

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Plasma Secara Umum

2.1.1 Definisi plasma

Jika energi (temperatur) suatu gas dinaikkan sehingga memungkinkan atom-atom gas terionisasi, maka gas akan melepaskan elektron-elektronnya. Percampuran antara ion-ion yang bermuatan positif dan elektron-elektron yang bermuatan negatif mempunyai sifat-sifat yang sangat berbeda dengan gas pada umumnya dan materi pada fase ini disebut plasma.

Jadi plasma dapat didefinisikan sebagai gas terionisasi dimana gerakan-gerakan dan interaksi partikel-partikel bermuatan (ion dan elektron) terkendalikan dengan gaya Coulomb yang menimbulkan efek kolektif serta bermuatan kuasinetral (Francis,1974; Held,1994). Plasma merupakan materi fase keempat setelah fase padat, cair dan fase gas.

Kondisi kuasinetral adalah keadaan dimana cukup netral atau hampir netral, sehingga dapat dikatakan $n_i \approx n_e \approx n$, dengan n menyatakan kerapatan secara umum yang disebut rapat plasma, tetapi tidak terlalu netral yang menyebabkan semua gaya elektromagnetik yang penting menghilang.

Jagad raya ini diperkirakan tersusun hampir 99% plasma (Santoso,1976). Plasma ini terbentuk sejak awal terciptanya alam semesta melalui reaksi termonuklir. Di laboratorium, plasma dibentuk dengan mengionisasi gas melalui lucutan listrik

dalam tabung gas bertekanan rendah, pemanasan laser, pemanasan biasa, medan osilator radio frekuensi, sumber arus searah atau gelombang mikro.

2.1.2. Derajat Ionisasi (δ) dan Panjang Gelombang Debye (λ_D)

Berdasarkan ionisasinya plasma dibedakan menjadi dua yaitu terionisasi lemah dan terionisasi kuat. Terionisasi lemah yaitu jika derajat ionisasinya kurang dari 10^{-4} dan terionisasi kuat apabila derajat ionisasinya lebih dari 10^{-4} . Derajat ionisasi disimbolkan sebagai δ dan didefinisikan sebagai (Santoso, 1976)

$$\delta = \frac{n_+}{n} = \frac{n_-}{n} \quad (2.1)$$

dengan n_+ = banyaknya ion positif

n_- = banyaknya ion negatif

n = jumlah zarah mula-mula

Pada gas terionisasi rendah, interaksi antara partikel adalah interaksi binair. Kadang-kadang karena rendahnya kerapatan partikel-partikel bermuatan dibandingkan partikel-partikel netral, tumbukan antara partikel bermuatan sering diabaikan. Dinamika partikel bermuatan ditentukan oleh tumbukan antara elektron/partikel netral dan ion/partikel netral. Selain itu akibat dari perbedaan massa antara sebuah elektron dan partikel netral, maka tumbukan antara elektron dengan sebuah partikel netral tanpa pertukaran energi yang cukup berarti, hanya menghasilkan arah gerak elektron saja yang berubah. Jadi dapat disebutkan bahwa elektron-elektron mempunyai suatu temperatur kesetimbangan antar sesamanya yakni temperatur elektronik T_e , sedangkan ion-ion dan

partikel-partikel netral dengan massa yang hampir sama mempunyai suatu temperatur kesetimbangan yang lain pula yaitu $T_o = T_i$.

Dalam gas yang terionisasi tinggi, interaksi antara partikel-partikel bermuatan memegang peranan sangat penting. Gerakan elektron-elektron dan ion-ion terkendali dengan gaya coulomb menimbulkan efek-efek kolektif.

Meskipun plasma adalah gas yang terionisasi, namun tidak semua gas yang terionisasi adalah plasma. Hal ini karena plasma harus mempunyai syarat tertentu yang harus dipenuhi seperti halnya kerapatan, suhu plasma, panjang gelombang Debye (λ_D) dan energi (kT_e). Hubungan antara panjang gelombang Debye, kerapatan plasma dan suhu plasma dapat dirumuskan sebagai berikut (Francis, 1974)

$$\lambda_D = \left[\frac{\epsilon_o k T_e}{n e^2} \right]^{1/2} \quad (2.2)$$

dengan k = tetapan Boltzman, ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$)

n = kerapatan elektron, (m^{-3})

e = muatan elektron, ($1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

T = suhu elektron, (K)

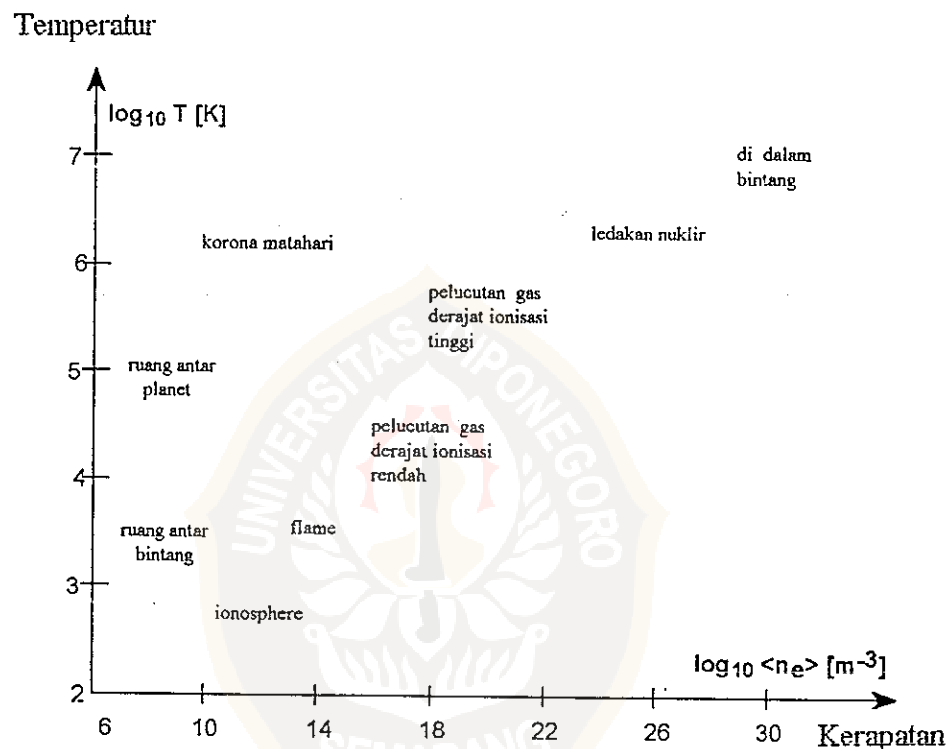
2.1.3. Penggelompokan Plasma

Plasma selalu diklasifikasikan berdasarkan kerapatan plasma (ion/elektron) dan temperatur ion/elektron, yang merupakan parameter penting dari plasma. Kerapatan plasma berkisar antara 10^6 m^{-3} (plasma antar bintang) sampai dengan 10^{30} m^{-3} (plasma metal dan di dalam bintang). Berdasarkan temperatur, plasma bervariasi mulai 1000 K

(plasma dingin, daerah antar bintang, plasma non-termik untuk pemrosesan material)

sampai dengan 10^8 K (plasma di dalam bintang/matahari, plasma fusi/reaksi termonuklir) (Held, 1994).

Gambar 2.1 menunjukkan plasma-plasma yang ada di alam dan plasma-plasma produksi laboratorium menurut Held (1994).



Gambar 2.1 Klasifikasi plasma (Held, 1994)

Klasifikasi plasma berdasarkan temperatur dan aplikasinya di bidang teknologi serta industri adalah sebagai berikut:

1. Plasma dingin

Ion-ion dan atom-atom/molekul-molekul netral (partikel berat) tetap dalam suhu sekitar 1000 K, tetapi elektron-elektron dalam plasma jenis ini mempunyai temperatur cukup tinggi sekitar 50000 K. Terapannya dalam bidang mikroelektronik, pembetukan material baru, pembersihan polusi.

2. Plasma termik

Ion-ion dan atom-atom/molekul-molekul netral (partikel berat) dalam plasma jenis ini mempunyai temperatur lebih dari 3000 K, sedangkan elektron-elektron mempunyai temperatur lebih dari 10^5 K. Plasma jenis ini dalam prakteknya digunakan untuk pengelasan, pemotongan logam, pembersihan polusi.

3. Plasma panas

Ion-ion dan atom-atom/molekul-molekul netral (partikel berat) serta elektron-elektron mempunyai temperatur diatas 10^6 K. Penerapannya untuk memproduksi energi listrik dari energi fusi terkendali.

2.1.4 Kesetimbangan-Kesetimbangan Termodinamik dalam Plasma

Plasma merupakan materi fase keempat setelah fase padat, cair dan gas. Sehingga hukum-hukum termodinamik dalam fase gas belum cukup untuk menerangkan kesetimbangan-kesetimbangan termodinamik dalam plasma. Sebagai contoh untuk membahas kesetimbangan antara ion-ion dengan partikel-partikel netral, hukum kesetimbangan selain yang telah dikenal dalam fase gas harus digunakan. Demikian pula dengan derajat ionisasi suatu plasma yang sangat tergantung bagaimana plasma itu diproduksi (plasma laboratorium) dan dimana plasma itu berada (plasma yang terdapat di alam), akibatnya hukum-hukum yang berlaku juga akan sangat tergantung pada jenis plasma bersangkutan (Nur, M., 1997).

Kesetimbangan Termodinamik Total (KTT)

Di dalam sebuah ruang tertutup pada temperatur T terdapat beberapa jenis partikel yang berbeda misalnya atom-atom, ion-ion, molekul-molekul dan elektron-

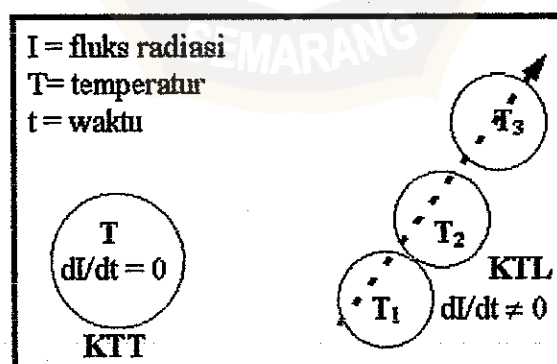
elektron. Pada saat tertentu partikel-partikel tereksitasi dan yang lain deeksitasi, partikel tertentu kehilangan elektron (ionisasi), lainnya berekombinasi dengan elektron. Suatu keadaan kesetimbangan telah tercapai dimana pada setiap proses baik di bawah pengaruh radiasi dan atau tumbukan partikel selalu terjadi proses kebalikannya, maka plasma dikatakan berada dalam keadaan kesetimbangan termodinamik total (KTT). Pada keadaan ini hanya terdapat satu temperatur ($T = T_{kin} = T_{exc} = T_i = T_e$), yaitu temperatur termodinamik (temperatur plasma). Plasma pada kondisi ini mengikuti seluruh fungsi distribusi (hukum-hukum Maxwell, Boltzmann, Saha dan Planck). Keempat tipe reaksi kesetimbangan tersebut ditunjukkan dalam tabel (2.1) (Nur, M., 1997).

Tabel 2.1. Reaksi-reaksi kesetimbangan (Nur, M., 1997)

Kesetimbangan Maxwell	$X + Y \xrightleftharpoons{M} X + Y \text{ (R-1)}$ $E_x + E_y = (E_x + \Delta E) + (E_y - \Delta E)$ Pertukaran energi kinetik dan konservasi
Kesetimbangan Boltzmann	$X + A_m + E_{mm} \xrightleftharpoons{B} X + A_n \text{ (R-2)}$ Deeksitasi $\longleftarrow$ $\longrightarrow$ eksitasi
Kesetimbangan Saha	$X + A_p + E_p \xrightleftharpoons{S} X + A_j^+ + e \text{ (R-3)}$ Rekombinasi $\longleftarrow$ $\longrightarrow$ ionisasi
Kesetimbangan Planck	$A_n \xrightarrow{P} A_m + h\nu \text{ (R-4)}$ Absorpsi $\longrightarrow$ emisi spontan $A_n + h\nu \xrightarrow{P} A_m + 2 h\nu \text{ (R-5)}$ Emisi terstimulasi

Kesetimbangan Termodinamik Lokal

Pada sebagian besar plasma yang diproduksi di laboratorium, radiasi yang keluar dari suatu sistem plasma tidak mengikuti hukum Planck, fluk energi radiatif tidak sama dengan nol. Di dalam sistem tersebut dari satu posisi dengan posisi lainnya, karenanya temperatur unik pada plasma kesetimbangan termodinamik total (KTT) digantikan oleh suatu temperatur bersama sub-sistem T_1 , T_2 , T_3 dan seterusnya, sedemikian rupa sehingga perbedaan energi antara dua sub-sistem berdekatan sangat rendah. Pada setiap sub-sistem berlaku hukum-hukum Boltzmann, Saha, Maxwell pada temperatur sub-sistem, pada keadaan ini masih terdapat proses mikro-reversibilitas dari proses-proses tumbukan. Sebaliknya tak terjadi mikro-reversibilitas pada proses-proses radiasi. Kesetimbangan dalam plasma pada keadaan ini disebut kesetimbangan termodinamik lokal (KTL). Temperatur pada keadaan KTT dan KTL ditunjukkan oleh gambar (2.2) (Nur. M., 1997)



Gambar 2.2. Ilustrasi temperatur dalam keadaan KTT dan KTL dari suatu Plasma. (Nur, M., 1997)

Kesetimbangan Medan Lokal (KML)

Pada kondisi tertentu, plasma tidak lagi dapat mempunyai suatu temperatur unik T walaupun secara lokal. Perbedaan partikel-partikel plasma yang ada seperti elektron-elektron, ion-ion dan partikel-partikel netral mempunyai aktivitas kinetik masing-masing dan selalu ditandai dengan temperatur spesifik masing-masing T_e (temperatur elektronik), T_i (temperatur ionik) dan T_g (temperatur gas). Tingkat kesetimbangan dalam hal ini sangat ditentukan oleh energi partikel-partikel bermuatan dibawah efek medan listrik dan energi tersebut hilang kembali saat tumbukan serta sebanding dengan nilai parameter E/N (medan listrik lokal E dibagi dengan kerapatan gas N). E/N inilah yang menentukan aktivitas dan pergerakan dari partikel-partikel plasma. Dalam hal ini medan listrik lokal sangat menentukan kesetimbangan dalam plasma. Kesetimbangan ini disebut kesetimbangan medan lokal (KML). Akibat dari tidak terdapatnya satu temperatur unik T , plasma pada keadaan ini sering disebut “plasma non-termik” (Nur. M., 1997)

2.1.5 Pembentukan Plasma dalam Medan Radio Frekuensi (RF)

Plasma adalah gas yang terionisasi, untuk mengionisasi gas dapat dilakukan dengan memberi energi kedalam sistem reaktor plasma. Salah satu sumber energi yang sering dipakai adalah osilator radio frekuensi (RF) yaitu rangkaian osilator yang berfungsi untuk memasok daya dan memberikan getaran listrik pada daerah frekuensi radio (0,3 MHz - 300MHz).

Sumber radio frekuensi ini dirangkai dari rangkaian L,C dan beberapa komponen yang lain termasuk transformator untuk menyesuaikan tegangan yang diperlukan terhadap tegangan PLN. Komponen utama dari sumber radio frekuensi

adalah sebuah tabung trioda dan mempunyai daya keluaran hingga ratusan watt. Besar frekuensi dari sistem radio frekuensi dapat diubah-ubah berdasarkan persamaan (2.3).

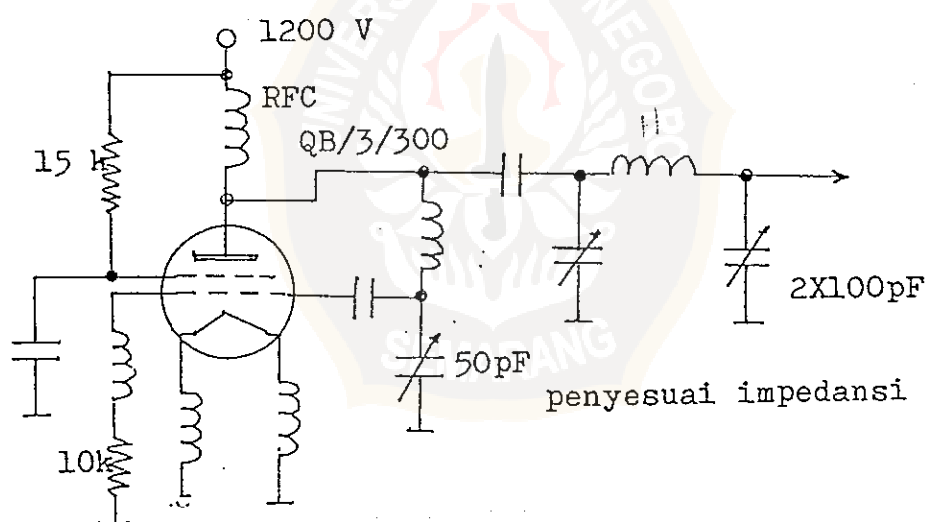
$$f = \left[\frac{1}{2\pi LC} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

dengan f = frekuensi keluaran (Hz)

L = Induktansi (H)

C = kapasitansi (F)

Dengan skema dasar osilator radio frekuensi disajikan pada gambar (2.3).



Gambar 2.3. Skema dasar osilator radio frekuensi
(Suprpto.dkk,1995)

Terjadinya proses ionisasi gas dalam reaktor plasma dengan menggunakan osilator radio frekuensi (RF) dapat berlangsung dengan dua cara yaitu:

1. proses ionisasi secara penyerapan energi elektromagnetik yang dipancarkan dari osilator radio frekuensi (RF) sehingga terjadi transisi tingkat-tingkat energi atom.
2. proses ionisasi yang terjadi karena adanya tumbukan antar partikel gas dengan elektron yang terpancar dari elektroda.

Pada proses pertama terjadi penyerapan energi gelombang elektromagnetik (foton) yang terpancar dari osilator radio frekuensi. Hal ini mengakibatkan partikel gas tereksitasi dan terjadi transisi tingkat-tingkat energi atom. Jika frekuensi foton yang datang melebihi frekuensi ambang partikel untuk ionisasi maka elektron dapat terlepas dari atom dan terbentuk ion dari gas tersebut. Proses ini disajikan dalam persamaan (2.4) (Beiser,1991).

$$h\nu = K + h\nu_0 \quad (2.4)$$

dengan h = konstanta planck ($6,602 \times 10^{-34}$ J.s)

ν = frekuensi foton datang (Hz)

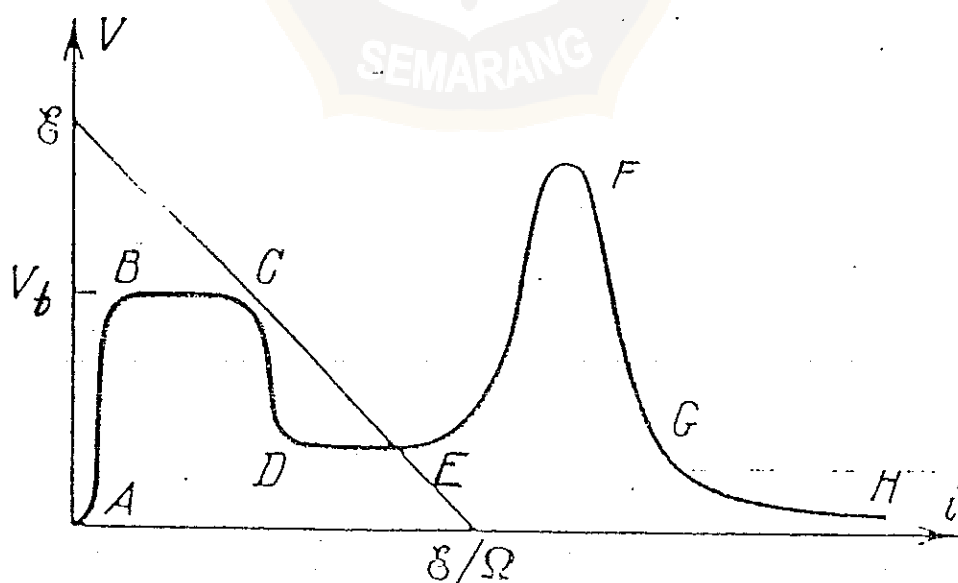
ν_0 = frekuensi ambang ionisasi (Hz)

Penyerapan energi foton oleh partikel gas selain menyebabkan ionisasi, dapat juga menyebabkan dissosiasi yaitu pemisahan molekul gas menjadi atom-atom penyusunnya.

Proses kedua dari ionisasi adalah peristiwa tumbukan antar partikel di dalam tabung reaktor. Pada saat anoda dan katoda di dalam tabung reaktor bertekanan rendah diberi beda potensial yang besar dari sumber tegangan osilator radio frekuensi, maka elektron-elektron di katoda akan terlepas dan dipercepat menuju anoda. Dalam

perjalanannya partikel-partikel ini mengalami tumbukan dengan partikel gas yang banyak tersebar di antara anoda dan katoda. Peristiwa ini mengakibatkan pemindahan seluruh atau sebagian dari energi partikel penumbuk ke partikel gas, sehingga partikel-partikel gas dapat tereksitasi. Jika energi perpindahan ini melebihi energi ambang ionisasi, maka partikel gas dapat mengalami ionisasi. Proses ini senantiasa disertai dengan lucutan, sehingga plasma yang dihasilkan disebut sebagai plasma lucutan pijar (*glow discharge plasma*).

Untuk menggambarkan proses terbentuknya plasma, sebagai contoh ditinjau kelakuan tabung lucutan gas pada tekanan rendah pada penelitian yang dilaporkan oleh Raizer (1991). Pertama akan ditinjau hubungan antara beda tegangan dengan arus, kemudian keadaan fisis yang timbul dalam tabung tersebut sebagai akibat tidak meratanya distribusi tegangan dalam tabung (gambar 2.4).



Gambar 2.4. Hubungan antara tegangan dan arus dalam tabung plasma

Pada saat tegangan penyedia daya dinaikkan, akan terjadi kenaikan tegangan dan arus (AB). Pada saat tegangan mencapai nilai tertentu, V_b (tegangan *breakdown*), di dalam tabung mulai terjadi ionisasi berantai. Hal ini menyebabkan arus bertambah dengan cepat tanpa perubahan tegangan (BC), jika arus terus bertambah mulailah tampak nyala terang dalam tabung disertai terjadinya penurunan tegangan pada elektroda (CD). Keadaan ini disebut lucutan pijar subnormal (*subnormal glow discharge*).

Penambahan arus selanjutnya tidak mengubah tegangan elektroda. Pada keadaan ini nyala menjadi lebih terang, dan dikenal dengan nama lucutan pijar normal (*normal glow discharge*) (DE). Pada E akan terjadi keadaan stabil, kemudian jika tegangan dinaikkan arus akan bertambah. Keadaan ini dinamakan lucutan pijar abnormal (*abnormal glow discharge*) (EF). Setelah titik F, timbul ketidakstabilan kembali dan merupakan titik transisi. Selanjutnya tegangan berkurang dengan sendirinya dan arus bertambah secara cepat (FG). Peristiwa ini diikuti oleh pertambahan arus yang sangat cepat dan kuat arus yang sangat besar (*arc discharge*) (GH).

Berdasar pada uraian di atas, maka hubungan antara tegangan pada elektroda dan arus dapat dibedakan menurut tipe-tipe lucutan gas, yaitu :

- lucutan townsend (*townsend discharge*)
- lucutan pijar (*glow discharge*)
- lucutan arc (*arc discharge*)

Diantara ketiga lucutan tersebut, tipe lucutan pijar merupakan bagian terpenting karena di dalamnya terdapat jumlah muatan positif dan negatif hampir sama dan plasma dapat dikontrol secara stabil. Lucutan pijar didefinisikan sebagai lucutan

bermuatan listrik dalam tabung gas bertekanan rendah yang disertai dengan adanya nyala pijar dan memiliki sifat-sifat yang khas yaitu potensial di sekitar katoda (daerah nyala negatif) menjadi lebih tinggi dari potensial ionisasi gasnya, sehingga pada daerah ini intensitas cahayanya menjadi lebih besar.

Gejala-gejala fisis yang tampak pada tabung lucutan di daerah lucutan pijar sepanjang anoda-katoda menurut Yasuda ditunjukkan pada gambar (2.5).



Gambar 2.5. Gejala fisis sepanjang daerah anoda-katoda pada lucutan pijar (Yasuda, 1985)

Pada tabung gas, daerah lucutan pijar akan tampak gejala-gejala fisis sebagai berikut:

1. ruang gelap aston
2. lapisan katoda
3. ruang gelap katoda
4. nyala negatif
5. ruang gelap faraday
6. kolom positif
7. ruang gelap anoda
8. nyala anoda.

Panjang batas masing-masing daerah tergantung dari tekanan tabung lucutan, beda tegangan terpasang dan jarak antar elektroda.

Bagian yang paling penting dari lucutan pijar ini adalah kolom positif yang pada daerah ini elektron-elektron akan bercampur dengan ion-ion positif dengan kerapatan yang hampir sama, sehingga muatan total di daerah ini hampir netral. Campuran elektron dan ion positif inilah yang dinamakan plasma. Daerah nyala positif dan negatif pada tabung tersebut mempunyai warna yang khas tergantung dari jenis gas yang diisi.

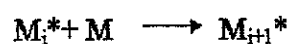
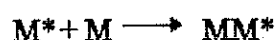
2.1.6 Polimerisasi Plasma

Apabila sebuah lucutan pijar dibangkitkan dalam sebuah lingkungan gas yang mengandung campuran bahan organik, pembentukan polimer akan terjadi pada substrat atau bahkan dalam ruang plasma. Hal ini disebut sebagai polimerisasi plasma, dan pada saat kondisi lucutan yang sesuai telah dipilih, lapisan tipis polimer dapat dideposisikan pada substrat material yang diinginkan (Konuma,1992).

Proses polimerisasi plasma terdiri dari dua tipe utama polimerisasi:

a. Polimerisasi plasma terinduksi

Rute langsung dari monomer menjadi polimer dapat digambarkan dengan polimerisasi reaksi berantai pada kasus monomer-monomer tertentu. Polimerisasi plasma terinduksi secara skematis diperlihatkan dengan mekanisme seperti dibawah ini (Yasuda,1985)



dengan I_k adalah jumlah satuan pengulangan

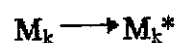
M menyatakan bahan (material) monomer yang dapat menjadi sebuah kepingan atau bahkan sebuah atom dilepaskan dari bahan monomer organik, tetapi tidak perlu memiliki struktur sama seperti bahan monomer.

M^* menyatakan sebuah reaktif yang dapat menjadi sebuah ion dari lucutan, sebuah molekul yang terangsang, atau sebuah radikal bebas yang dihasilkan dari monomer M tetapi tidak perlu mempermasalahkan struktur molekuler dari bahan monomer.

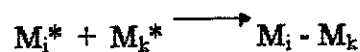
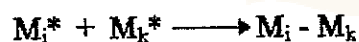
b. Polimerisasi plasma

Rute lewat sebuah perantara reaktif adalah reaksi utama di dalam polimerisasi plasma. Polimer yang terbentuk melalui reaksi sebagai berikut :

reaksi awal



reaksi berikutnya



reaksi pembentukan



Pada pemakaian sebuah plasma, lapisan tipis polimer dapat dibentuk secara langsung dari gas-gas organik yang tidak mempunyai letak bangun aktif, sedangkan pada reaksi polimerisasi biasa monomer yang mempunyai letak bangun aktif, semacam ikatan ganda diperlukan dalam reaksi polimerisasi (Konuma,1992).

Yasuda mengelompokkan monomer hidrokarbon ke dalam tiga kelas menurut kereaktifannya selama proses polimerisasi, yaitu;

1. monomer yang mengandung tiga ikatan, cincin aromatik dan heteroring
2. monomer dengan ikatan ganda atau struktur siklik
3. hidrokarbon jenuh

dan Yasuda juga telah menyimpulkan bahwa untuk kelompok (1) dengan dua radikal bebas yang mempunyai dua bangun aktif dan dapat berguna pada saat reaksi polimerisasi. Untuk kelompok (2) dengan satu radikal bebas dan untuk kelompok (3) dengan satu radikal dan dua radikal bebas, mempunyai peran yang hampir sama pada reaksi-reaksi polimerisasi.

Studi yang telah dilakukan tidak banyak yang menjelaskan tentang perilaku elektron-elektron dalam plasma organik. Kerapatan elektron dan temperatur elektron untuk plasma C_6H_6 -Ar yang menghasilkan lapisan tipis di daerah tekanan rendah dan laju aliran monomer tinggi. Kerapatan elektron mencapai $10^9/cm^3$ dan temperatur elektron kira-kira 3×10^4 K. (Konuma, 1992)

2.1.7. Parameter-Parameter Operasional untuk Polimerisasi Plasma

Parameter-parameter operasional untuk kontrol polimerisasi plasma dapat dibagi kedalam dua katagori utama yaitu:

- parameter 1: variabel seperti ukuran elektroda-elektroda, jarak antara elektroda dan frekuensi dari osilator radio frekuensi (RF).
- parameter 2: memerlukan pengukuran untuk masing-masing pengaturan, seperti laju aliran monomer, sistem tekanan dan daya lucutan.

2.4. Lensa Elektrostatis

Untuk mendapatkan berkas yang mempunyai tampang lintang yang kecil maka telah dikembangkan dengan cukup baik pemakaian rangkaian elektroda-elektroda pemercepat yang mempunyai bentuk seperti silinder simetris dan mempunyai sifat seperti halnya lensa optik. Komponen radial di sekeliling medan dan di antara elektroda pemercepat inilah yang menyebabkan rangkaian elektroda tersebut dapat berkelakuan sebagai pemfokus atau penyebar berkas partikel. (Livingston, 1962).

Sehubungan dengan pemfokusan berkas ion, Tuve, Dhal dan Hatstad telah melaporkan sifat-sifat pemfokusan berkas ion dari bermacam-macam bentuk elektroda, dengan dua atau satu celah lensa. Celah antara elektroda pemercepat, jarak sumber ion dan ruang pemercepat akan sangat berpengaruh terhadap pemfokusan yang dihasilkan. Sifat-sifat pemfokusan dari masing-masing lensa elektrostatis sangat ditentukan oleh tegangan lensa dan energi berkas ion (arus ion). Pemfokusan akan memberikan hasil yang baik dengan memvariasi tegangan lensa secara tepat (Livingston, 1962).

Dengan mengasumsikan bahwa apapun susunan elektroda-elektroda pemfokus tersebut, maka akan menghasilkan distribusi tegangan di sepanjang sumbu z yang dinyatakan dengan:

$$V(r = 0) = V_0(z) \quad (2.10)$$

dengan mengasumsikan bahwa tegangan ini menunjukkan angka nol pada titik dimana energi partikel nol, sehingga V adalah ukuran dari besarnya energi partikel. Energi partikel (T) dalam elektron Volt diberikan dengan rumus $T = -V$. Dengan menggunakan Persamaan Laplace statis, tegangan untuk daerah dimana r tidak sama

dengan 0 adalah

$$V = V_0 - \frac{r^2}{4} \frac{d^2 V_0}{dz^2} + \frac{r^4}{64} \frac{d^4 V_0}{dz^4} - \dots \quad (2.11)$$

komponen medan aksial dan radial diperoleh dari penurunan fungsi tegangan pada persamaan (2.11). Untuk beberapa sistem lensa hanya perlu memakai ekspansi utama dari persamaan (2.11) diatas, sehingga digunakan:

$$E_z = - \frac{dV_0}{dz} \quad (2.12)$$

$$E_r = \frac{r}{2} \frac{d^2 V_0}{dz^2} \quad (2.13)$$

sedangkan persamaan gerak radial ($m\ddot{r} = eE_r$) dituliskan sebagai berikut:

$$mz'' \frac{dr}{dz} + mz'^2 \frac{dr^2}{dz^2} = eE_r \quad (2.14)$$

tapi karena:

$$mz'' = eE_z = -e \frac{dV_0}{dz} \quad (2.15)$$

dan

$$mz'^2 = -2 \text{ eV} \quad (2.16)$$

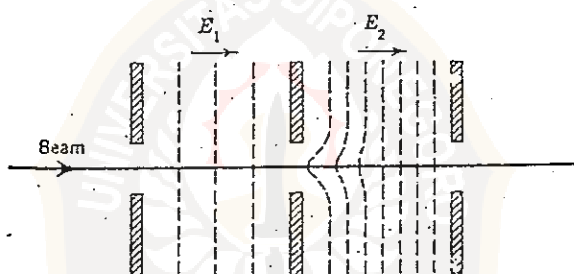
Dengan memasukkan persamaan (2.15) dan persamaan (2.16) ke dalam persamaan (

2. 14), maka diperoleh:

$$Vr'' + \frac{V'r'}{2} + \frac{V''r}{4} = 0 \quad (2.17)$$

persamaan (2.17) adalah persamaan dasar untuk menentukan fokus lensa.

Lensa elektrostatis terdiri dari dua macam lensa yaitu pertama lensa elektrostatis yang berbentuk silinder dan yang kedua lensa elektrostatis yang berbentuk plat. Gambar 2.8 merupakan lensa elektrostatis dengan dua celah. Pada lensa ini perjalanan berkas melewati daerah dari yang konstan dengan $E_z = E_1$ terjadi dalam daerah di sekeliling lubang.



Gambar 2.8. Lensa elektrostatis dengan dua celah (Livingston, 1962)

Perpindahan radial dari partikel tidak terlihat berubah saat melintasi daerah E_1 , untuk itu berlaku persamaan (2.15) dalam bentuk

$$\frac{d}{dz} r'V + \frac{r^3}{4} \frac{d}{dz} \left(\frac{V'}{r^2} \right) = 0 \quad (2.18)$$

dengan menggunakan pendekatan konstanta r , maka integral persamaan ini dituliskan sebagai:

$$\left(r'V + \frac{rV'}{4} \right)_{akhir} = \left(r'V + \frac{rV'}{4} \right)_{awal} \quad (2.19)$$

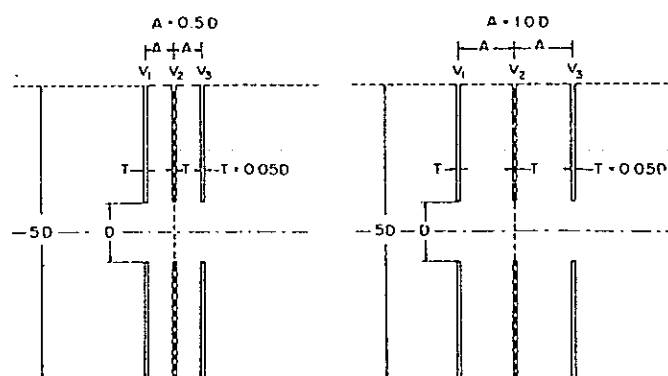
Jika pada keadaan awal berkas ion atau partikel bergerak sejajar dengan sumbu sehingga harga awal r' adalah nol dan jika $(-r'/r')_{akhir}$ adalah sama dengan jarak berkas ion sebelum berkas ion tersebut memotong sumbu, maka integral persamaan ini dapat diberikan dalam bentuk:

$$\frac{1}{f} = -\left(\frac{r'}{r}\right)_{akhir} = \frac{V'_{akhir} - V'_{awal}}{4V} = \frac{E_2 - E_1}{4T} \quad (2.18)$$

(Livingston, 1962).

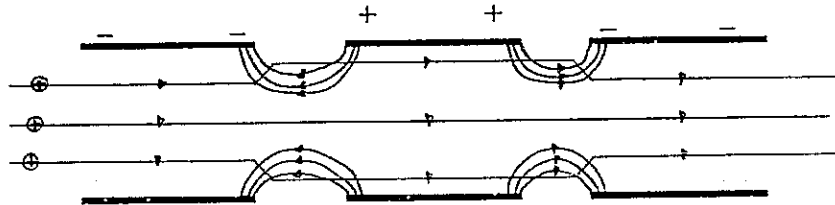
2.5. Lensa Einzel

Lensa elektrostatis dengan tiga elemen lensa, mempunyai dua perbandingan tegangan (V_2/V_1 dan V_3/V_1) yang saling bebas antara keduanya, serta parameter lensa merupakan fungsi dari kedua perbandingan tegangan tersebut. Pada kasus yang khusus ($V_3 = V_1$) maka parameter lensa hanya diberikan oleh V_2/V_1 dan lensa-lensa seperti ini sering disebut sebagai lensa Einzel atau lensa unipotensial (Harting, E. and Read, F. H., 1976). Variasi harga dari V_2/V_1 akan memberikan harga yang berbeda untuk fokus lensa. Lensa-lensa Einzel ini ditunjukkan pada gambar (2.9).

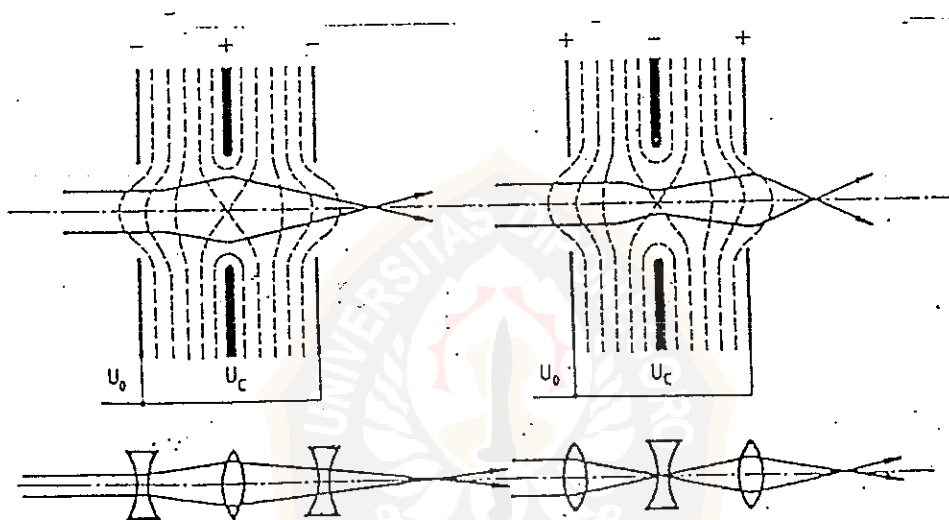


Gambar 2.9. Lensa Einzel

perjalanan dari berkas ion melewati lensa Einzel diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 2.10. Berkas ion melewati lensa Einzel (Hermono,1989)



Gambar 2.11 Lensa Einzel dan analog optisnya (IAEA,1993)

Panjang fokus untuk lensa Einzel, diberikan oleh persamaan dibawah ini (Harting, E.and Read, F.H., 1976)

$$f_1 \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = f_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad (2.21)$$

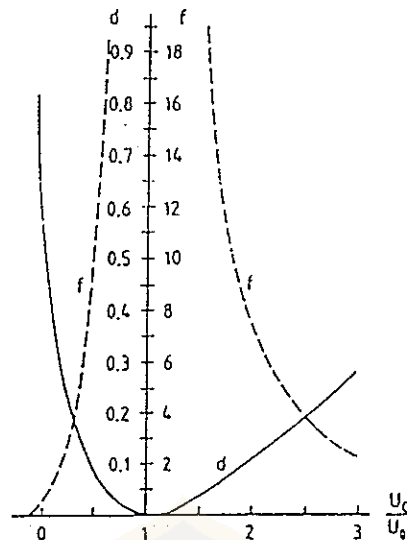
dengan f_1 = panjang fokus elektroda pertama

f_2 = panjang fokus elektroda kedua

V_1 = tegangan pada elektroda pertama

V_2 = tegangan pada elektroda kedua

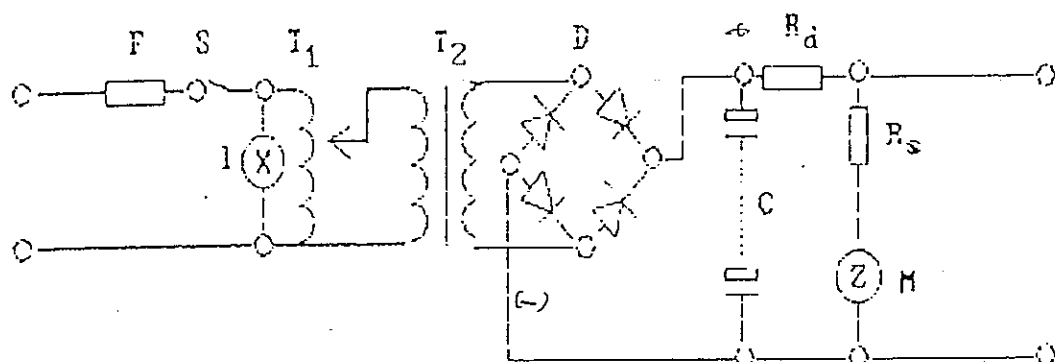
hubungan antara perbandingan tegangan akan menyebabkan panjang fokus yang berbeda hal ini ditunjukkan pada gambar (2.12).



Gambar 2.12. Hubungan antara tegangan lensa Einzel dan panjang fokus (IAEA,1993)

Sumber Tegangan Lensa Einzel

Sumber tegangan lensa Einzel adalah sumber tegangan probe DC buatan PPNY- Batan dengan keluaran sampai 3 kV. Sumber tegangan ini dioperasikan pada daya beban 3kV/30mA, dengan kenaikan linier dan kestabilan tegangan keluaran adalah 99% (RUT V Ristek, 1997). Skema sumber tegangan ini ditunjukkan pada gambar (2.13).



Gambar 2.13. Skema sumber tegangan tinggi lensa einzel (Adianto, 1997)

keterangan gambar

F = fuse

D = unit dioda penyearah

S = saklar

C = kapasitor filter

L = lampu tanda

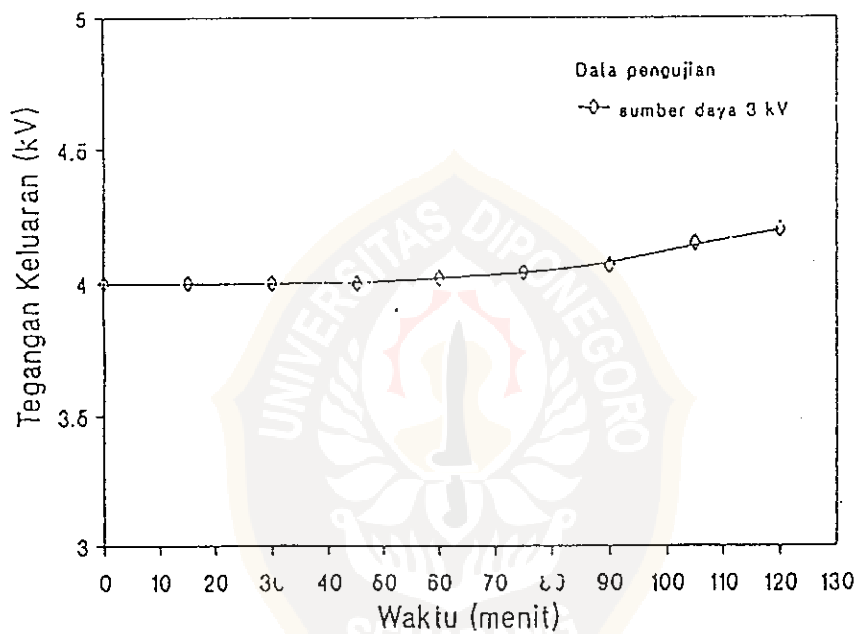
R_D = tahanan peredam

T_1 = trafo variak

R_S = probe tegangan tinggi

T_2 = trafo penaik tegangan

M = meter tegangan



Gambar 2.14. Kestimbangan tegangan keluaran lensa Einzel
(Adianto, 1997)

Dalam pengoperasian sistem lensa Einzel hal yang perlu diperhatikan adalah pengaturan tegangan yang sebaik mungkin karena pemfokusan oleh lensa Einzel ini sangat ditentukan pada pengaturan tegangan secara tepat disamping pengoperasian sistem dengan benar. Pada pendeposisian lapisan tipis bahan organik dengan menggunakan sistem deposisi ion polimerisasi plasma, sistem lensa Einzel adalah bagian paling akhir yang dilalui oleh polimerisasi plasma sebelum dideposisikan

pada substrat yang diinginkan. Maka pengaturan tegangan lensa Einzel akan sangat menentukan hasil dari lapisan tipis yang akan dibentuk.

2.6. Teknik Deposisi

Teknik deposisi adalah teknik yang digunakan untuk mendeposisikan spesies plasma pada substrat atau bahan yang dikehendaki agar terjadi lapisan tipis. Beberapa teknik yang belakangan dikembangkan antara lain seperti teknik evaporasi hampa (*vacuum evaporation*), teknik penembakan ion dan teknik plasma lucutan pijar (*glow discharge plasma*).

Pada pembuatan lapisan tipis bahan organik yang menggunakan bahan organik toluena sebagai deposan, teknik yang dipilih adalah teknik plasma lucutan pijar. Untuk pembuatan lapisan tipis bahan organik terpolimer ini dibutuhkan uap bahan organik (toluena) yang akan dibawa ke dalam reaktor plasma oleh gas argon (Ar). Reaktor plasma ini adalah tabung vakum yang berbentuk silinder. Setelah adanya lucutan listrik akibat adanya osilator medan radio frekuensi (RF), partikel gas akan mengalami ionisasi dan membentuk plasma.

Plasma yang terbentuk akan didorong keluar dari kamar reaktor menuju ruang pendeposisian melalui kanal keluaran oleh tegangan pendorong. Pada ruang pendeposisian yang dihubungkan dengan pompa vakum terdapat lensa Einzel dan tempat dudukan substrat. Setelah plasma sampai pada kamar deposisi maka spesies plasma akan difokuskan dan dipercepat menuju substrat oleh lensa Einzel dan oleh karena daya tarik dari katoda dimana substrat berada, akan mengakibatkan plasma terdeposisi pada permukaan substrat. Proses ini berlangsung terus menerus sampai

terbentuk lapisan tipis.