasma terdiri dari partikel netral atom dan molekul, elektron, ion positif dan negatif dan foton. Tekanan atmosfer temperatur berada pada 1-2 eV. Kondisi umum fenomena ini tetap memenuhi aturan fisis kelistrikan dengan karakteristik yang dapat ditentukan berupa mobilitas dan konduktivitas berikut:

$$\mu e = V/E = \sigma L / (R.A)$$

dimana  $\mu e$  = mobilitas elektron,  $V$  = tegangan,  $E$  = medan listrik,  $L$  = panjang plasma,

$R$ =hambatan,  $A$ =penampang plasma.

Hubungan tegangan dengan medan listrik dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Sedangkan hubungan tekanan dan gas dapat dilihat dengan

$$P = nkT$$

dimana:  $P$  = tekanan (pascal)

$n$  = densitas total partikel

$k$  = konstanta Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)

$T$  = temperatur (kelvin)

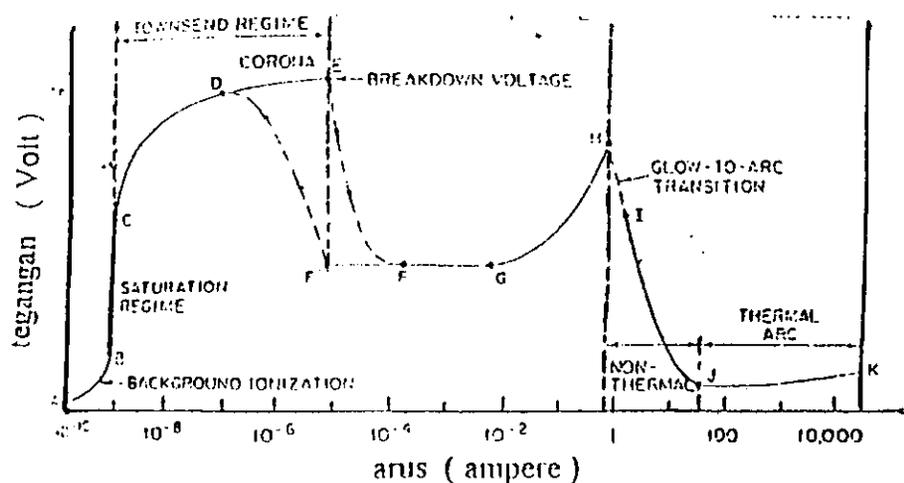
Dan energi dihitung dengan

$$W = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

$\epsilon_0$  adalah permitivitas ruang hampa.

Dalam kondisi kesetimbangan termodinamik maka disebutkan bahwa jumlah partikel sebelum dan setelah bertumbukan adalah tetap. Secara fisis kondisinya ditemukan dalam waktu yang singkat bila terjadi *afterglow* kecuali sumber tegangannya kontiniu.

Diagram berikut adalah profil plasma untuk beberapa perubahan tegangan:



### 2.6.1. Pengukuran Densitas Plasma

Sinar laser yang melewati plasma umumnya dibiaskan. Plasma memiliki spesifikasi frekuensi tersendiri tergantung kepada densitasnya. Secara analitik, hukum Snellius menyatakan densitas suatu materi dengan  $\mu = \sin i_0 / \sin i$ ,  $i_0$  merupakan sudut datang dan  $i$  adalah sudut pembiasan. Dengan mengetahui indeks bias, maka didapati frekuensi plasma dengan rumusan (Laud, B.B., 1998, dan Saktioto, 2000):

$$f_p = f \sqrt{1 - \mu^2} \quad (2.29)$$

dimana  $f_p$  = Frekuensi plasma (Hz),  $f$  = Frekuensi Laser (Hz)