BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Umum Plasma

Plasma sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, sebagaimana suatu materi yang biasanya kita lihat berwujud padat, cair maupun gas. Dengan kata lain plasma merupakan wujud keempat setelah ketiga wujud materi tersebut.

Secara garis besar plasma adalah gas yang terionisasi (misalnya karena lucutan). Suatu gas yang terionisasi akan terdiri dari atom-atom molekul yang terionisasi yang bermuatan positif (ion) dan elektron yang bermuatan negatif. Plasma dapat diperoleh dengan berbagai cara, bila molekul-molekul dikondisikan pada suatu keadaan tertentu, misalkan pada suhu yang sangat tinggi (lebih besar dari 10.000 K) maka molekul-molekul atau atom-atom akan terionisasi. Matahari dan bintang-bintang lainnya di jagad raya ini yang mempunyai suhu yang sangat tinggi terdiri dari sebagian besar plasma. Plasma juga bisa dijumpai pada gas penghantar di dalam tabung fluoresen dan aurora di kutub bumi sehingga bisa dikatakan bahwa alam semesta sebagian besar terdiri dari plasma.

2.1.1. Kriteria Plasma

a. Derajat ionisasi

Derajat ionisasi adalah parameter penting sebagai acuan dalam pengkriteriaan plasma. Derajat ionisasi menentukan karakteristik plasma yang terbentuk, derajat ionisasi dinyatakan sebagai berikut (*Nur, 1997*) :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id) .

$$\alpha_i = \frac{n}{n_o + n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.1)$$

dengan n adalah kerapatan partikel bermuatan, n_o merupakan kerapatan partikel netral. Untuk derajat ionisasi yang lebih kecil dari 10^{-4} diklasifikasikan sebagai gas yang terionisasi rendah, diatas harga batas ini gas dapat dianggap sebagai gas terionisasi tinggi.

Dalam gas yang terionisasi rendah, interaksi antara partikel adalah interaksi binaire. Dinamika partikel bermuatan ditentukan oleh tumbukan antara elektron-partikel netral dan ion-partikel netral. Sedangkan tumbukan antara partikel bermuatan sering dapat diabaikan karena rendahnya kerapatan partikel bermuatan dibandingkan partikel-partikel netral. Selain itu , akibat dari perbedaan massa antara sebuah elektron dengan partikel netral, tumbukan antara elektron dan partikel netral tanpa pertukaran energi yang cukup berarti sebagai hasilnya hanya arah gerak elektron saja yang berubah, Jadi dapat disebutkan bahwa elektron-elektron mempunyai suatu temperatur kesetimbangan antar sesamanya yaitu temperatur elektronik T_e, yang lainnya ion-ion dan partikel netral dengan massa yang hampir sama mempunyai suatu temperatur kesetimbangan yang lain pula $T_o = T_i$.

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.

b. Panjang Debye.

Di dalam suatu gas yang terionisasi oleh lucutan listrik, akan terjadi pembentukan muatan dan pengurangan muatan secara bebas dan bersamaan. Pada

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

keadaan setimbang (*steady state*), jumlah elektron N_e dan jumlah ion N_i ditentukan oleh kesetimbangan antar kedua proses di atas. Di dalam gas yang terionisasi terjadi kecenderungan yang sangat kuat agar rapat muatan negatif dan rapat muatan positif tersebut sama. Karena kecenderungan ini, gas yang terionisasi tersebut secara keseluruhan bermuatan netral. Gas yang terionisasi seperti ini disebut sebagai plasma, yang rapat muatannya dapat disajikan dalam persamaan:

$$\rho \approx \rho_e + \rho_i \quad \text{.....(2.2)}$$

dengan ρ = rapat muatan plasma

ρ_e = rapat muatan negatif

ρ_i = rapat muatan positif

Dalam keadaan setimbang maka $\rho \approx 0$ sehingga :

$$\rho_e \approx \rho_i \quad \text{.....(2.3)}$$

$$\rho_e \approx e\, n_e \quad \text{dan} \quad \rho_i \approx e\, n_i$$

Jika $\rho \approx 0$ maka $n_e \approx n_i$ .....(2.4)

Persamaan 2.2 sampai 2.4 menunjukkan kenetralan muatan plasma. Keadaan seperti ini akan tercapai bila panjang karakteristik sistem L jauh lebih besar daripada panjang Debye λ_D yang didefinisikan sebagai:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{kT_e}{4\pi n e^2}} \quad \text{.....(2.5)}$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id) .

dengan :

λ_D = panjang Debye (cm), (1 cm = 10^{-2} m)

k = konstanta boltzman 8,617 10^{-5} eV/K, (1 eV/K = 1,602 10^{-19} J/K)

T_e = Temperatur plasma (K)

n = banyak muatan tiap satuan volume (cm^{-3}), (1 cm^{-3} = 10^{-6} m^{-3})

e = muatan elementer (StC), (1 StC = 3,336 10^{-10} C)

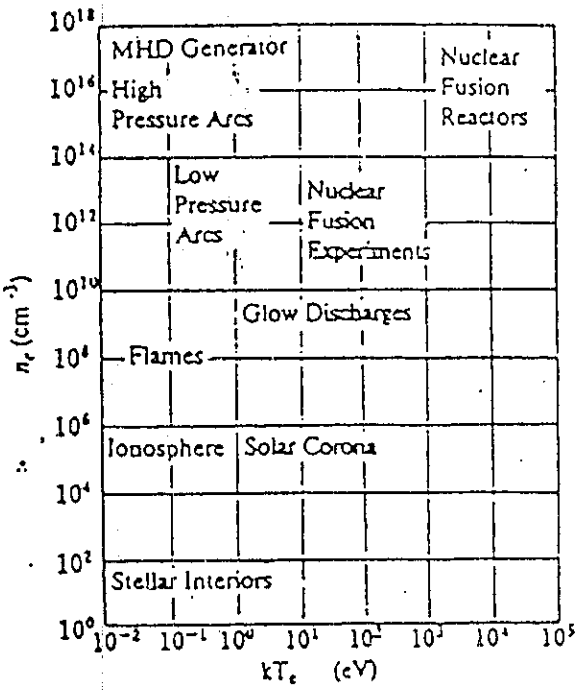
Panjang Debye ini merupakan syarat suatu gas yang terionisasi dan dikatakan sebagai plasma . Pada keadaan lucutan pijar n = 10^{10} cm^{-3}, kT_e = 1 eV maka λ_D=7 10^{-3} cm, sehingga λ_D benar-benar lebih kecil dari pada ukuran tabung lucutan, sehingga lucutan pijar dianggap netral dan menimbulkan plasma *(Konuma.M, 1992)*.

2.1.2. Klasifikasi Plasma

Plasma yang digunakan untuk pembuatan lapisan tipis, lebih sering dibangkitkan pada keadaan lucutan pijar dan tekanan rendah antara 0,1 - 10 Torr *(Konuma.M, 1992)*. Pada keadaan ini mampu dihasilkan plasma dengan energi elektron rata-rata 1 - 10 eV dan rapat elektron 10^{10} cm^{-3}. Lucutan Arc digunakan untuk "*plasma spraying*" dan penggabungan logam (*metal fussion*), dibangkitkan pada tekanan atmosfer atau diatasnya.

Berbagai macam plasma baik yang ada di alam maupun plasma produksi laboratorium berdasarkan energi dan rapat muatannya dapat diklasifikasikan seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id) .



Gambar 2.1. Tipe-tipe plasma di alam dan di laboratorium *(Ahmed, 1985)*

Klasifikasi plasma berdasarkan temperatur adalah sebagai berukut (*Nur. M, 1997*):

a. Plasma dingin

Plasma yang dalam keadaan ketidaksetimbangan termal (non-thermal equilibrium), dimana pada plasma ini tidak terdapat kesetimbangan termal antara suhu elektron dan suhu gas, suhu elektron tinggi tetapi suhu partikel gas relatif rendah. Hal ini terjadi karena frekuensi tumbukan antar elektron dan partikel gas sangat kecil.

$$T_o \approx T_i \approx 1000\ K$$

$$T_e \approx 50\ 000\ K \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.6)$$

Pada plasma dingin ion dan atom-atom atau molekul-molekul netral (partikel berat), tetap dalam suhu sekitar 1000 K, namun demikian elektron-elektron dalam plasma jenis ini mempunyai temperatur cukup tinggi sekitar 50000 K. Plasma

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dingin sering digunakan dalam bidang mikroelektronik, pembentukan materi baru dan pembersihan polutan.

b. Plasma termik

Plasma jenis ini tergolong plasma dalam keadaan ketidaksetimbangan termal (non-thermal equilibrium). Partikel-partikel berat di dalam plasma bersuhu lebih tinggi dari 3000 K namun demikian elektron dalam plasma termik ini mempunyai temperatur cukup tinggi lebih besar dari 10^5 K

$$T_o \approx T_i > 3000\,K$$

$$T_e > 10^5\,K \quad \text{.....(2.7)}$$

Plasma jenis ini sering digunakan untuk pengelasan, pemotongan logam, pembersihan polutan dan lain-lain.

c. Plasma panas

Plasma yang ada dalam keadaan kesetimbangan termal (*thermal equilibrium*). Pada pembangkitan plasma panas distribusi energi elektron (ditentukan oleh T_e) dan molekul gas (ditentukan oleh T_o) mendekati sama, karena frekuensi tumbukan antara elektron dan molekul gas lebih besar. Dengan kata lain plasma termal adalah plasma yang tersusun dari molekul gas yang bertemperatur tinggi. Plasma jenis ini memiliki temperatur diatas 10^6 K.

$$T_i \approx T_e \approx T_p > 10^6\,K \quad \text{.....(2.8)}$$

Plasma panas ini digunakan untuk memproduksi energi listrik dari reaksi fusi terkendali.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Klasifikasi plasma berdasarkar temperatur ini tidak bisa lepas dari pengaruh-pengaruh hukum-hukum kesetimbangan termodinamik didalam plasma, hukum-hukum plasma ini meliputi kesetimbangan termodinamik total (KTT), kesetimbangan termodinamik lokal (KTL) dan kesetimbangan medan lokal (KML). Plasma dalam keadaan KTT mengikuti seluruh fungsi-fungsi distribusi (hukum Maxwell, Boltzmann, Saha dan Planck). Pada keadaan KKT ini setiap proses baik dibawah pengaruh radiasi dan/atau tumbukan partikel selalu terjadi proses kebalikannya dimana pada keadaan ini hanya terdapat satu temperatur yaitu temperatur termodinamik ($T = T_i = T_{kin} = T_{exc} = T_e$).

Pada sebagian besar plasma yang diproduksi di laboratorium, radiasi yang keluar dari suatu sistem plasma tidak mengikuti hukum Planck, fluks energi radiasi tidak sama dengan nol. Didalam sistem tersebut terdapat perbedaan temperatur dari satu posisi dengan posisi lainnya. Karenanya, temperatur unik pada plasma KTT digantikan oleh suatu temperatur bersama sub-sistem T_1, T_2, T_3, dls, sedemikian rupa sehingga agar perbedaan energi antara dua sub-sistem berdekatan sangat rendah. Dalam setiap sub-sistem berlaku hukum-hukum Boltzmann, Maxwell dan Saha. Kesetimbangan plasma dalam keadaan ini disebut Kesetimbangan Termodinamik Lokal (KTL).

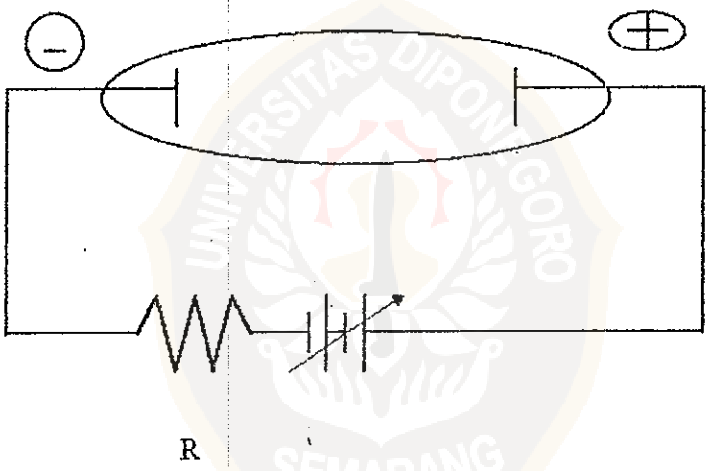
Dalam kondisi tertentu plasma tidak lagi dapat mempunyai suatu temperatur unik T walaupun secara lokal. Perbedaan partikel-partikel plasma yang ada separti elektron-elktron, ion-ion dan partikel-partikel netral mempunyai aktifis kinetik masing-masing dan ditandai dengan temperatur spesifik masing-masing (T_e, T_i, T_g). Tingkat kesetimbangan dalam hal ini sangat ditentukan oleh energi partikel-partikel bermuatan dibawah efek medan listrik dan energi tersebut hilang kembali saat

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

partikel-partikel bertumbukan. Dalam hal ini medan listrik lokal sangat menentukan kesetimbangan dalam plasma dan kesetimbangan ini disebut sebagai Kesetimbangan Medan Lokal (KML).

2.2. Lucutan (discharge) dalam gas oleh tegangan DC

Dalam sebuah tabung lucutan, jika tegangan dinaikkan mula-mula tidak teramati adanya arus listrik karena gas merupakan suatu isolator.

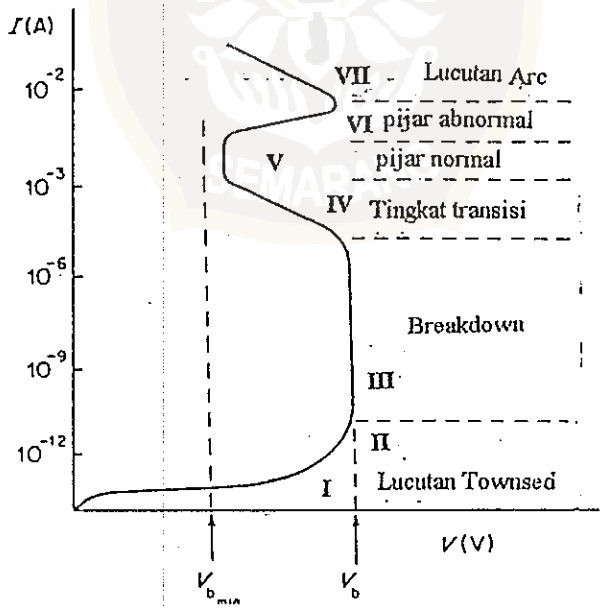


Gambar 2.2. Tabung lucutan gas DC (Ahmed,1987)

Jika terdapat elektron pertama (akibat ionisasi gas olek radiasi kosmis, UV), elektron dipercepat dan energinya cukup untuk mengionisasi gas, elektron-elektron bergerak menuju anoda, terukur arus sangat lemah (daerah I dan II) Jika tegangan arus ditambah sehingga elektron-elektron yang terjadi akibat ionisasi mendapat energi yang cukup besar dan mampu mengionisasi gas yang lain selama tumbukan maka terjadilah proses ionisasi berantai. Terjadilah peristiwa dadal (*breakdown*)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dalam gas, arus naik walaupun tegangan tidak dinaikkan (III). Setelah itu arus terus naik dengan sendirinya sedangkan tegangan sebaliknya menurun dengan sendirinya disebut lucutan pijar subnormal (*sub-normal glow discharge*) (IV). Pada suatu nilai tegangan tertentu, tegangan akan konstan tetapi arus akan terus naik sampai pada suatu kuat arus tertentu (V), daerah ini disebut dengan lucutan pijar normal. Setelah itu arus tidak naik lagi dan terjadi kestabilan. Jika tegangan terus dinaikkan arus akan naik sebanding dengan kenaikkan tegangan (VI), daerah ini disebut daerah lucutan abnormal. Berikutnya pada tegangan tertentu timbul ketidak-stabilan kembali (daerah transisi) dan selanjutnya tegangan berkurang secara cepat dan arus naik secara cepat pula, diikuti oleh nyala yang sangat terang maka terjadilah lucutan arc (*arc discharge*) (VII). Jadi daerah IV, V, VI sering disebut sebagai lucutan pijar dan pada daerah inilah sering digunakan untuk tujuan-tujuan aplikasi karena plasma yang terbentuk sangat mudah dikontrol dan lebih stabil.



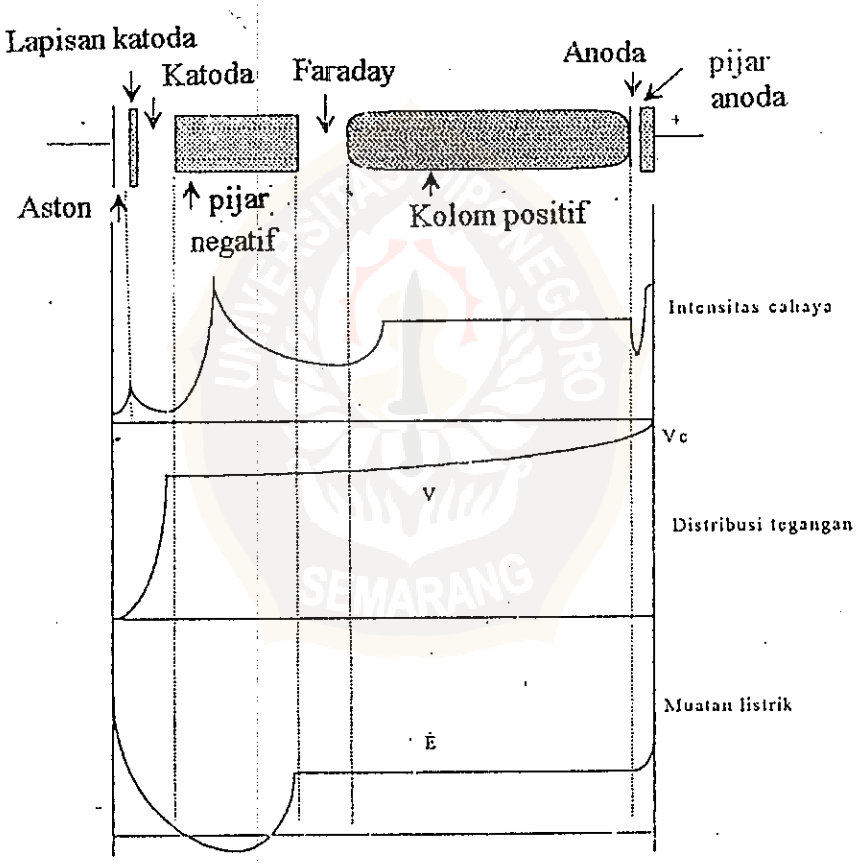
Gambar 2.3. Karakteristik arus-tegangan suatu lucutan dalam tabung lucutan gas DC (Ahmed, 1987)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.3. Lucutan Pijar dengan Sumber Tegangan DC

Pada umumnya, didalam plasma lucutan pijar daerah antar elektroda terpisah atas: ruang katodik, ruang pijar nagatif, ruang gelap faraday kolom positif dan daerah anoda.

Intensitas cahaya, tegangan dan medan listrik dalam daerah-daerah sangat berdeda satu dengan yang lainnya. Gambar 2.4. menunjukkan sifat-sifat utama sebuah lucutan pijar normal pada plasma tekanan rendah.



Gambar 2.4. Sifat-sifat utama sebuah lucutan pijar normal pada plasma tekanan rendah (Wong, 1985)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.4. Proses Ionisasi Molekul oleh Berkas Elektron

Jika suatu elektron bebas yang dihasilkan di dalam gas dan medan listrik DC maka elektron akan mengalami percepatan sebesar:

$$\bar{a} = \frac{q}{m_e}\bar{E} \quad \text{.....(2.9)}$$

dengan $\bar{a}$ adalah percepatan elektron, q muatan listrik, m_e massa elektron dan $\bar{E}$ adalah medan listrik.

Dalam peristiwa tumbukan elastis, arah dari elektron penumbuk akan berubah, tetapi energi kinetik kedua elektron dan energi dalam dari elektron target tidak terpengaruh. Pada tumbukan tidak elastis sejumlah energi dari elektron penumbuk ditransfer ke elektron target. Berbagai jenis proses dapat terjadi selama peristiwa tumbukan berlangsung, tergantung pada besarnya energi elektron penumbuk.

Proses elektron target yang menerima sejumlah energi dan akan menuju ke tingkat energi lebih tinggi, proses ini disebut eksitasi. Apabila energi yang ditransfer cukup besar, maka elektron akan lepas dari ikatan atomnya dan akan menjadi elektron bebas, proses ini disebut ionisasi. Energi yang diperlukan untuk dapat melepaskan elektron dari ikatan atomnya disebut energi ionisasi. Energi ionisasi untuk tiap gas berbeda.

Elektron yang terlepas dari atomnya akan melakukan rekombinasi kembali dengan ion (atom yang kehilangan elektronnya). Selama proses ini elektron melepaskan energi dalam bentuk radiasi. Sebagian pancaran cahaya radiasi dari lucutan pijar (*glow discharge*) berasal dari proses rekombinasi. Selain

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

rekombinasi, radiasi juga terpancar dari atom yang tereksitasi pada saat mengalami proses relaksasi menuju keadaan semula.

Tabel 2.1. Energi ionisasi dari toluena dan argon *(Perry.R.H, 1984)*

atom dan molekul	energi ionisasi (eV)
argon	15,799
toluena	11,950

2.5. Polimerisasi Plasma

Polimerisasi plasma adalah pembentukan bahan polimer oleh karena pengaruh plasma. Jika suatu lucutan pijar dibangkitkan di dalam ruang berisi molekul organik pada tekanan rendah, maka terjadi pembentukan polimer di dalam ruang plasma tersebut dan bila dipilih suatu kondisi lucutan yang tepat , lapisan tipis terpolimer dapat dideposisikan pada bahan substrat yang diinginkan. Pembentukan polimer didalam plasma terdiri dari dua jenis polimerisasi yaitu :

a. Polimerisasi plasma terinduksi

Pembentukan polimer dari monomer dapat secara langsung pada kasus-kasus monomer tertentusecara polimerisasi reaksi berantai karena plasma terdiri dari sejumlah bagian yang berenergi yang dihasilkan dari lucutan yang dapat memicu proses polimerisasi, proses polimerisasi plasma dapat ditunjukan pada bagan sebagai berikut:

$$M^* + M^* \longrightarrow MM^*$$

$$M_i^* + M \longrightarrow M_{i+1}^* \quad \text{proses pelipatan (}\textit{propogation}\text{).....(2.10)}$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$M_i^* + M_k^* \longrightarrow M_i - M_k \quad \text{hasil akhir (\textit{termination})} \ldots\ldots\ldots (2.11)$$

dengan I,k adalah jumlah satuan pengulangan (I = k = 1 , untuk bahan awal/monomer), M adalah bahan monomer yang dapat berupa kepingan atau atom yang terlepas dari bahan monomer dasar, namun tidak perlu memiliki struktur yang seperti bahan monomernya, M* adalah bagian reaktif yang dapat menjadi ion–ion yang bermuatan, molekul-molekul yang tereksitasi atau suatu radikal bebas yang dihasilkan dari monomer M namun tidak perlu mempermasalahkan struktur molekul dari bahan monomer.

b. Polimerisasi plasma

Jalan reaksi melalui suatu perantara reaktif (*reaktive intermediary*) adalah suatu reaksi utama didalam proses polimerisasi plasma. Polimer tetbentuk dengan reaksi berulang selangkah demi selangkah yaitu sebagai berikut:

$$M_i \longrightarrow M_i^*$$

$$M_k \longrightarrow M_k^* \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.12)$$

reaksi propagasi dan hasil akhirnya adalah sebagai berikut :

$$M_i^* + M_k^* \longrightarrow M_i + M_k$$

$$M_i^* + M_k^* \longrightarrow M_i + M_k \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.13)$$

Karena sebagian besar cara pembentukan polimer plasma melibatkan penggunaan lucutan pijar di dalam vakum maka proses polimerisasi plasma bisa dikatakan sebagai polimerisasi lucutan pijar (*glow discharge polimerization*).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.5.1. Sistem Polimerisasi Plasma

Hasil dari pendeposisian lapisan tipis dipengaruhi oleh beberapa variabel yang saling terkait, variabel tersebut meliputi tabung reaktor, frekuensi dan daya dari osilator data radio frekuensi (RF), lucutan pijar dan komposisi gas atau jenis monomer yang diigunakan serta tekanan dari sistem.

Terdapat tiga komponen dasar yang menyusun sistem polimerisasi plasma yaitu :

a. kamar pendeposisian atau tabung reaktor plasma

b. sumber daya

c. sistem vakum

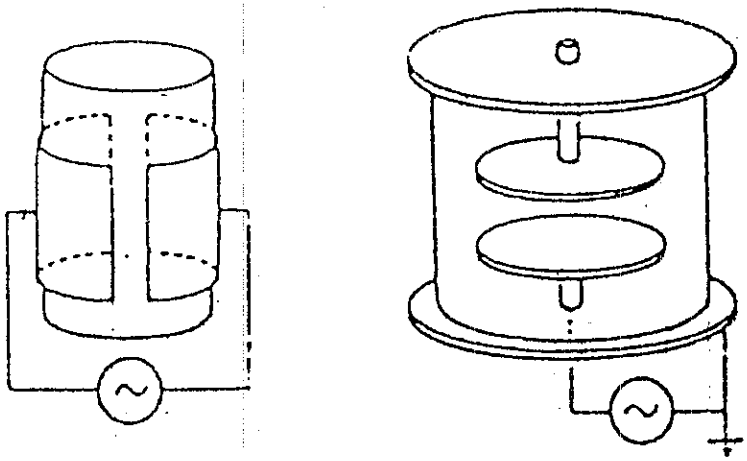
a. Kamar pendeposisian

Kamar pendeposisian atau tabung reaktor plasma adalah suatu ruang dimana terjadi proses pembentukan polimer plasma serta deposisi lapisan tipis plasma terpolimer pada substrat. Menurut Liepins dan Sakaoka *(Konuma.M,1992)* berdasarkan metode pengkopelan antara sumber daya RF dengan beban terdapat dua jenis reaktor yaitu :

1. Reaktor yang terkopel secara kapasitif

Reaktor jenis ini menggunakan elektroda keping sejajar atau kapasitor sebagai pengkopel atau perangkai antara sumber daya RF dengan beban. Reaktor yang terhubung secara kapasitif dibedakan dalam dua tipe yaitu model elektroda eksternal (gambar 2.5.a.) dan model elektroda internal (gambar 2.5.b.). Model elektroda internal lebih sering digunakan karena lebih mudah pengukurannya sedangkan model elektroda eksternal memiliki satu kelebihan yaitu dapat mengurangi efek pengotoran selama proses pembentukan plasma.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



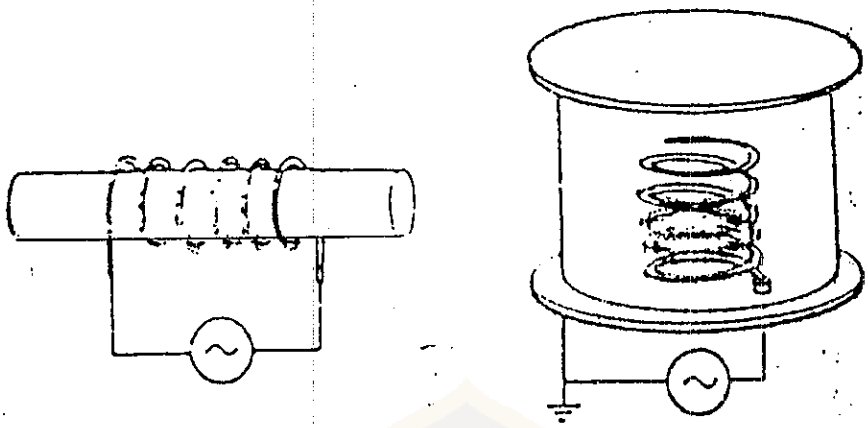
Gambar 2.5.a. **Gambar 2.5.b**

Gambar 2.5. Reaktor yang terkopel secara kapasitif *(Konuma. M, 1992)*

2. Reaktor yang terkopel secara inauktif

Reaktor jenis ini menggunakan lilitan logam atau induktor sebagai perangkai antara sumber daya dengan beban. Reaktor yang terhubung secara induktif dapat dibedakan dalam dua tipe yaitu terpasang secara eksternal (gambar 2.6.a.) dan terpasang secara internal (gamabr 2.6.b.). Sebagaimana pada reaktor model elektroda eksternal ysng terkopel secara kapasitif , reaktor model lilitan eksternal yang terkopel induktif memiliki satu kelebihan yang sama dengan model sebelumnya yaitu dapat mengurangi efek pengotoran. Sedangkan pada model lilitan internal membutuhkan daya yang lebih kecil untuk membangkitkan plasmanya.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.6.a **Gambar 2.6.b**

Gambar 2.6. Reaktor yang terkopel secara induktif *(Konuma. M, 1992)*

Didalam proses polimerisasi plasma yang menggunakan elektroda-elektroda internal untuk mengeksitasi lucutan, substrat bisa ditempatkan secara langsung di atas permukaan elektroda ataupun di dalam ruang antara elektroda. Dengan elektroda eksternal atau lilitan induktif substrat dapat ditempatkan tegak-lurus atau sejajar dengan elektroda namun lebih sering substrat ditempatkan sejajr untuk mempermudah proses pemanasan substrat dan untuk mendapatkan distribusi daya yang lebih merata. Maka dari itu, lokasi elektroda di dalam reaktor dan lokasi penempatan substrat merupakan faktor yang dapat menentukan sifat polimer.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

b. Sumber daya

Sebagai penyedia daya untuk proses ionisasi gas dapat dari sumber daya radio frekuensi (RF) dan dari tegangan tinggi DC. Besarnya frekuensi yang digunakan dipengaruhi oleh bentuk reaktor. Pada proses polimerisasi plasma, telah diselidiki bahwa osilator daya radio frekuensi (RF) dapat digunakan untuk membangkitkan dan memelihara lucutan pijar di dalam tekanan rendah dan mengkatalisasi suatu reaksi (*Adianto, 1995*). Namun terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi oleh sumber daya yang digunakan untuk proses polimerisasi plasma yaitu frekuensi yang digunakan di dalam pembangkit RF dan lokasi dari elektroda atau induktan RF yang digunakan di dalam reaktor.

Besarnya daya yang diambil dari sumber biasanya tergantung pada parameter-parameter proses seperti tegangan, gas yang digunakan dan tekanan sistem. Osilator RF mempunyai jangkau daya keluaran yang lebar dan frekuensi yang digunakan oleh pembangkit RF berkisar antara 10 MHz sampai 40 MHz (*International Communication Authorities*) *(Konuma. M, 1992)*

c. Sistem vakum

Vakum dapat didefinisikan sebagai ruang yang kerapatan gas (banyaknya partikel per satuan volume) didalamnya sangat rendah. Tujuan utama pemakaian pompa vakum adalah untuk mengeluarkan udara dari tabung reaktor plasma dan membersihkan tabung reaktor dari gas-gas polusi, setelah itu reaktor diisi dengan gas yang akan dijadikan plasma. Selain itu hampir sebagian besar proses pembentukan plasma terjadi pada keadaan tekanan rendah berkisar antara 0,1 - 10 Torr. Besarnya tekanan sistem dipengaruhi oleh jarak antar molekul gas dalam

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

tabung. Jarak antar molekul berpengaruh terhadap kebolehjadian terjadinya tumbukan. Jarak yang ditempuh oleh molekul-molekul yang bertumbukan didefinisikan sebagai jarak bebas rata-rata. Untuk udara pada suhu kamar berlaku persamaan sebagai berikut *(Rol. P.K, 1977)*

$$\lambda_{udara} = \frac{5x10^{-3} cm/torr}{p} \quad \text{.....(2.14)}$$

dengan λ = jarak bebas (cm)

P = tekanan vakum (Torr)

Tabel 2.2. Jarak bebas rata-rata molekul sebagai fungsi tekanan *(Rol.P.K, 1977)*

Tekanan (Torr)	Jarak bebas rata-rata molekul λ (cm)
760 - 1	$6{,}58 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-5}$
$1 - 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3} - 5$
$10^{-3} - 10^{-7}$	$5 - 5 \cdot 10^{4}$
$10^{-7} - 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{4} - 5 \cdot 10^{8}$

Untuk menghampakan suatu sistem atau bejana digunakan pompa yang berfungsi untuk mengambil udara dari dalam bejana keluar atmosfer. Pemilihan sistem pemompaan didasarkan pada pertimbangan laju pemompaan, laju aliran masukan gas, kontaminasi dari gas sisa, outgasing dan keselamatan.

2.5.2. Parameter Operasional Polimerisasi Plasma

Parameter operasional yang mengendalikan proses polimerisasi plasma dapat dibedakan dalam dua kategori *(Yasuda, 1985)*.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

a. Parameter karakteristik dari reaktor

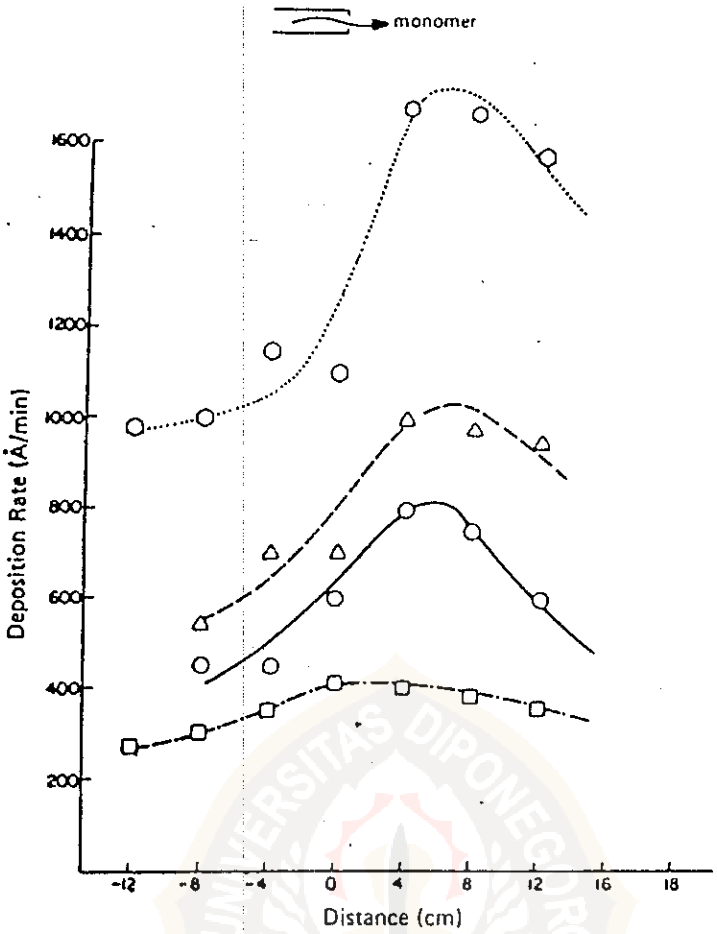
Parameter ini dapat diubah tapi sebagian besar bukan merupakan variabel, dan sangat penting untuk pembuatan reaktor plasma, yaitu meliputi jarak antar elektroda, ukuran elektroda dan frekuensi dari sumber daya serta dimensi tabung.

b. Parameter proses

Parameter ini sangat penting dalam menjalankan proses polimerisasi plasma untuk memperoleh hasil yang diinginkan yaitu meliputi tekanan sistem dan daya lucutan. Kecepatan molekul gas dan ionisasi gas dalam lucutan pijar berbanding terbalik dengan tekanan sistem, tekanan sistem selama lucutan pijar P_g mempengaruhi laju pendeposisian polimer dan sifat dari polimer plasma. Perubahan tekanan sistem mengubah volume lucutan pijar dan intensitas pijar dari plasma. Perubahan volume dan intensitas ini tidak hanya mengubah letak dari permukaan pengumpulan polimer di dalam plasma tetapi juga mengubah perbandingan antara polimer yang terkumpul dan jumlah keseluruhan polimer yang terbentuk. Maka dari itu perubahan pada tekanan sistem mempengaruhu laju pendeposisian polimer. Ketergantungan laju deposisi polimer terhadap tekanan sistem pada polimerisasi plasma acetylene di dalam reaktor kapasitif bell-jar disajikan pada gambar 2.7 *(Yasuda, 1985)*.

Daya lucutan merupakan parameter yang tergantung pada sistem sehingga terdapat keterkaitan antara daya dengan tekanan sistem. Kanaikan daya lucutan pada laju aliran tertentu mengakibatkan kenaikan pada laju ionisasi atau kenaikan pada laju reaksi. Volume lucutan pijar dan intensitas pijar dipengaruhu oleh daya lucutannya, disamping itu juga dipengaruhi oleh jenis lucutan dan bentuk reaktor.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.7. Distribusi pendeposisian polimer pada polimerisasi plasma acetylene untuk berbagai parameter tekanan sistem P_g (μmHg)
[O P_g = 35; Δ P_g = 28; 0 P_g = 20; □ P_g = 10] ***(Yasuda, 1985)***

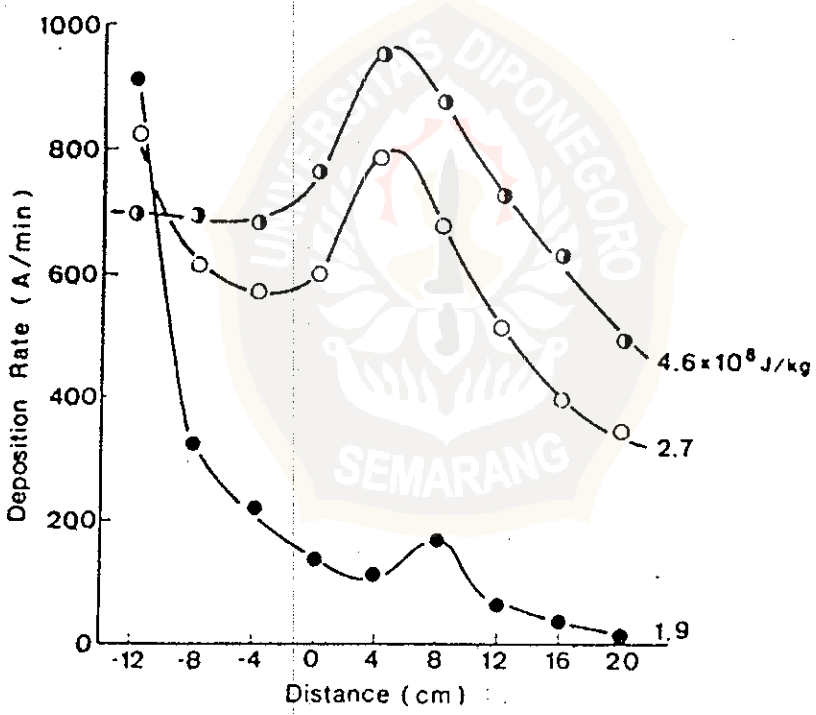
Pemberian daya pada proses pembentukan polimer plasma mengakibatkan volume pijar mengalami ekspansi dan intensitas pijar berkurang *(Yasuda, 1985)*. Volume dan intensitas ini mempengaruhi laju deposisi dan sifat dari polimer. Pengaruh daya lucutan pada laju deposisi polimer dalam reaktor kapasitif bell-jar untuk proses polimerisasi plasma acetylene disajikan pada gambar 2.8.

Daya lucutan adalah parameter yang penting. Besarnya daya yang diberikan tergantung pada jenis bahan awal *(starting material)* yang akan dijadikan plasma. Pemberian daya ini penting untuk mempertahankan proses polimerisasi lucutan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

pijar tetap berjalan. Untuk memahami pentingnya parameter daya lucutan selama proses polimerisasi terlebih dahulu harus mengetahui karakteristik proses polimerisasi plasma yaitu sebagai berikut:

a. monomer sebagai materi awal dalam fase gas tetapi hasil utamanya adalah dalam fase padat
b. polimerisasi plasma terjadi di dalam daerah pijar dari reaktor plasma
c. fase gas di dalam daerah pijar bukan plasma monimer yang sederhana tetapi terdiri dari sejumlah gas hasil non-polimer



Gambar 2.8. Pengaruh daya lucutan terhadap distribusi pendeposisian dari acetylene [◑, 50 W; ○, 30 W; ●, 20 W] *(Yasuda, 1985)*

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)