

Perencanaan dan  
Mesin", Pradnya

s/2-2-3-3-strength  
s.html (diakses  
2/01/2008).

e of Materials in  
John Wiley & Sons,

en Mesin Jilid I",

C., "A model of the  
sion efficiency of a  
Proc. Instn Mech.  
chanical Engineering  
5-394.

of Lubrication and  
in Machine Design",  
n, Oxford.

Pemilik", PT. Astra

## PENGARUH TEKNOLOGI SISTEM PLASMA LUCUTAN PIJAR TERHADAP TINGKAT Pengerasan Permukaan Logam

B. Setiyana<sup>\*)</sup>

### Abstrak

Permukaan material logam yang keras dan tahan aus, dan didukung oleh inti yang ulet serta tahan akan pembebanan statis maupun pembebanan dinamis, sangat diperlukan dalam industri pada masa sekarang ini. Sifat – sifat mekanik yang berbeda tersebut, dapat digabungkan dalam suatu material logam dengan jalan proses perlakuan pengerasan permukaan logam, yang antara lain : karburasi, nitridasi, flame hardening, induksi dan yang paling baru dan sekarang ini banyak sekali dikembangkan adalah pengerasan dengan Sistem Plasma. Sistem pengerasan permukaan pada material yang berbahan dasar logam dengan menggunakan plasma, mempunyai metode prinsip pendeposisian atom – atom, antara lain salah satunya adalah pendeposisian atom karbon atau atom nitrogen pada permukaan logam, sehingga dapat terbentuk persenyawaan Fe – C atau Fe – N yang bersifat sangat keras pada permukaan logam.

**Kata kunci :** plasma, pengerasan permukaan

### Konsep Dasar Plasma

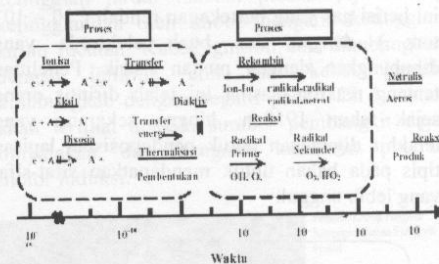
Konsep tentang plasma pertama kali dikemukakan oleh Irving Langmuir dan Tonks pada tahun 1928 saat mempelajari peristiwa lucutan gas. Mereka mendefinisikan plasma, sebagai gas terionisasi yang mempunyai sifat fisis tersendiri seperti halnya benda padat, cair dan gas dalam lucutan listrik.

Jika energi ( temperatur ) suatu gas dinaikkan sehingga memungkinkan atom –atom gas terionisasi, maka gas akan melepaskan elektron – elektronnya yang pada keadaan normal mengelilingi inti. 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 kita sebut **fase plasma**. Jadi, secara sederhana plasma dapat didefinisikan sebagai gas terionisasi dan dikenal sebagai **materi fase keempat** setelah fase padat, fase cair dan fase gas.

Dalam fase plasma terdapat kesetimbangan termodinamika jika gas terionisasi total. Ionisasi dalam gas terjadi akibat antara lain : dari tumbukan antar molekul gas netral, tumbukan antara elektron dengan gas netral, dan juga tumbukan antara ion dengan gas netral. Keadaan kesetimbangan termodinamik tersebut dapat terjadi pada kondisi temperatur tinggi ( diatas 5000 °K ). Dalam laboratorium sering ditemui

plasma tidak dalam kesetimbangan termodinamik ( *non-equilibrium plasma* ).

Ketika medan listrik di kenakan pada gas, elektron *energetic* akan mentransferkan energinya pada gas molekul melalui proses tumbukan, eksitasi molekul, tangkapan elektron, disosiasi, dan ionisasi seperti tampak pada gambar 1. Plasma terjadi ketika terbentuk percampuran kuasinetral dari elektron, radikal, ion positif dan negatif.



Gambar 1. Proses elementer pada plasma Non – thermik dalam skala waktu.

Meskipun plasma merupakan gas yang terionisasi ( proses terlepasnya elektron suatu partikel gas dari ikatannya ), tetapi tidak semua gas yang terionisasi dinamakan plasma. Hal ini karena harus dapat memenuhi beberapa syarat antara lain :

- \* Suhu elektron :  $1^{-5}$  eV
- \* Suhu ion :  $10^{-2}$  eV
- \* Kerapatan elektron :  $10^8 - 10^{10} / \text{cm}^3$

Diperkirakan jagad raya ini tersusun hampir 99% plasma. Plasma ini terbentuk dari proses ionisasi gas melalui lucutan listrik dalam tabung reaktor plasma gas bertekanan rendah, pemanasan laser, pemanasan biasa, medan osilator radio frekuensi ( RF ), sumber arus searah, atau medan gelombang mikro. Ion – ion dan elektron ini pada suatu daerah dan kondisi tertentu akan memiliki jumlah muatan yang kurang lebih seimbang, kondisi yang demikian ini dinamakan **plasma**.

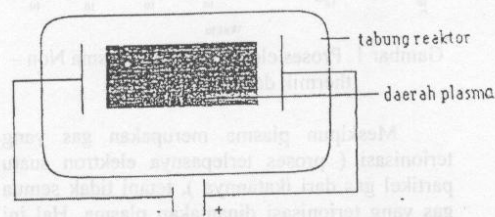
Berdasarkan ionisasinya plasma dapat dibedakan menjadi dua, yaitu terionisasi lemah apabila derajat ionisasinya kurang dari  $10^{-4}$  dan terionisasi kuat apabila derajat ionisasinya melebihi  $10^{-4}$ . Derajat ionisasi ini disimbolkan sebagai  $\delta$  dan didefinisikan.

$$\delta = \frac{n_+}{n} = \frac{n_-}{n}$$

dimana  $n_+$  = banyak ion positif  
 $n_-$  = banyak ion negatif  
 $n$  = banyak zarah awal

#### Pembentukan Plasma

Untuk menghasilkan plasma didalam laboratorium diperlukan suatu tabung reaktor plasma lucutan. Didalam tabung reaktor plasma ini berisi gas yang bertekanan rendah (  $10 - 10^{-3}$  torr ) dengan dua buah elektroda yang dihubungkan dengan medan listrik. Penelitian tentang reaktor plasma ini telah dirintis orang sejak tahun 1950an, hingga sekarang yang terakhir digunakan untuk pendeposisian lapisan tipis pada bahan untuk mendapatkan sifat-sifat yang lebih unggul.



Gambar 2. Reaktor plasma dengan sumber medan listrik DC.

Pada gambar 2, jika elektroda dalam tabung reaktor plasma reaktor plasma diberikan tegangan sebesar V volt, akan terjadi distribusi tegangan didalam ruang antara katoda dan anoda. Setelah terjadi ionisasi elektron lebih banyak terkumpul pada elektroda positif, sedangkan ion positif banyak terdapat pada ruang katoda dan anoda. Terbentuknya plasma didalam tabung reaktor plasma reaktor plasma dipengaruhi oleh parameter – parameter dalam sistem tabung ( reaktor ) seperti tekanan, jarak antar elektroda, sumber daya ( catu daya ) dan beda tegangan.

#### Pengerasan Logam dengan Sistem Plasma

Perkembangan perindustrian yang maju pada dewasa ini, membutuhkan material – material berkualitas baik, khususnya yang berbahan dasar logam. Sifat – sifat mekanik material logam seperti : kekerasan, kekuatan, keuletan, dan tahan akan korosi dan keausan akan selalu berhubungan dengan struktur mikro pada material tersebut. Ini mendorong perlunya penelitian serta pengembangan teknologi, akan perubahan sifat struktur mikro logam, pada material yang berbahan dasar logam. Sehingga akan dapat diperoleh sifat mekanik material logam yang unggul daripada material logam biasa, yang belum mengalami perlakuan sama sekali. Oleh karena itu, pengembangan teknologi untuk mengubah dan memperbaiki sifat mekanik logam mutlak harus selalu dikembangkan. Apabila keuletan pada suatu material meningkat, maka yang terjadi adalah kekuatan dan kekerasan akan menurun.

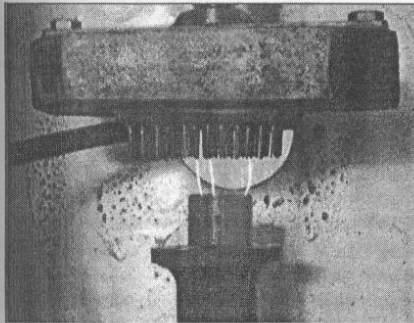
Teknik pendeposisian yang umum digunakan dalam pengerasan pada permukaan material yang berbahan dasar logam, adalah dengan **lucutan pijar**. Salah satu cara pembangkitan plasma dapat dilakukan melalui lucutan listrik. Plasma yang terbentuk dalam lucutan listrik dikenal dengan **plasma lucutan pijar**.

ika elektroda dalam reaktor plasma diberi akan terjadi distribusi antara katoda dan anoda. elektron lebih banyak positif, sedangkan ion- pada ruang katoda dan ma didalam tabung sma dipengaruhi oleh alam sistem tabung jarak antar elektroda, in beda tegangan.

### Sistem Plasma

ustrian yang maju utuhkan material - , khususnya yang at - sifat mekanik ekerasan, kekuatan, osi dan keausan akan struktur mikro pada endorong perlunya an teknologi, akan mikro logam, pada ar logam. Sehingga mekanik material da material logam mi perlakuan sama a, pengembangan dan memperbaiki tlak harus selalu letan pada suatu ang terjadi adalah menurun.

yang umum pada permukaan ar logam, adalah Salah satu cara dilakukan melalui terbentuk dalam plasma lucutan



Gambar 3. Plasma Lucutan Pijar

Proses pada plasma lucutan pijar adalah suatu keadaan dimana penempatan material benda kerja yang berada diantara elektroda bertegangan tinggi ( katoda ) dan elektroda netral ( anoda ) didalam tabung lucutan arus listrik yang bersumber dari sebuah sumber pembangkit daya arus listrik. Pembangkitan plasma lucutan pijar dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan tinggi ac.

Plasma lucutan pijar dibangkitkan pada ruang antar elektroda kawat - permukaan benda kerja yang berisi udara bebas pada tekanan atmosfer. Peristiwa pelucutan listrik ini disebabkan oleh atom - atom gas yang berada diantara kedua elektroda tersebut yang mendapatkan energi listrik, sehingga atom-atom gas yang terdapat tepat terlewati ataupun disekitar lucutan pijar akan terionisasi. Atom - atom gas yang terionisasi akan melepaskan elektronnya, dan atom yang kehilangan elektron akan menjadi ion - ion yang bermuatan positif. Plasma merupakan kondisi ketika gas terisi oleh partikel bermuatan dengan energi potensial antar partikelnya lebih kecil dibandingkan dengan energi kinetik partikel - partikel yang terdapat dalam gas tersebut.

Plasma yang bersifat gas pada umumnya adalah pencampuran antara ion - ion bermuatan positif dengan elektron - elektron bermuatan negatif yang pada sarananya keseluruhannya bermuatan hampir netral. Ion - ion bermuatan positif dipercepat menuju anoda oleh medan listrik. Ionisasi terjadi disebabkan, oleh adanya tumbukan antara elektron - elektron yang terlepas dari katoda menuju anoda dengan atom - atom gas yang berada diantara kedua elektroda, sehingga plasma lucutan pijar dapat dianggap sebagai sumber ion. Apabila suatu logam

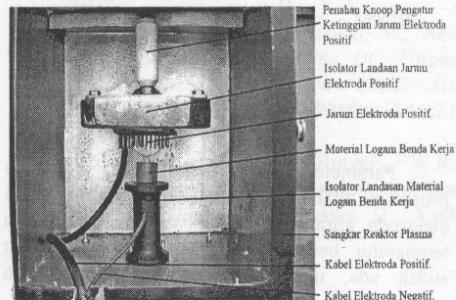
diletakkan pada anoda, maka ion - ion akan terdposisi pada logam tersebut sehingga dapat meningkatkan kekerasan permukaan logam.

### Reaktor Plasma

Atas pengetahuan dasar diatas, maka diperlukannya sebuah alat yang dapat memenuhi proses pengerasan permukaan pada material logam, dengan jalan lucutan pijar yang aman digunakan dan mudah dalam perkitan serta penggunaannya. Alat dimana proses pengerasan pada permukaan material logam dengan plasma lucutan pijar tersebut disebut dengan reaktor plasma model terbuka. Disebut dengan reaktor plasma model terbuka, karena pada salah satu alat yang disebut dengan unit reaktor, tidak dalam keadaan hampa udara ( vakum ) dan tidak diinjeksikan gas *inert* tertentu, melainkan dalam keadaan terbuka, dan bebas dari sirkulasi udara luar.

Sumber dari lucutan arus listrik yang berada didalam reaktor tersebut bersumber dari sebuah alat sumber pembangkit daya yang didalamnya terdiri dari rangkaian komponen listrik, sehingga dapat menghasilkan daya listrik yang relatif besar, sehingga proses pengerasan permukaan pada material logam dapat dilaksanakan dalam waktu yang relatif lebih singkat.

Material benda kerja diletakkan diatas isolator landasan benda kerja. Kemudian ketinggian jarum lucutan plasma pijar diatur ketinggiannya oleh knoop pengatur ketinggian jarum lucutan. Kabel ignition coil dihubungkan dengan ignition coil dan kebel negatif dihubungkan dengan negatif pada CDI. Lucutan akan terlihat apabila sumber pembangkit daya dinyalakan, dan mengatur kecepatan putaran motor induksi.



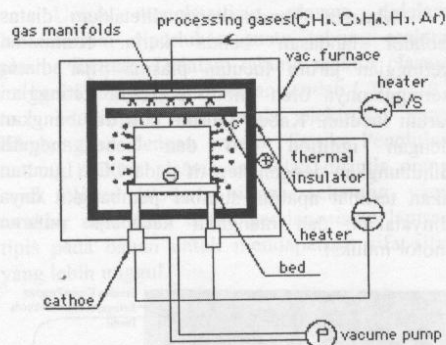


Gambar 4. Reaktor Plasma Terbuka

Prinsip dari metode ini adalah proses pendeposisian atom – atom unsur tertentu (karbon atau nitrogen) dalam fase plasma ke dalam permukaan suatu logam. Berdasarkan unsur yang terdeporsi, maka metode ini dibedakan menjadi:

#### Plasma Carburizing

Prinsip dari metode ini adalah, masuknya atom – atom gas terionisasi (plasma) ke dalam material karena adanya pengaruh medan yang diionisasikan berasal dari gas alam hidrokarbon seperti  $\text{CH}_4$  atau  $\text{C}_2\text{H}_6$ . Gas tersebut dialirkan ke dalam tabung lucutan ( kondisi vakum orde  $10^{-2}$  Torr ), dimana komponen / material yang akan dikeraskan diletakkan pada elektroda bawah ( katoda ) dalam tabung tersebut. Karena adanya beda potensial yang terpasang di antara 2 elektroda ( orde 1 – 3 keV ), maka gas – gas karbon akan terionisasi. Ion – ion karbon tersebut karena adanya pengaruh medan listrik akan menumbuk permukaan material tersebut. Adanya sifat yang lebih unggul (keras dan ulet) disebabkan karena adanya perubahan struktur kristal maupun mikro dalam bahan logam akibat adanya pemanasan suhu, kekosongan, interstisial, ketidakmurnian maupun terbentuknya fasa baru.



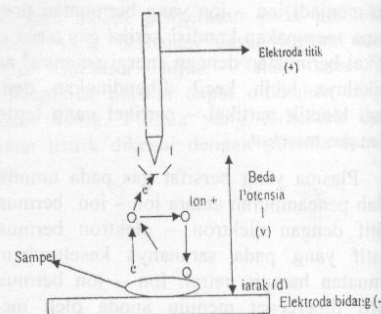
Gambar 5. Proses Plasma Carburizing

Parameter yang berpengaruh terhadap proses ini adalah jarak antar elektroda, tegangan elektroda, aliran gas, kondisi vakum, waktu, dan temperatur benda kerja. Dari penelitian yang sudah ada, metode ini dapat meningkatkan

kekerasan permukaan logam ferro hingga 100 % - 200 %.

#### Plasma Nitriding

Merupakan salah satu proses perlakuan pengerasan permukaan pada logam dengan cara pendeposisian atom – atom nitrogen dalam bentuk plasma ke dalam permukaan logam tersebut, sehingga akan terbentuk senyawa Fe – N yang sangat keras. Proses pengionisasian atom – atom nitrogen dapat dilakukan dengan memanfaatkan loncatan elektron yang keluar dari dua buah elektroda yang diberi beda potensial yang tinggi. Elektron – elektron yang bergerak dari katoda menuju anoda akan menumbuk atom atau partikel diantara celah elektroda dan mengakibatkan atom mengalami ionisasi. Pada plasma lucutan pijar korona ini, elektroda titik ( jarum ) diberi beda potensial positif, sedangkan elektroda bidang (spesimen pengerasan) diberi beda potensial negatif. Ion nitrogen akan masuk ke dalam substrat secara difusi dan akan mengakibatkan perubahan struktur atom sasaran. Mekanisme difusi ion dapat dengan substitusi maupun *interstisi* yang dipengaruhi oleh struktur atom substrat dan ion yang terdifusi. Ionisasi adalah proses terlepasnya elektron suatu atom dari lintasannya. Atom yang ditinggalkan elektronnya disebut ion dan bermuatan positif. Energi minimum yang dibutuhkan untuk melepaskan satu atau lebih elektron dari sebuah atom disebut energi ionisasi (eV). Untuk dapat terjadi proses ionisasi, energi elektron yang bergerak tersebut harus lebih besar atau sama dengan energi ionisasi atom gas atau  $m_e \cdot V_e \geq eV$



Gambar 6. Proses pendeposisian ion pada plasma nitriding

n ferro hingga 100 %

tu proses perlakuan logam dengan cara om nitrogen dalam permukaan logam untuk senyawa Fe – pengionisasian atom dilakukan dengan ron yang keluar dari beri beda potensial tron yang bergerak an menumbuk atom ah elektroda dan ami ionisasi. Pada ni, elektroda titik ( positif, sedangkan engerasan ) diberi rogen akan masuk difusi dan akan ktur atom sasaran. dengan substitusi ruhi oleh struktur terdifusi. Ionisasi ktron suatu atom ng ditinggalkan ermuatan positif. butuhkan untuk ktron dari sebuah V). Untuk dapat i elektron yang besar atau sama atau  $m_e$ .  $V_e \geq eV$

elektroda titik (+)

Elektroda bidang (-)

on pada plasma

Sebenarnya, diantara celah elektroda tidak hanya terjadi ionisasi saja, tetapi juga proses – proses yang lain seperti eksitasi, deeksitasi, rekombinasi, maupun disosiasi. Dan bila dalam udara bebas terdapat atom atau partikel elektronegatif ( misalnya  $O_2$  ) maka molekul ini akan mudah menangkap elektron sehingga bermuatan negatif sehingga akan dipercepat menuju katoda. Dari penelitian yang sudah ada, metode ini dapat meningkatkan kekerasan permukaan logam ferro hingga 150 % - 300 %.

Proses pembentukan lapisan tipis yang keras pada permukaan logam, seperti pada baja karbon rendah dan baja karbon menengah terjadi akibat masuknya ion – ion positif ke permukaan logam. Adanya partikel – partikel gas hasil reaksi (*plasma Species* ) yang bermuatan positif tersebut berupa  $N^+$  dan atau  $N_2^+$  terjadi karena, adanya peristiwa tumbukan elektron bebas dengan partikel – partikel gas.

Peristiwa tumbukan plasma spesies yang bermuatan positif dengan permukaan logam menyebabkan atom – atom yang terdapat pada permukaan logam terlepas. Atom – atom yang terdapat pada permukaan logam tersebut akan berekombinasi dengan atom-atom gas nitrogen hasil peristiwa disosiasi dari tumbukan dengan elektron – elektron bebas dan membentuk ikatan molekul nitrida. Molekul nitrida akan terdposisi ke permukaan logam dan membentuk lapisan tipis nitrida. Karena pada permukaan terdapat beribu – ribu kekosongan, maka dengan tenaga adsorpsi tertentu, senyawa nitrida yang terdposisi pada permukaan logam tersebut akan terkait kuat ke dalam permukaan logam. Dengan suhu yang diberikan, maka senyawa – senyawa nitrida ini akan terdifusi ke dalam logam, dan mengisi celah – celah atau menempati posisi – posisi kekosongan yang ada.

Proses pendeposisian senyawa atau molekul – molekul nitrida ke dalam logam tergantung pada suhu logam. Dengan naiknya suhu, maka atom – atom logam akan bergetar, dan menimbulkan jarak antar atom yang lebih besar, dan akan memungkinkan molekul – molekul nitrida masuk lebih dalam diantara celah – celah atom atau menempati posisi kekosongan yang ada. Hal ini akan menyebabkan molekul – molekul nitrida terikat semakin kuat, sehingga lapisan tipis yang terbentuk akan memiliki karakteristik lapisan yang baik.

Atom – atom suatu bahan berada dalam keadaan diam atau tidak bergerak, apabila berada pada suhu  $0^\circ K$  (  $-273^\circ C$  ). Pada keadaan seperti ini, atom – atom menduduki keadaan dengan energi yang terendah diantara tetangga – tetangganya. Bila suhu naik, energipun akan meningkat yang menyebabkan atom – atom tersebut bergetar, dan menimbulkan jarak antar atom yang lebih besar yang akan memungkinkan atom –atom yang memiliki energi lebih tinggi bergerak mendobrak ikatannya dan melompat ke posisi baru. Proses pergerakan atom yang seperti ini disebut **difusi**.

#### Daftar Pustaka

- Ahmed N.A.G., *Ion Plating Technology Developments and Application*. John Wiley & Sons, Inc.
- Bonggas L. Tobing, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- Callister, William D. Jr. *Material Science and Engineering. Fourth Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- K. Palaniradja, N. Alagumurthi, V. Soundararajan, *Optimization of Process Variables in Gas Carburizing Process*. Department of Mechanical Engineering, Pondicherry Engineering College Pondicherry-INDIA, 2004.
- Konuma, M, *Film Deposition by Plasma Techniques*. Springer Verlag, Berlin, 2000.
- Malvino, Albert Paul, PH.D., E.E, *Prinsip - Prinsip Elektronika*, Salemba Teknika, 2003.
- Nicholson D.R, *Introduction of Plasma Theory*. John Wiley & Sons, Inc.
- Raizer, Y.P., *Gas Discharge Physics*, Springer-Verlag, Berlin, 1997.
- S. Gredelja, A.R. Gersona, S. Kumara, G.P. Cavallaro, *Applied Surface Science*, 199, 2002.
- Spyrout, N., Peruos, R., and Hield, B., *New Result on a Point-to-Plane DC Plasma Reactor in Low-Pressure Dried Air*, Journal Phys. D: Appl. Phys., Vol. 27, 1994.
- Veldhuizen, E.M. van, and Rutgers, W.R., *Corona Discharges : Fundamental and Diagnostics*, Journal Physics D: Appl. Phys., Vol 35, 2002.