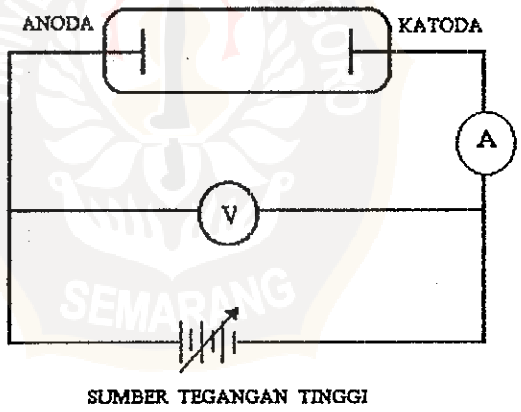
BAB II

DASAR TEORI

2.1. Lucutan Gas (Ahmed, 1987)

Apabila dua buah elektroda yang berupa plat sejajar diletakkan di dalam tabung yang berisi gas dengan tekanan tertentu dan kedua elektroda dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi dc, maka akan terjadi lucutan listrik diantara elektroda-elektrodanya. Gambar tabung lucutan gas dapat dilihat pada gambar 2.1. Elektron dari katoda akan bergerak menuju anoda dan selama perjalanannya elektron-elektron tersebut akan menumbuk partikel-partikel atau atom-atom gas diantara kedua elektroda. Proses tumbukan tersebut dapat mengakibatkan terjadi ionisasi.



Gambar.2.1. Tabung lucutan gas

Pada tegangan rendah elektron-elektron tidak banyak berpengaruh pada atom-atom gas, karena hanya sedikit terjadi ionisasi dan elektron-elektron yang dihasilkan tidak banyak menambah arus, ionisasi yang terjadi karena adanya radiasi kosmis. Apabila tegangan dinaikkan partikel akan mendapat tambahan energi untuk

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)

menambah terjadinya ionisasi, sehingga arus listrik naik terhadap tegangan, daerah ini disebut lucutan Townsend (*Townsend discharge*).

Bila tegangan dinaikkan terus, maka elektron-elektron yang bergerak menuju anoda akan semakin banyak dan proses ionisasi sering terjadi, sehingga terjadi pelipatan elektronik dan ion yang dihasilkan akan dipercepat menumbuk katoda karena adanya medan listrik. Tumbukan ion tersebut menghasilkan elektron melalui efek fotolistrik, elektron hasil tumbukan itu disebut elektron sekunder, sedangkan elektron hasil ionisasi primer disebut elektron primer.

Pada suatu nilai tegangan tertentu akan terlihat adanya pancaran (*emisi*) cahaya pada katoda, keadaan ini disebut dadal (*breakdown*). Setelah keadaan dadal pijaran katoda yang disebabkan oleh tumbukan-tumbukan ion dan emisi elektron sekunder akan menimbulkan kenaikan arus, kondisi ini disebut lucutan normal (*normal discharge)*. Pada keadaan ini proses ionisasi akan terjadi secara berantai dan tidak lagi memerlukan penambahan tegangan dari luar untuk terjadinya ionisasi. Setelah permukaan katoda seluruhnya berpijar tegangan dan arus listrik akan naik secara simultan dan keadaan ini disebut lucutan abnormal (*abnormal discharge*). Apabila tegangan terus dinaikkan maka katoda akan semakin panas yang disebabkan tumbukan ion berenergi tinggi dan proses ini menjadi dominan untuk memproduksi elektron. Dalam hal ini tegangan lucutan menjadi menurun dan arus listrik meningkat, kondisi ini disebut lucutan arc (*arc discharge*). Lucutan arc tidak memerlukan lagi penambahan tegangan untuk mendukung lucutan, karena pada katoda akan terpancar elektron-elektron sekunder terus-menerus yang disebabkan proses thermionik.

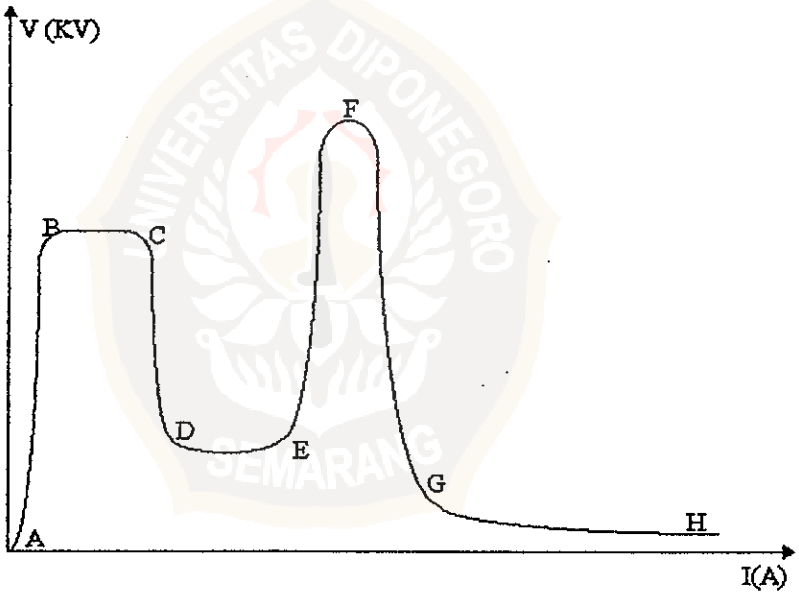
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep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

Secara garis besar lucutan gas dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu :

1. Lucutan tak mandiri (*non-self-sustained*), karena untuk terjadinya proses ionisasi masih memerlukan energi eksternal dari sistem. Lucutan yang termasuk lucutan tak mandiri adalah lucutan townsend.

2. Lucutan mandiri (*self-sustained*), yaitu proses lucutan tanpa memerlukan tegangan atau energi dari luar, yang termasuk lucutan mandiri adalah lucutan pijar normal, lucutan pijar abnormal dan lucutan arc.

Untuk melihat hubungan antara tegangan (V) dan arus listrik (I) dapat digambarkan pada gambar 2.2. (Reizer,1991)



Gambar 2.2. Karakteristik hubungan V-I lucutan gas

Dari grafik dapat dilihat pembagian daerah untuk masing-masing lucutan, yaitu, AB : Lucutan Townsend (*Townsend Discharge*).

BC : Keadaan dadal (*Breakdown*).

CD : Transisi menuju Lucutan mandiri (*self-sustained*).

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)

DE : Lucutan pijar normal (*normal discharge*).

EF : Lucutan pijar abnormal (*Abnormal discharge*).

FG : Transisi menuju lucutan arc.

GH : Lucutan arc (*Arc discharge*).

2.2. Plasma Lucutan Pijar Korona

Plasma lucutan pijar korona termasuk lucutan mandiri (*self-sustained*) yang merupakan suatu kasus khusus. Plasma lucutan pijar korona terbentuk pada medan listrik tak seragam (*non uniform*) yang kuat antar elektroda, tetapi belum cukup kuat untuk terjadi lucutan arc (Reizer,1991). Medan listrik tidak seragam dapat dibentuk dengan membuat konfigurasi geometri elektroda yang berbeda misal: titik-bidang , kawat-bidang dan pisau silinder.

Dalam plasma lucutan pijar korona, antara dua elektroda terdapat dua daerah yaitu: daerah ionisasi (*ionization region*) dan daerah aliran (*drift region*). Daerah ionisasi terletak disekitar elektroda aktif sedangkan daerah aliran merupakan daerah selain daerah ionisasi yang berada diantara kedua elektroda. Elektroda aktif adalah elektroda yang mempunyai intensitas medan listrik yang tinggi. Untuk konfigurasi elektroda titik-bidang (*point-to-plane*) plasma lucutan pijar korona terjadi pada elektroda aktif yaitu pada elektroda titik (*point*). Plasma lucutan pijar korona yang terjadi dapat disebut korona positif atau korona negatip, penyebutan ini ditentukan oleh polaritas tegangan yang diberikan pada elektroda titik (Sigmond, 1982).

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)

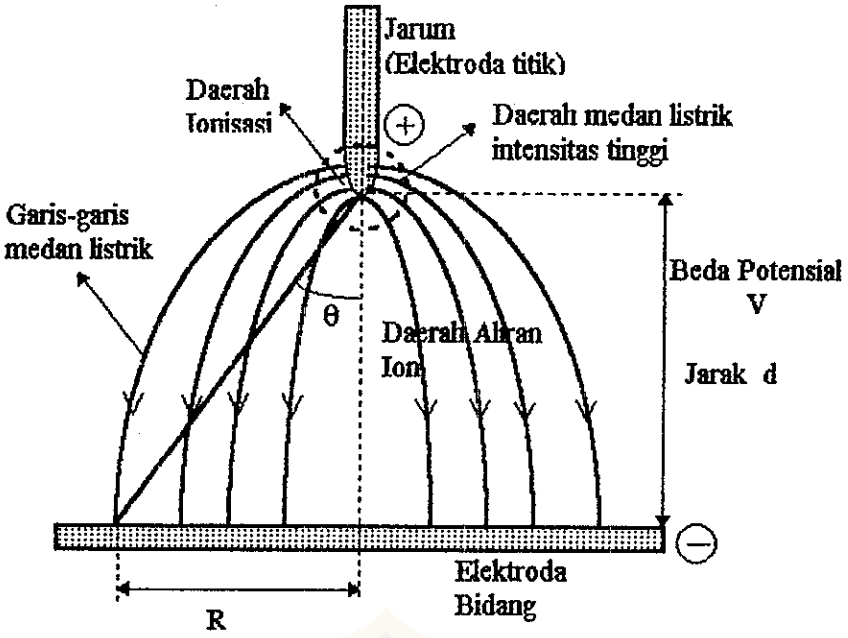
Plasma lucutan pijar korona positip dapat dibentuk dengan memberikan polaritas positip pada elektroda titik (*point*). Elektron-elektron yang bergerak dari katoda menuju anoda akan dapat mengionisasi atom-atom atau molekul gas diantara elektroda. Ionisasi terjadi disekitar elektroda titik, karena pengaruh medan listrik ion-ion hasil ionisasi akan mengalir atau bergerak menuju katoda melalui daerah aliran (*drift region*). Aliran ion-ion ini akan menimbulkan arus ion yang disebut arus saturasi unipolar. Daerah ionisasi dan daerah aliran plasma lucutan pijar korona ditunjukan pada gambar 2.3.Untuk konfigurasi elektroda hiperbolik-bidang (*hiperbolid-plane*) yang merupakan pendekatan untuk konfigurasi titik-bidang (*point-to-plane*) arus saturasi unipolar diberikan persamaan (Sigmond,1982) :

$$I_s = \frac{2\mu\varepsilon_0 V^2}{d} \qquad (2.1)$$

Dengan I_s adalah arus saturasi unipolar ion,V adalah tegangan korona, μ adalah mobilitas ion unipolar, ε_o permitivitas ruang hampa dan d adalah jarak antar elektroda. Arus ion-ion pada korona positif adalah ion yang bermuatan positif.

Plasma lucutan pijar korona negatif dapat dibentuk dengan memberi polaritas negatif pada elektroda titik. Hal yang membedakan dengan korona positif adalah ion yang mengalir melalui daerah aliran merupakan ion-ion yang bermuatan negatif. Ion-ion bermuatan negatif terbentuk karena didalam udara terdapat molekul elektronegatif (O_2) yang mempunyai sifat sangat mudah menangkap elektron.

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 2.3. Daerah ionisasi dan aliran pada lucutan pijar korona

2.2.1. Medan Listrik Pada Elektroda Titik-Bidang

Medan listrik yang tak seragam (*non uniform*) karena adanya perbedaan geometri antara elektroda (titk-bidang) menimbulkan medan listrik yang kuat disekitar ujung elektroda titik. Kuat medan listrik antar elektroda merupakan fungsi dari jarak (x) antar elektroda, ditunjukkan pada gambar 2.4. Besar kuat medan listrik ditunjukan dalam persamaan: (Bamji et.all,1993)

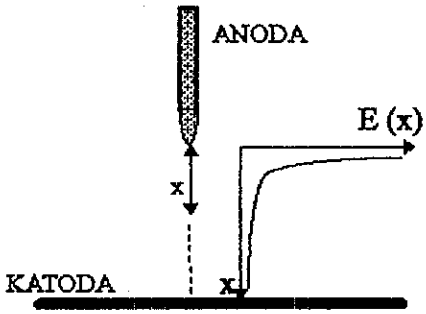
$$E(x) = \frac{2V}{(r + 2x - \frac{x^2}{d}) \ln(1 + \frac{2d}{r})} \qquad (2.2)$$

Dengan V adalah tegangan pada elektroda, r adalah jari-jari ujung elektroda titik, d adalah jarak antar elektroda dan x jarak ujung elektroda titik dengan sebuah titik yang berjarak x tertentu diantara kedua eletroda.

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 demikian apabila X = 0 (diujung elektroda titik) medan listriknya diberikan persamaan :

$$E(x=0)=\frac{2V}{r\ln(1+\frac{2d}{r})} \tag{2.3}$$



Gambar 2.4. Kuat medan listrik sebagai fungsi jarak

2.3. Tumbukan Elektron dengan Atom atau Molekul Gas

Elektron-elektron yang bergerak di antara dua elektroda akan mengalami tumbukan dengan atom-atom atau molekul gas yang ada di antara elektroda. Tumbukan elektron ini dapat mengakibatkan atom atau molekul gas mengalami ionisasi. Ionisasi adalah proses terlepasnya elektron suatu atom atau molekul dari lintasannya. Atom yang ditinggalkan elektron disebut ion dan mempunyai muatan positip, karena mempunyai jumlah proton yang lebih banyak dari pada elektronnya.

Energi minimum yang diperlukan untuk melepaskan satu atau lebih elektron dari sebuah atom disebut energi ionisasi dengan satuan elektron volt (eV). Energi ionisasi setiap atom atau molekul mempunyai nilai yang berbeda-beda, untuk atom nitrogen (N) energi ionisasinya sebesar 14,534 eV dan untuk molekul nitrogen (N_2) sebesar 15,576 eV (Reizer,1991). Proses ionisasi terjadi karena adanya tumbukan

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)

non elastik antara elektron yang bergerak dengan atom atau molekul gas. Untuk dapat terjadi proses ionisasi energi elektron yang bergerak tersebut harus lebih besar atau sama dengan energi ionisasi atom gas, dapat ditulis persamaan :

$$\frac{1}{2} m_e v_e^2 \geq eV_i \qquad (2.4)$$

Dengan m_e adalah massa elektron, v_e adalah kecepatan elektron, e adalah muatan elektron dan V_i adalah potensial ionisasi atom atau molekul. Selain terjadi proses ionisasi, tumbukan elektron dengan atom atau molekul gas dapat pula mengakibatkan terjadi proses disosiasi, eksitasi, rekombinasi dan relaksasi.

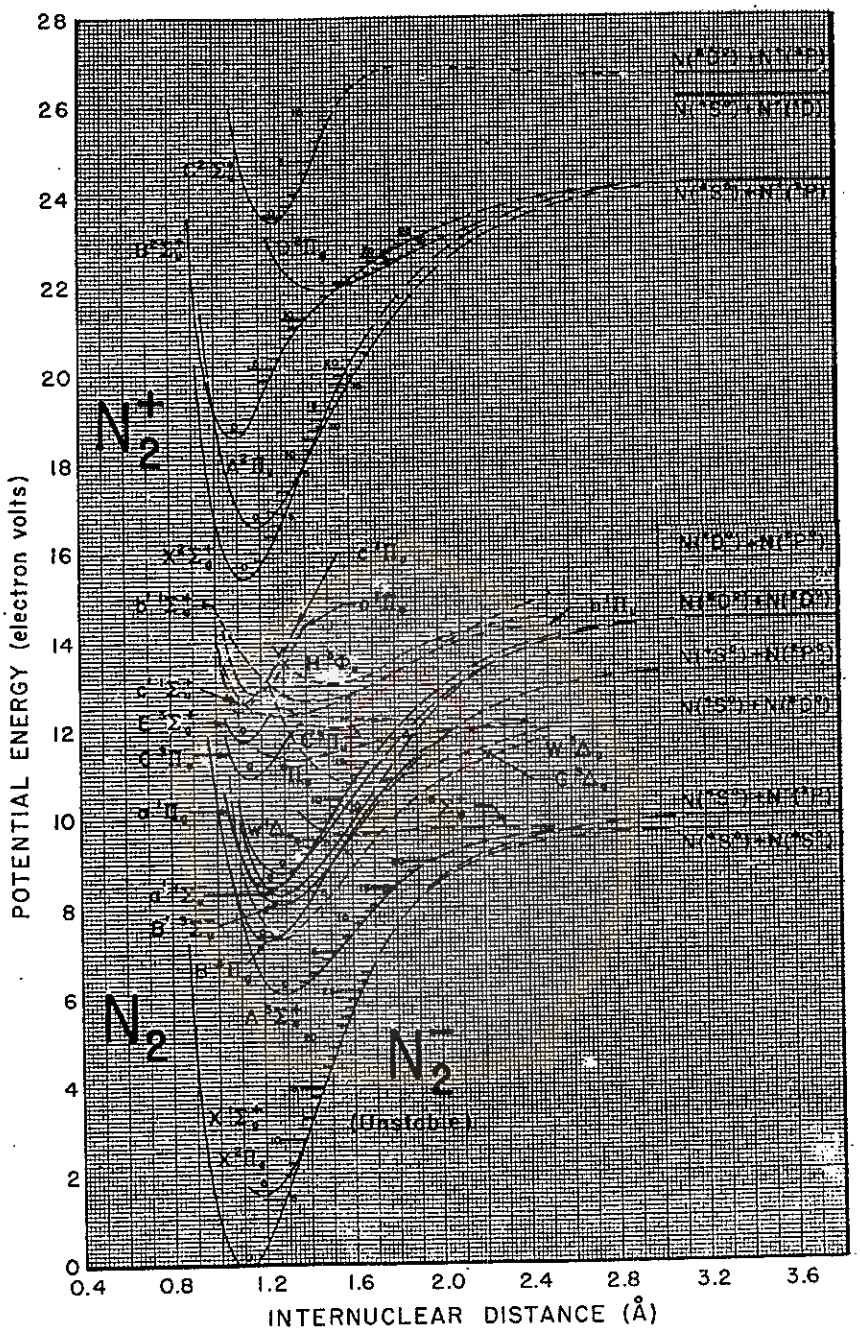
Disosiasi adalah proses pemisahan molekul-molekul menjadi atom-atom penyusunnya.

Eksitasi adalah peristiwa elektron atom atau molekul yang berada ditingkat energi rendah berpindah ketingkat yang lebih tinggi, karena mendapat tambahan energi dari tumbukan elektron .

Rekombinasi adalah peristiwa penangkapan atau pengikatan kembali elektron pada ion, sehingga ion kembali menjadi atom netral. Rekombinasi merupakan peristiwa kebalikan dari ionisasi.

Relaksasi adalah peristiwa kembalinya elektron atom dari tingkat energi tinggi ketingkat energi semula dengan disertai pancaran foton. Relaksasi atau deeksitasi merupakan kebalikan dari proses eksitasi. Kurva potensial energi ionisasi nitrogen ditunjukkan pada gambar 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)



Gambar 2.5. Kurva energi potensial ionisasi nitrogen

(Lothus and Krupenie, 1977)

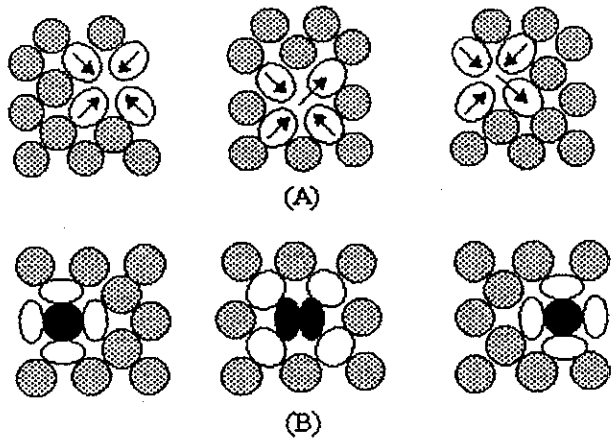
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep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

2.4. Difusi Atom (Vlack,1991)

Atom-atom bahan tidak bergerak pada suhu 0 K (-273°C). Pada keadaan ini atom-atom menduduki energi terendah diantara tetangganya, apabila suhu dinaikan energi atom akan meningkat yang menyebabkan atom tersebut bergetar. Atom yang bergetar mempunyai tingkat energi tertentu. Pada suatu suhu tertentu tidak semua atom mempunyai tingkat energi yang sama. Terdapat suatu spektrum energi diantara atom-atom dari nilai mendekati nol sampai nilai tertinggi. Suatu atom dapat mendobrak ikatannya dan berpindah posisi baru bila mempunyai energi yang cukup tinggi, proses ini disebut difusi. Energi yang diperlukan sebuah atom untuk berpindah tempat atau posisi baru disebut energi aktivasi.

Mekanisne difusi atom dapat berupa difusi dengan kekosongan dan difusi dengan interstisi. Arah Difusi dengan kekosongan akan lebih menonjol terjadi apabila semua atom mempunyai ukuran yang sama, sehingga kekosongan yang terjadi dapat disubstitusi dengan atom lain.. Kekosongan dapat terjadi sebagai akibat struktur atom yang cacat atau akibat agitasi (gejolak) suhu. Kekosongan bergerak dalam arah yang berlawanan dengan arah difusi atom. Difusi dengan interstisi terjadi apabila atom yang berpindah berhenti pada posisi antar atom-atom kristal.

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. Mekanisme difusi, (A) dengan kekosongan, (B) dengan interstisi

Besarnya luasan yang ditempati atom-atom yang berpindah tempat dengan energi aktivasi dalam setiap detik disebut difusivitas atau koefisien difusi. Hubungan antara difusivitas (D) dan suhu diberikan persamaan :

$$D = D_0 e^{-E/kT} \tag{2.5}$$

D_0 adalah suatu konstanta yang tidak tergantung pada suhu, untuk karbon yang larut dalam besi berstruktur kubik pemusatan ruang $D_0 = 2{,}2 \times 10^{-4}$ m^2 /s, E adalah energi aktivasi, k adalah tetapan Boltzman ($8{,}63 \times 10^{-5}$ eV/K) dan K adalah suhu (dalam Kelvin). Difusivitas tergantung dari jenis atom yang larut, struktur bahan pelarut, perubahan suhu dan waktu terjadinya proses difusi (Vlack, 1991).

2.5. Pendeposisian Ion dengan Teknik Plasma Lucutan Pijar Korona

Plasma lucutan pijar korona merupakan bentuk lucutan pijar abnormal yang khusus karena elektrodanya mempunyai konfigurasi geometri yang berbeda (titik-bidang). Plasma lucutan pijar korona tidak hanya dapat terbentuk dalam suatu

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)

reaktor saja tetapi juga dapat terbentuk di ruangan bebas yang mempunyai tekanan kamar (1 atm) dan gas yang digunakan adalah udara bebas dengan kandungan nitrogen 80% , oleh karena itu ion yang diharapkan terdeposisi adalah ion nitrogen. Proses pendeposisian ion tersebut dapat dikatakan sebagai nitridasi. Nitridasi merupakan suatu proses pendeposisian ion nirogen ke dalam suatu bahan untuk merubah struktur mikro bahan sehingga mengubah sifat-sifat fisik dan kimia bahan tersebut.

2.5.1. Plasma lucutan pijar korona sebagai sumber ion

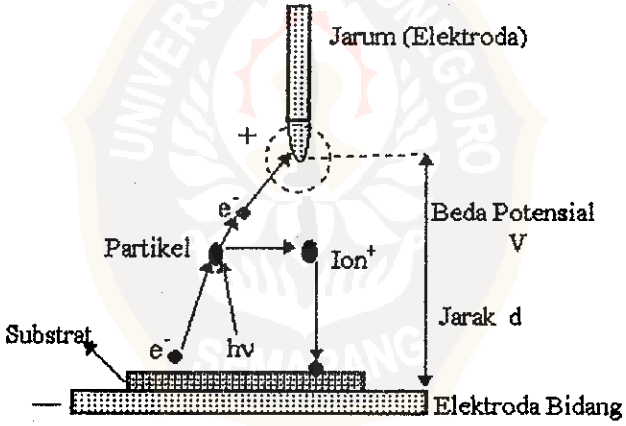
Dua buah elektroda yang berbeda konfigurasi geometri (titik-bidang) diberi beda tegangan akan mengakibatkan partikel-partikel atau atom-atom diantara elektroda akan mengalami ionisasi. Proses ionisasi mengakibatkan partikel atau atom akan menjadi ion-ion yang bermuatan positif. Diantara celah elektroda tidak hanya terjadi ionisasi saja tetapi juga dapat terjadi proses deeksitasi, eksitasi, dan rekombinasi. Untuk konfigurasi elektroda titik-bidang lucutan pijar yang terjadi disebut plasma lucutan pijar korona (*Plasma corona glow discharge*). Bila didalam gas (udara bebas) terdapat atom-atom atau partikel elektronegatif (O_2), maka molekul ini akan mudah menangkap elektron sehingga bermuatan negatif dan akan dipercepat menuju anoda. Atom atau partikel elektronegatif (O_2) tidak akan terdeposisi pada katoda, karena mempunyai muatan yang sama. Plasma lucutan pijar korona mampu mengakibatkan terjadi ionisasi primer dan menghasilkan ion, maka plasma lucutan pijar korona dapat dikatakan sebagai sumber ion (Spryout,1994).

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)

2.5.2. Proses Pendeposisian ion

Elektron-elektron yang bergerak menuju anoda akan menumbuk atom atau partikel diantara celah elektroda dan mengakibatkan atom menjadi ion bermuatan positif. Karena medan listrik yang cukup kuat antar elektroda, ion nitrogen akan dipercepat bergerak menuju katoda. Pergerakan ion ini mengalir melalui daerah aliran (*Drift Region*).

Pada plasma lucutan pijar korona positif, elektroda titik (*point*) diberi beda potensial positif dan elektroda bidang (*Plane*) diberi potensial negatif, oleh karena itu substrat yang akan dideposisi ion nitrogen diletakkan pada katoda. Proses pendeposisian ion diperlihatkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Skema pendeposisian ion

Ion nitrogen masuk kedalam substrat secara difusi akan mengakibatkan terjadi perubahan struktur atom sasaran. Mekanisme difusi ion dapat dengan insterstisi maupun dengan substitusi yang dipengaruhi oleh struktur atom substrat dan ion yang terdefusi. Perubahan struktur ini disebut kerusakan radiasi, kerusakan atau cacat pada substrat dapat berbentuk kekosongan (*vacancy*) yang disebabkan

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)

atom substrat bergeser dari kedudukannya semula. Ion nitrogen dapat menempati kekosongan yang terjadi dan dapat juga berada diantara kisi-kisi atom (Konuma,1991). Apabila ion yang terdeposisi pada substrat adalah ion nitrogen, maka ion nitrogen akan dapat bereaksi dengan atom-atom substrat membentuk lapisan tipis nitrid pada permukaan yang dapat meningkatkan kekerasan.

2.6. Baja Karbon

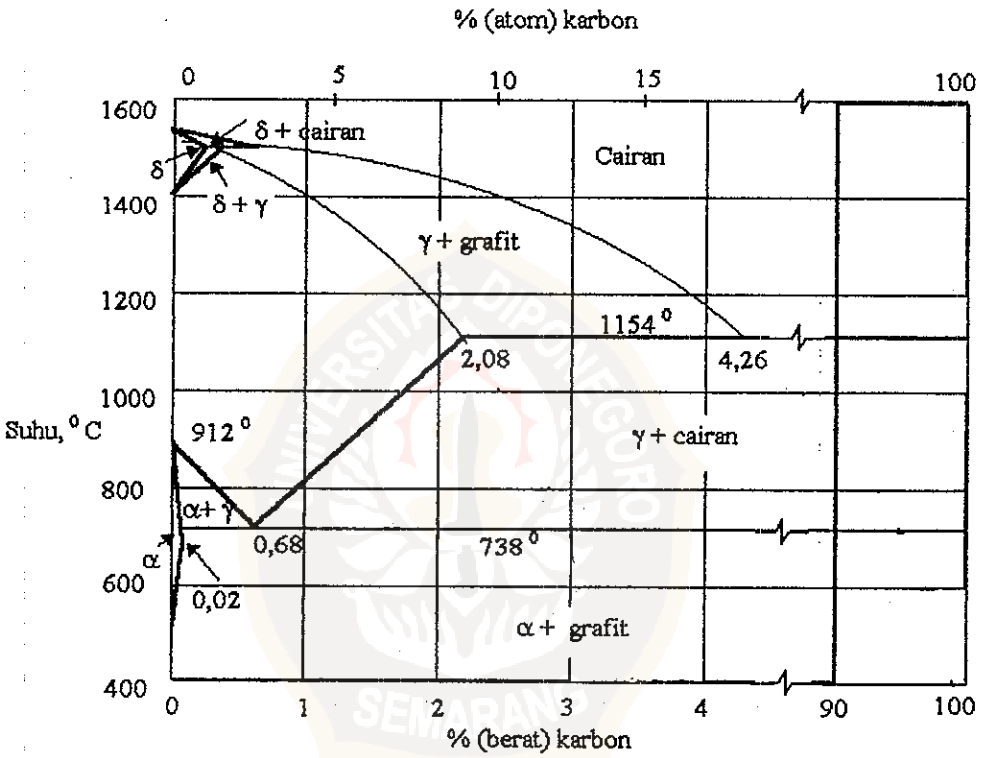
Baja merupakan paduan besi sebagai unsur pokok dan karbon sebagai unsur tambahan. Jenis baja biasanya diklasifikasikan berdasarkan kandungan karbon dalam baja tersebut. Dari kadar karbon yang larut dalam besi ini biasanya yang menjadi acuan untuk mengetahui karakteristik atau sifat-siaf mekanik dari baja dan digunakan sebagai pedoman dalam mengubah sifat-sifat baja tersebut . Semakin tinggi kadar karbon semakin tinggi tingkat kekerasannya. Klasifikasi baja dibagi tiga, yaitu :

1. Baja karbon rendah (< 0,3% C)
2. Baja karbon medium (0,3% - 0,7 % C)
3. Baja Karbon tinggi (0,7% - 1,7% C)

Klasifikan diatas menggambarkan persen (%) berat karbon, diagram fasa Fe-C diperlihatkan pada gambar 2.8. Pada suhu rendah (kamar) besi mempunyai struktur kristal kubik pemusatan ruang (BCC) dan disebut besi-α atau ferit. Karena ferit mempunyai struktur kubik pemusatan ruang, sehingga ruangan antar atom kecil dan pepat, maka sulit untuk menampung atom karbon dalam jumlah yang banyak. Besi-α atau ferit mempunyai kelarutan maksimum karbon sebesar 0,05%.

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)

Besi-α bila dipanaskan sampai suhu sekitar 910^{0}C struktur kristalnya berubah menjadi kubik pemusatan sisi (FCC) dan akan kembali menjadi kubik pemusatan ruang pada suhu dibawah titik cairnya (1538^0 C) sekitar 1394^0 C. Pada suhu 910^{0}C yang mempunyai struktur kristal kubik pemusatan sisi (FCC) disebut besi-γ atau austenit dan daya kelarutan maksimum karbon sekitar 2%.



Gambar 2.8. Diagram fasa besi - karbon (Fe-C)

Karbon akan mudah larut dalam besi cair, sehingga untuk besi yang kandungan karbon melebihi 2% disebut sementit dan mempunyai kekerasan tinggi, tetapi getas. Atom karbon mempunyai ukuran sangat kecil dibandingkan dengan atom besi, sehingga karbon akan membentuk larutan padat interstisi dengan besi, yaitu karbon menempati ruangan antar atom besi.

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)

2.7. Kekerasan

Kekerasan merupakan ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi tekan. Sebuah indentor (penekan) yang keras ditekankan pada permukaan bahan yang diuji. Kekerasan berkaitan dengan deformasi plastis. Ada beberapa cara untuk mengukur kekerasan bahan, seperti: kekerasan gores yang tergantung pada kemampuan gores bahan satu terhadap bahan lain (intan). Selain itu dikenal pula kekerasan pantul (dinamis) yaitu mencakup deformasi dari permukaan yang dinyatakan dalam jumlah energi impak yang diserap permukaan bahan saat benda penekan jatuh. Cara pengukuran kekerasan yang lain dan sering digunakan adalah dengan indentasi (Dieter,1993). Pengukuran kekerasan dengan indentasi (penekanan) ada beberapa macam antara lain: kekerasan Brinell, kekerasan Vickers dan kekerasan Rockwell. Ketiga metode pengukuran kekerasan tersebut mempunyai standart atau skala tabel masing-masing dan dapat saling dikonversikan. Hasil pengukuran kekerasaan Brinel dapat dikonversikan dengan nilai kekerasan Vickers dan Rockwell, demikian juga sebaliknya. Karena uji kekerasan tidak mendefinisikan sifat-sifat bahan secara baik dan karena semua pengujian tidak didasarkan pada tipe pengukuran yang sama. Untuk alat uji kekerasan mikro (knoop) dapat langsung dilihat pada tampilan digital pada alat sesuai dengan tipe kekerasan yang dikendaki.

Perbedaan pokok dari uji kekerasan dengan metode indentasi adalah terletak pada bentuk indentor (penekan) yang ditekankan pada bahan yang akan diuji. Uji kekerasan Brinell menggunakan indentor berbentuk bola baja yang dikeraskan.

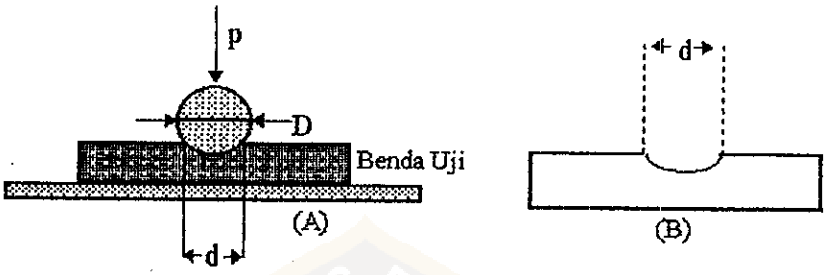
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep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

Bilangan kekerasan Brinell (BHN) dapat ditentukan dengan persamaaan:

$$BHN = \frac{p}{\frac{1}{2}\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}} \qquad (2.6)$$

Dengan : p adalah beban yang diterapkan (Kg), D adalah diameter bola (mm), d adalah diameter lekukan (jejak penekanan) (mm)

Untuk lebih jelas asas pengukuran kekerasan Brinell diperlihatkan gambar 2.9.

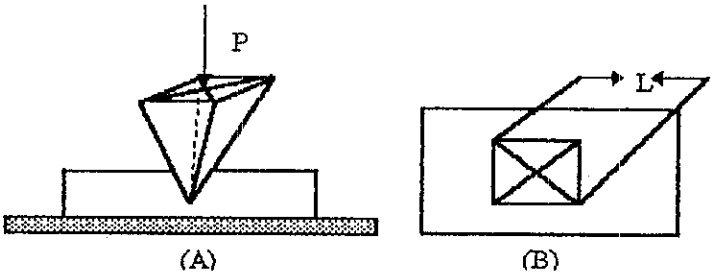


Gambar 2.9. (A)Sketsa uji kekerasan Brinnel, (B) Jejak Indentor

Uji kekerasan Vickers indentor yang digunakan berbentuk piramida intan bersudut 136^0 dengan dasar berbentuk bujur sangkar. Angka kekerasan Vickers (VHN) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$VHN = \frac{1,854P}{L^2} \qquad (2.7)$$

Dengan : P adalah beban yang diterapkan (Kg), L adalah diagonal indentasi jejak (mm). Asas pengukuran kekerasan Vickers diperlihatkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. (A)Sketsa uji kekerasan Vickers, (B) Jejak Indentor

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)

Angka kekerasan Rockwell dapat ditentukan dengan melihat langsung pada alat pengukurnya. Uji kekerasan Rockwell menggunakan indentor berbentuk kerucut intan yang mempunyai sudut 120^0 dengan ujung yang agak bulat.

Urutan prosedur pengujian kekerasan dengan metode indentasi adalah sebagai berikut: indentor didekatkan pada permukaan logam yang akan diukur kekerasannya, kemudian ditekan dengan beban tertentu untuk waktu tertentu (10 detik) lalu beban ditiadakan dan indentor diangkat. Setelah itu jejak penekanan diukur dengan teliti menggunakan mikroskop. Benda yang diuji permukaannya harus halus dan bebas dari debu dan kerak hal ini untuk memeperkecil kesalahan hasil pengukuran.

2.8. Uji Kekerasan Mikro

Metode pengukuran kekerasan di atas kurang baik untuk mengukur kekerassan permukaan yang tipis misal hasil nitridasi atau karbonasi. Untuk menguji lapisan tipis diperlukan uji kekerasan mikro, yaitu uji kekerasan Knoop. Uji kekerasan knoop ini mampu mengukur kekerasan lapisan tipis yang lebih baik dibandingkan uji kekerasan yang disebutkan diatas. Alat uji kekerasan mikro (knoop) diperlihatkan pada gambar 3.5, dengan alat ini nilai kekerasan knoop dapat langsung dikonversikan untuk nilai kekerasan Vickers dan kekerasan Brinell.

Penumbuk atau indentor knoop adalah intan kasar yang dibentuk menjadi piramida sedemikian sehingga dihasilkan lekukan bentuk intan dengan perbandingan diagonal panjang dan pendek adalah 7:1. Angka kekerasan Knoop (KHN) adalah

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)

beban dibagi luas proyeksi lekukan yang tak kembali kebentuk semula, diberikan persamaan :

$$KHN = \frac{P}{A_p} = \frac{P}{L^2C} = \frac{14{,}23P}{L^2} \qquad (2.8)$$

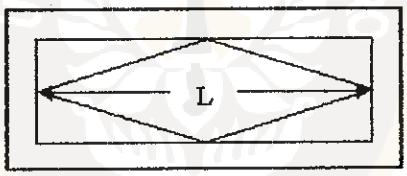
Dengan : P adalah beban yang diterapakan (Kg)

A_p adalah luas proyeksi lekukan yang tak pulih (mm^2)

L adalah panjang diagonal yang lebih panjang (mm)

C adalah Konstanta untuk setiap penumbuk (sudah ditentukan

Kelebihan dari uji kekerasan Knoop ini adalah dapat membuat lekukan yang lebih rapat dibandingkan dengan lekukan Vickers. Keuntungan lain adalah untuk diagonal yang panjang, luas dan kedalaman kekuatan knoop hanya 15% dari luas lekukan Vickers untuk panjang diagonal yang sama, hal ini berguna untuk pengukuran lapisan tipis dan dapat mengukur kekerasan bahan yang getas.



Gambar 2.11. Jejak indentor uji kekerasan Knoop

Meskipun berbeda bentuk indentornya, tetapi pada dasarnya bilangan kekerasaan menggambarkan perbandingan antara beban dan luas jejak pada permukaan.

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)