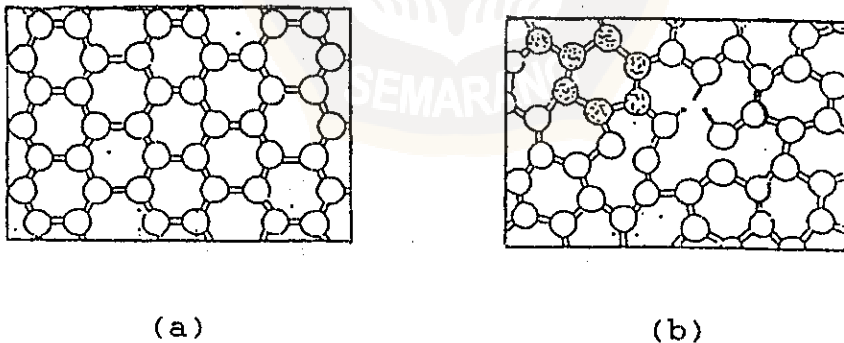


BAB II

DASAR TEORI

2.1. Struktur Padatan Amorf

Menurut *Beiser (1991)*, kristal adalah zat padat yang atom-atomnya tersusun rapi secara berulang dalam pola tiga dimensi dengan sifat keteraturan yang berjangkauan panjang. Sedangkan amorf bersifat sebaliknya yakni zat padat yang sifat keteraturannya hanya terbatas sampai jarak dua atom tetangga terdekat. Pada jangkauan yang lebih panjang jarak tersebut tidak lagi teratur sebagai akibat dari deviasi sudut ikatan serta jarak atom pusat ke atom-atom yang melingkupinya tidak teratur karena atom-atom pelingkup ini menduduki tempat secara acak. Namun demikian sedikitnya masih selalu dapat ditemukan adanya susunan atom tetangga terdekat sama antara fase kristal dan amorf seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.

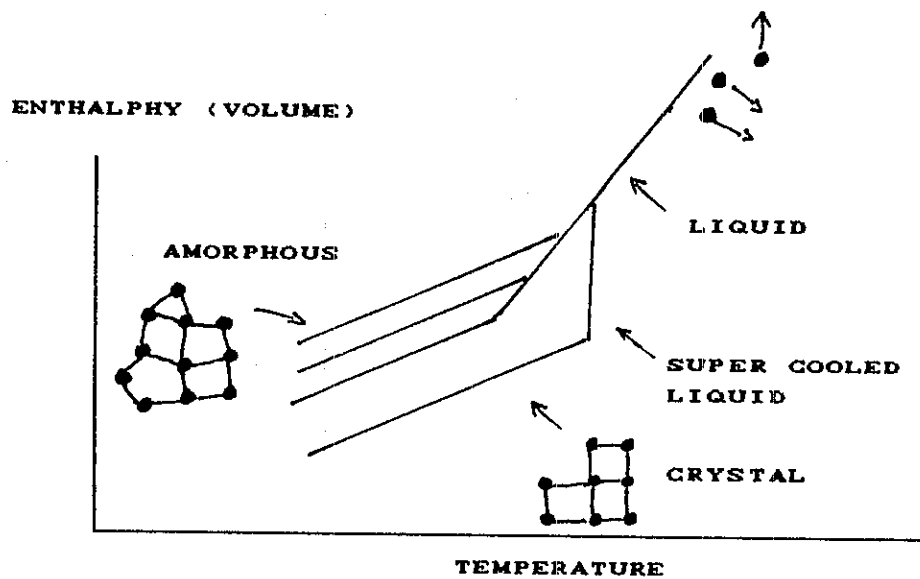


Gambar 2.1. Struktur padatan (a) kristal (b) amorf
(*Matsuda, 1988*)

Menurut tinjauan mikroskopis, ada keserupaan yang sangat kuat antara zat padat amorf dengan zat cair. Berdasarkan studi difraksi sinar-X, tatanan atom dalam zat cair terbatas hanya pada atom tetangga terdekat di sekeliling atom pusat. Sedangkan pada jangkauan yang lebih panjang distribusi jarak relatif atom-atom terhadap atom pusat menjadi acak. Pada zat cair kelompok molekulnya senantiasa bergerak sedangkan pada amorf tidak. Oleh karena itu amorf sering disebut sebagai cairan super dingin (*super cooled liquid*) yang kekentalannya timbul akibat viskositas yang sangat tinggi (*Beiser, 1991*)

Secara umum padatan amorf dapat dibentuk melalui metode pendinginan cepat (*rapid cooling method*) dari keadaan cair menjadi padat. Pada fase cair atom-atom dapat bergerak secara leluasa dan jika didinginkan secara cepat berdasarkan garis proses kesetimbangan termodinamika maka ia akan memasuki fase cair super dingin (*super cooled liquid phase*) dan mencapai titik transisi gelas.

Menurut *Jones et.al.* dalam *matsuda, (1988)*, proses kristalisasi merupakan suatu transisi orde pertama yang ditandai dengan perubahan volume secara tidak kontinu pada titik leleh, dalam hal ini proses penurunan volume pada proses pembekuan. Pembekuan amorf ditandai dengan perubahan volume secara kontinu hingga titik transisi gelas (T_g). Pada keadaan ini terbentuk amorf seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skema terbentuknya padatan amorf
(Matsuda, 1988)

2.2. Karbon Amorf Terhidrogenasi (a-C:H)

Karbon amorf terhidrogenasi (a-C:H) merupakan senyawa karbon dengan struktur amorf yang banyak mengandung unsur-unsur hidrogen. Analisis struktur karbon amorf (a-C:H) dapat dilakukan dengan mengetahui komposisi, struktur ikatan dan sifat-sifatnya.

2.2.1. Komposisi

Menurut Mort *et.al.* (1986), komposisi suatu bahan atau material dapat dikategorikan ke dalam unsur pokok dan unsur pengotor. Unsur pengotor dapat dibedakan menjadi dua yaitu unsur pengotor yang digunakan sebagai "doping" dan unsur pengotor yang tidak dikehendaki.

Komposisi a-C:H terdiri dari unsur pembentuk utama C ditambah unsur pengotor H yang berperan sebagai penstabil koordinasi ikatan tetrahedral atom C (*Sudjono dkk, 1989*). Komposisi antara C dan H dalam a-C:H sangat bervariasi. Dari penelitian, kandungan unsur H dalam a-C:H dapat mencapai 50 %. Namun dari penelitian *Jones dan Stewart*, kandungan unsur-unsur H hanya berkisar antara 30% hingga 40% untuk lapisan tipis yang dihasilkan dari proses plasma lucutan pijar RF (*Mort et.al., 1986*).

Secara umum komposisi unsur pembentuk a-C:H dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis gas hidrokarbon yang digunakan sebagai bahan utama pembentuk lapisan seperti gas CH_4 , C_6H_6 , C_2H_2 dan sebagainya, teknik preparasi yang digunakan serta parameter deposisi.

Selain C dan H, di dalam a-C:H terkadang didapatkan unsur lain sebagai pengotor yang tidak dikehendaki, misalnya O, N, dan Ar. Unsur-unsur ini secara tidak sengaja masuk ke dalam sistem dan membentuk persekutuan sewaktu proses sedang berlangsung, namun dalam konsentrasi yang sangat kecil.

2.2.2. Model Struktur Ikatan

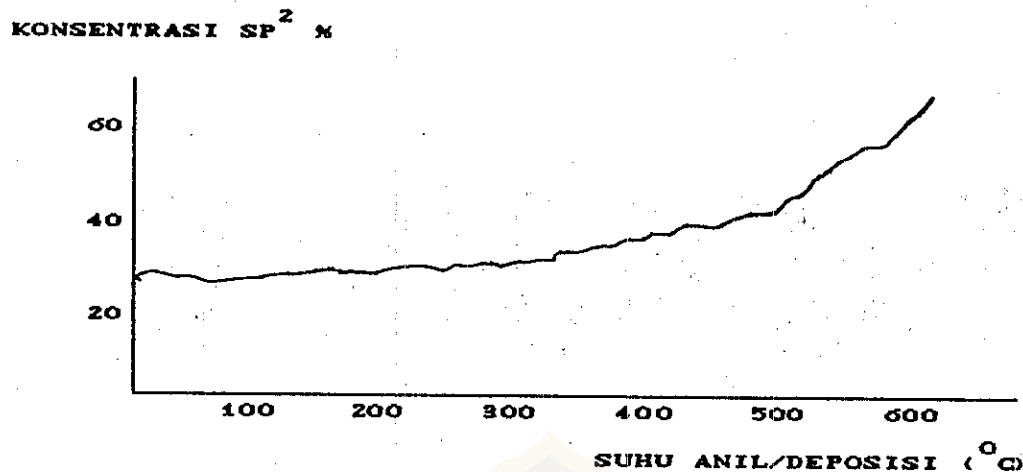
Di dalam a-C:H atom-atom karbon berikatan secara kovalen dan mempunyai model struktur ikatan sedikit lebih rumit dibandingkan dengan senyawa karbon pada umumnya. Kemiripan sifatnya dengan intan memberi kemungkinan bahwa

seluruh atom karbon berikatan secara tetrahedral dengan elektron dalam konfigurasi SP^3 . Dengan demikian ia memiliki struktur acak mirip seperti silikon amorf (a-Si). Namun dari hasil analisis spektroskopi ternyata juga ditemukan adanya ikatan trigonal dengan konfigurasi elektron SP^2 .

Menurut *Fink et.al. (1984)*, berdasarkan hasil pengukuran spektroskopi infra merah rentangan vibrasi pada ikatan H-C dan C-C pada cuplikan sejenis menghasilkan 68 % konfigurasi SP^3 . Bukti ini menunjukkan bahwa atom hidrogen terdistribusi secara homogen pada karbon SP^2 dan SP^3 . Di lain pihak dari analisis difraksi neutron oleh *Mildner dan Carpenter* membuktikan bahwa kehadiran atom karbon dengan koordinasi tetrahedral (SP^3) dalam a-C:H tidak lebih dari 10% (*Beeman et.al, 1984*). Dengan demikian, struktur a-C:H banyak didominasi oleh atom-atom C dengan koordinasi trigonal (SP^2).

Perbedaan model struktur ikatan a-C:H seperti diatas dapat dipahami, karena hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya kondisi preparasi. Contoh lapisan a-C:H yang dianil atau deposisi pada suhu sekitar $500^{\circ}C$ akan mengalami perubahan struktur atomik. Atom H sedikit demi sedikit terlepas dari ikatannya dan mengakibatkan transformasi dari ikatan H-C ke ikatan ganda karbon C=C yang menambah kandungan SP^2 dalam strukturnya. Selanjutnya pada suhu di atas $600^{\circ}C$, hampir semua atom H terputus dan

terjadilah transformasi struktur karbon amorf ke struktur grafit (*Fink et.al., 1984*).



Gambar 2.3. Tingkat kandungan SP² pada a-C:H (*Fink et.al., 1984*)

2.2.3. Sifat Optik

2.2.3.1. Indeks Bias

Indeks bias mutlak suatu medium dapat didefinisikan sebagai perbandingan kecepatan cahaya di ruang hampa terhadap kecepatan cahaya pada medium tersebut. Indeks bias merupakan salah satu parameter penting untuk menganalisis sifat-sifat optis suatu bahan.

Pada lapisan tipis a-C:H yang terbuat dari bahan hidrokarbon nilai indeks biasnya dapat mencapai 1,3 hingga 2,4 (*Azim Khan, 1983*). Nilai indeks bias a-C:H sangat berkaitan dengan kerapatan lapisan yang terbentuk. Dari data-data yang didapat, *Bubbenzer et.al.* dalam *Mort et.al.*,

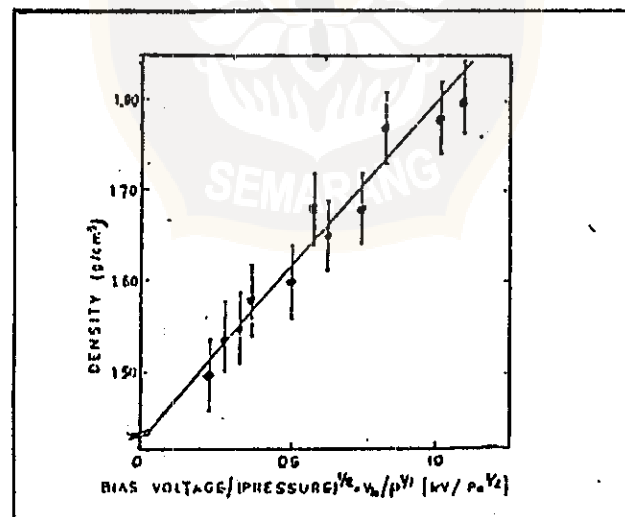
(1986) merumuskan suatu hubungan antara indeks bias dengan rapat massa lapisan sebagai :

$$n/\rho_m = (1,20 \pm 0,05) \text{ cm}^3/\text{gr} \quad (2.1)$$

dimana n = indeks bias

ρ_m = rapat massa lapisan (gr/cm^3)

Dari penelitian telah terbukti bahwa rapat massa a-C:H mengalami kenaikan dengan semakin naiknya nilai perbandingan antara tegangan bias (V_b) terhadap akar kuadrat tekanan gas (P) ketika proses deposisi berlangsung seperti terlihat pada Gambar 2.4. Berdasarkan perumusan *Bubenzner*, maka indeks bias lapisan mengalami kenaikan.



Gambar 2.4. Kerapatan a-C:H terhadap variasi parameter deposisi (*Mort et.al., 1986*)

2.2.4. Sifat Mekanik

2.2.4.1. Kekerasan

Kekerasan (*hardness*) didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap deformasi plastis. Kekerasan merupakan parameter penting untuk mengetahui dan menganalisis sifat mekanis suatu bahan.

Seperti umumnya senyawa-senyawa karbon, $a\text{-C:H}$ mempunyai sifat mekanis yang sangat keras. Kekerasan $a\text{-C:H}$ ini bisa terlihat dari kokohnya ikatan kovalen atom-atom karbon. Setiap atom karbon memiliki empat elektron valensi. Elektron-elektron ini terbagi antara atom-atom yang berdekatan dan membentuk suatu kisi tiga dimensi yang terikat oleh pasangan kovalen. Kekuatan ikatan kovalen dalam karbon dibuktikan dengan kekerasannya dan titik lelehnya yang sangat tinggi ($> 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$). Untuk memutuskan semua ikatan karbon dalam satu mol, diperlukan energi kira-kira 750 kJ atau 180 kKal (Vlak, 1992).

2.3. Tinjauan Umum Plasma

2.3.1. Definisi Plasma

Plasma didefinisikan sebagai gas yang terionisasi, mempunyai sifat fisis tersendiri seperti halnya zat padat, zat cair dan gas. Plasma merupakan keadaan fisis keempat setelah zat padat, zat cair dan gas, sebagaimana yang kita ketahui pada pemanasan zat padat menjadi cair, pemanasan zat cair menjadi gas dan pemanasan gas menjadi plasma.

Diperkirakan jagad raya ini tersusun hampir 99%

plasma. Plasma ini terbentuk dari proses ionisasi gas atmosfer oleh partikel-partikel kosmis. Di laboratorium plasma dapat dibentuk dengan mengionisasi gas melalui lucutan listrik dalam tabung gas bertekanan rendah, pemanasan laser, pemanasan biasa, medan osilator radio frekuensi (RF), sumber arus searah, atau medan gelombang mikro.

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

$$\delta = \frac{n_+}{n} = \frac{n_-}{n} \quad (2.2)$$

dimana n_+ = Banyak ion positif
 n_- = Banyak ion negatif
 n = Banyak zarah mula-mula

Meski plasma adalah gas yang terionisasi, namun tidak semua gas yang terionisasi adalah plasma. Hal ini karena harus memenuhi persyaratan seperti halnya kerapatan, suhu plasma, panjang Debye (λ_D) dan energi (kTe). Plasma yang dihasilkan dari sistem lucutan pijar mempunyai kerapatan kira-kira $10^8/\text{cm}^3$ sampai $10^{10}/\text{cm}^3$, panjang Debye lebih dari 10^{-3} cm dan energi (kTe) kira-kira 1 eV. Hubungan antara panjang Debye, kerapatan dan suhu plasma dapat dirumuskan sebagai (Marr, 1967):

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{k T_e}{4 \pi n_e e^2}} \quad (2.3)$$

- dimana :
- λ_D = Panjang Debye (cm)
 - k = Konstanta Boltzman ($8,1 \times 10^{-6}$ eV/K)
 - T_e = Suhu Plasma (K)
 - n_e = Kerapatan plasma (Partikel/cm⁻³)
 - e = muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)

Analisis tentang plasma sangat kompleks mengingat proses-proses atomik seperti proses ionisasi, eksitasi dan rekombinasi banyak terjadi di dalamnya. Selain itu partikel-partikel yang bergerak di dalamnya merupakan partikel-partikel gas yang bermuatan sehingga gerakannya cukup kompleks akibat adanya interaksi antarpartikel di dekat maupun dengan partikel yang jauh.

2.3.2. Pembentukan Plasma dengan Medan Radio Frekwensi

Plasma adalah gas yang terionisasi. Untuk mengionisasi gas dapat dilakukan dengan memasukkan energi ke dalam sistem reaktor plasma. Salah satu sumber energi yang sering dipakai adalah osilator radio frekuensi (RF) yaitu rangkaian osilator yang berfungsi untuk memasok daya serta memberikan getaran listrik pada daerah frekuensi radio.

Sumber RF ini dirangkai dari rangkaian L, C dan beberapa komponen yang lain termasuk transformator untuk

menyesuaikan tegangan yang diperlukan terhadap listrik PLN. Komponen utama dari RF adalah sebuah tabung trioda. Tabung ini mempunyai daya keluaran hingga ratusan watt.

Besar frekuensi dari sistem RF dapat diubah-ubah berdasarkan persamaan (Wasito, 1976).

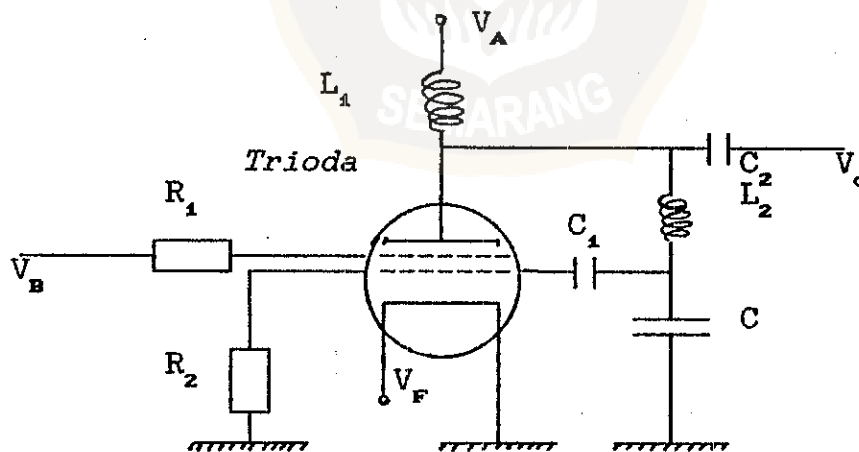
$$f = \sqrt{\frac{1}{2 \pi L C}} \quad (2.4)$$

dimana f = frekuensi keluaran (Hz)

L = Induktansi (H)

C = Kapasitansi (F)

Skema dasar osilator RF dapat disajikan pada Gambar (2.5).



Gambar 2.5. Skema dasar Osilator RF
(Suprpto dkk., 1995)

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

1. Proses ionisasi dengan penyerapan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dari osilator Radio Frekuensi (RF) sehingga terjadi transisi tingkat-tingkat energi atom.
2. Proses ionisasi akibat tumbukkan antara partikel gas dengan ion dan elektron yang terpancar dari elektroda.

Pada proses yang pertama terjadi penyerapan energi gelombang elektromagnetik (foton) yang terpancar dari osilator radio frekuensi (RF). 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 terbentuklah ion dari gas tersebut. Proses ini disajikan dalam persamaan (Beiser, 1991):

$$h\nu = K + h\nu_0 \quad (2.5)$$

dimana h = Konstanta Planck ($6,625 \times 10^{-34}$)

ν = Frekuensi foton yang datang (Hz)

ν_0 = Frekuensi ambang ionisasi (Hz)

K = Energi kinetik fotoionisasi (J)

Untuk gas hidrokarbon, $\nu_0 = 2,23 \times 10^{14}$ Hz

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

Proses kedua dari ionisasi gas adalah peristiwa tumbukan antarpartikel di dalam tabung reaktor. Pada saat antara anoda dan katoda di dalam tabung reaktor bertekanan rendah diberi beda potensial yang besar dari sumber tegangan osilator radio frekuensi (RF), 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 transfer seluruh atau sebagian dari energi partikel penumbuk ke partikel gas, sehingga partikel-partikel gas tereksitasi. Jika energi transfer ini melebihi energi ambang ionisasi, maka partikel gas dapat mengalami ionisasi. Proses ini senantiasa disertai dengan lucutan (*glow*), sehingga plasma yang dihasilkan disebut sebagai plasma lucutan pijar (*glow discharge plasma*).

2.3.3. Parameter Plasma

Parameter plasma merupakan besaran yang menunjukkan kondisi plasma. Parameter-parameter penting plasma untuk tujuan penelitian pembuatan lapisan tipis adalah suhu plasma (T_e) dan kerapatan plasma (n_e). Kedua parameter tersebut mengacu pada partikel elektron. Hal ini karena

elektron merupakan partikel yang paling banyak menerima tambahan energi dari medan RF sebagai akibat dari massanya yang sangat kecil. Dengan demikian pemanasan suatu plasma terjadi lebih dahulu dengan pemanasan elektron bila sumber tenaganya dari medan elektromagnetik.

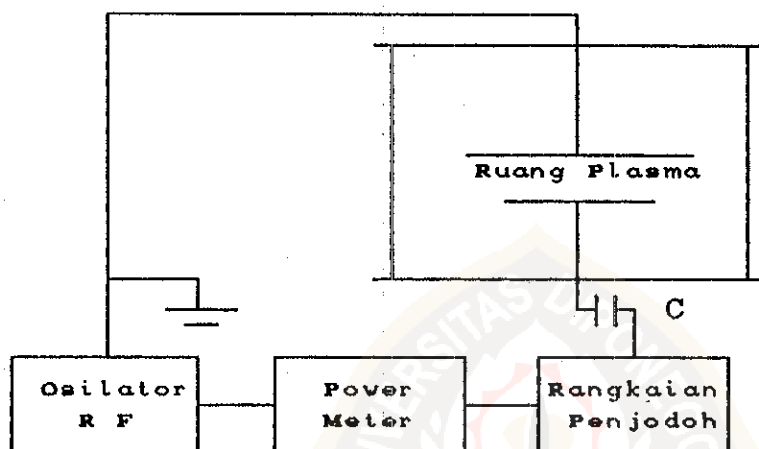
Kerapatan plasma menyatakan banyaknya partikel pembentuk plasma tiap satuan volume. Kerapatan plasma merupakan parameter yang sangat penting karena berhubungan dengan kerapatan lapisan tipis yang terdeposisi pada permukaan substrat atau bahan.

2.4. Teknik Deposisi

Teknik deposisi adalah teknik yang digunakan untuk mendeposisikan plasma pada substrat atau bahan yang dikehendaki agar terbentuk lapisan tipis. Ada beberapa teknik pembuatan lapisan tipis yang dikembangkan para ahli seperti teknik evaporasi hampa (*vacuum evaporation*), teknik penembakan ion (*ion beam sputtering*) dan teknik plasma lucutan pijar (*glow discharge plasma*).

Untuk membuat lapisan tipis a-C:H dengan teknik deposisi plasma lucutan pijar, dibutuhkan gas hidrokarbon yang dialirkan ke dalam ruang *RF-Glow discharge*. Ruang ini berupa tabung vakum berupa silinder dengan dua buah elektroda yaitu anoda dan katoda. Gas hidrokarbon dimasukkan ke dalam ruang di antara dua elektroda ini. Setelah terjadi lucutan listrik antara anoda dan katoda sebagai akibat adanya beda potensial yang sangat tinggi,

partikel gas mengalami ionisasi dan membentuk plasma. Plasma yang terbentuk ini kemudian tertarik ke katoda. Di atas katoda telah diletakkan substrat, sehingga plasma dapat terdeposisi pada permukaannya. Proses ini berlangsung terus hingga terbentuknya lapisan tipis pada permukaan substrat.

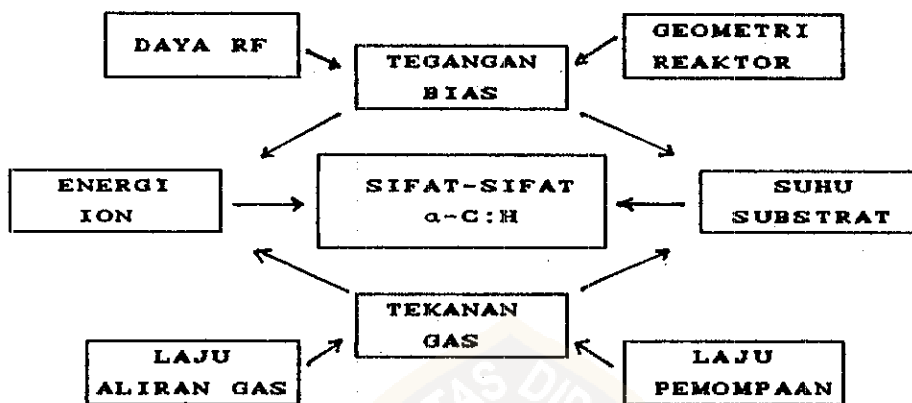


Gambar 2.6. Skema sistem peralatan deposisi plasma lucutan pijar RF (Sudjono dkk., 1989)

Pada gambar di atas, catu daya RF dihubungkan ke katoda melalui power meter dan rangkaian penjodoh jenis L serta kapasitor. Katoda mengalami tegangan negatif (*self bias*) yang timbul dari mobilitas ion dalam lucutan pijar. Tekanan gas dan laju pemompaan dapat diatur dengan katup serta dapat diukur masing-masing dengan *penning gauge* dan *thermocouple vacuum gauge*. Suhu substrat diukur dengan termokopel suhu yang dihubungkan dengan pengukur suhu digital. Dalam sistem deposisi ini katoda dibuat lebih kecil daripada anoda dengan harapan agar timbul bias

negatif.

Parameter deposisi menurut *Bubenzer et.al.* dalam *Sudjono dkk. (1989)*, saling berhubungan seperti disajikan pada Gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7. Hubungan parameter-parameter deposisi (menurut *Bubenzer et.al.* dalam *Sudjono dkk, 1989*)