

PENGERASAN PERMUKAAN BAJA KARBON MEDIUM DENGAN TEKNIK PLASMA LUCUTAN PIJAR

Subroto, Tjipto Sujitno

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju – BATAN

ABSTRAK

PENGERASAN PERMUKAAN BAJA KARBON MEDIUM DENGAN TEKNIK PLASMA LUCUTAN PIJAR. Dalam teknik ini parameter-parameter yang berpengaruh adalah, suhu, waktu, tekanan operasi, daya radio frekuensi, jarak electrode, tegangan antara elektroda dan jenis benda kerja. Dengan pengaturan parameter-parameter tersebut dapat diperoleh kondisi kerapatan plasma yang optimum. Untuk menguji keberhasilan proses dilakukan uji keras menggunakan Knoop Microhardness Tester model MTX70, Matsuzawa Seiko, Co. Ltd. Tokyo. Pengamatan struktur mikro dan ketebalan lapisan keras menggunakan mikroskop optik BX 60 M merk Olympus buatan Japan. Proses pengerasan permukaan menggunakan teknik plasma lucutan pijar adalah sebagai berikut, ion Nitrogen (N^{++}) dalam tabung reaktor plasma oleh medan listrik dipercepat menuju substrat dan terjadi difusi membentuk lapisan keras. Dalam penelitian pertama, parameter waktu diambil 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit dan 180 menit pada suhu 250 °C dan parameter lain dibuat tetap, yaitu tekanan vakum 0,5 torr, daya radio frekuensi 40 watt, frekuensi radio 13,56 MHz., jarak benda kerja terhadap anoda 40 mm tekanan aliran gas 2 kgf/cm² dan tegangan anoda 1,5 kV dan penelitian berikutnya parameter suhu divariasikan pada , 200 °C, 250 °C, 300 °C, 350 °C dan 400 °C, dengan waktu tetap yaitu 150 menit dan parameter yang lain juga dibuat tetap sebagaimana percobaan pertama. Kekerasan baja karbon AISI 1045 sebelum proses adalah 85,3 KHN dan dari hasil pengujian diperoleh bahwa untuk variasi waktu dengan suhu operasi 250 °C kekerasan optimum sebesar 215 KHN, dicapai pada waktu 150 menit, dengan demikian terjadi peningkatan kekerasan sebesar 252,9%. Sedangkan untuk variasi suhu dengan waktu 150 menit, kekerasan optimum sebesar 399 KHN, dicapai pada suhu 350 °C, dengan demikian terjadi peningkatan kekerasan sebesar 469,4%. Dari pengamatan struktur mikro, untuk substrat dengan kekerasan 215 KHN diperoleh ketebalan lapisan keras sekitar 1,6 μ m, sedang untuk substrat dengan kekerasan 399 KHN ketebalan lapisan kerasnya sekitar 2 μ m.

Kata kunci : Plasma lucutan pijar, Kekerasan.

ABSTRACT

SURFACE HARDENING OF MEDIUM CARBON STEEL USING GLOW DISCHARGE PLASMA TECHNIQUE. In this technique, parameters determining the results are kinds of ions, temperature, time, operation pressure, the power of radio frequency, electrode distance and kinds of targets. By controlling the parameters of instrument, it can be achieved the optimum conditions of the process parameters. The effect of process were tested its hardness using Knoop Microhardness Tester, MTX70, Matsuzawa Seiko, Co. Ltd., Tokyo, its microstructure and hard layer thickness using optical microscope type BX 60 M merk Olympus made in Japan. Surface hardening process using glow discharge plasma is firstly, the nitrogen atom are ionized in reactor plasma tube, accelerated in magnetic field and then bombarded into target. And then, the nitrogen ion will diffuse into deeper location of the substrate to form a hard surface. In these experiments, for the first experiments, the time were varied such as 60, 90, 120, 150 and 180 minutes while the other parameters were kept constant such as P = 0.5 torr, the power of RF = 40 watt, frequency = 13.56 MHz, electrode distance = 40 mm, the pressure of gas = 2 kg/cm², the electrode voltage = 1.5 kV and the temperature of the substrate = 250 °C. For the second experiments, the temperature parameter was varied such as 200, 250, 300, 350 and 400 °C, while the other parameters were kept constant such as the time = 150 minute. From testing done, the hardness of base materials (AISI 1045) is 85,3 KHN and for time variation at temperature 250 °C, it can be achieved the optimum hardness in order of 215 KHN was achieved at t = 150 minute, so that there is an increasing hardness in order of 252.9% While for temperature variation at the time = 150 minute, it can be achieved the optimum hardness in order of 399 KHN was achieved at T = 350 °C, so that there is an increasing hardness in order of 469.4%. From microstructure observation, at hardness in order of 215 KHN, the hard layer thickness was 1.6 μ m, while at hardness in order of 399 KHN, the hard layer thickness was 2.0 μ m.

Key note : Glow discharge plasma, Hardness.

PENDAHULUAN

Baja karbon merupakan jenis logam yang banyak digunakan diberbagai bidang teknik terutama untuk keperluan industri, bidang konstruksi, pembuatan alat-alat perkakas dan lain-lain. Sifat-sifat yang ada pada baja karbon, antara lain; mempunyai sifat liat, kuat dan mudah diproses dengan permesinan. Namun demikian baja karbon juga mempunyai kelemahan yaitu mudah korosi, dan kekerasannya tergantung kadar karbonnya, bila kadar karbon rendah kekerasannya rendah dan bila kadar karbon tinggi kekerasannya tinggi tetapi getas^[1].

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, maka perlu dilakukan suatu rekayasa berupa perlakuan permukaan yaitu diantaranya dengan; *Flame hardening*, *Carburising*, *Carbonitriding* dan *Nitriding*^[1,2].

Disini dibahas tentang nitridasi ion dengan teknik plasma lucutan pijar pada baja karbon medium karena saat ini nitridasi ion dengan teknik plasma lucutan pijar dipandang sebagai metode modifikasi permukaan logam yang penting dan mempunyai kelebihan, diantaranya; kedalaman penetrasi permukaan dapat dikendalikan dengan pengaturan energi ion, dosis penetrasi dapat dikendalikan dengan mengubah besarnya aliran ion dan waktu nitridasi, proses nitridasi bersih karena dalam ruang tertutup, waktu prosesnya singkat serta tidak menyebabkan perubahan dimensi^[2,3,4].

Proses nitridasi ion pada logam dipengaruhi oleh tegangan elektroda, jarak elektroda, tekanan vakum, daya RF, kecepatan aliran ion nitrogen,

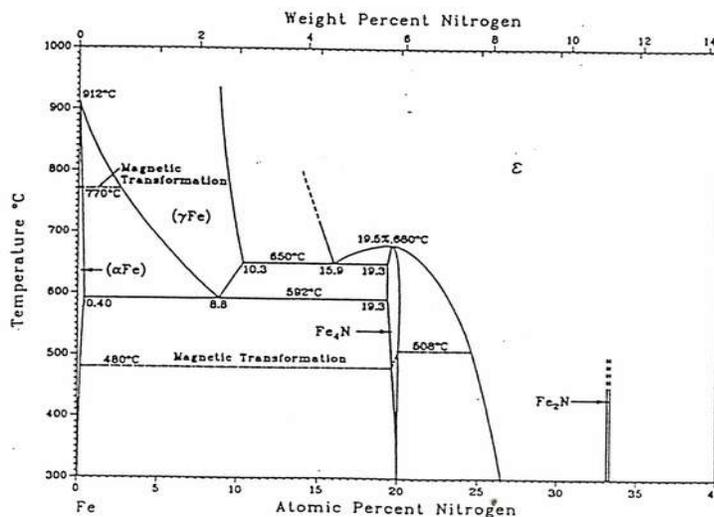
waktu dan suhu serta jenis material target. Penelitian ini ion nitrogen ini dikenakan pada bahan baja karbon medium. Aplikasi dari baja karbon ini adalah untuk poros, kopling, poros engkol, roda gigi, pasak dan lain-lain^[4].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu dan suhu nitridasi ion dengan teknik plasma lucutan pijar (*glow discharge*) terhadap kekerasan permukaan bahan baja karbon medium dan proses nitridasi ini diharapkan dapat diperoleh peningkatan kekerasan, tahan aus, stabil terhadap suhu tinggi, dan tahan korosi, sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan teknik dan industri, khususnya untuk pembuatan komponen-komponen mesin yang saling bergesekan terhadap komponen mesin yang lain.

LANDASAN TEORI

Proses Nitridasi

Nitridasi merupakan penambahan unsur nitrogen kedalam permukaan suatu bahan yang dapat dilakukan dengan cara thermal, implantasi ion atau plasma. Proses pembentukan lapisan tipis nitrida dimulai dengan pembentukan ion nitrogen yang bermuatan positif yang berupa N^+ atau N^{++} sebagai akibat tumbukan elektron-elektron dengan gas nitrogen pada lucutan pijar^[5]. Peristiwa tumbukan ion-ion atom nitrogen energi tinggi dengan permukaan material sasaran akan menyebabkan atom-atom pada permukaan tersebut bergeser atau berpindah tempat secara difusi.



Gambar 1. Diagram fasa Fe-N (ASM Handbook, 1978).

Selama proses nitridasi atom-atom nitrogen akan mengisi ruang kosong, diantara atom-atom target secara menyisip (*interstition*) dan juga berdifusi ketempat yang lebih dalam. Bila ruang-ruang kosong tersebut telah terisi penuh, maka kelebihan atom-atom nitrogen akan dipakai untuk membentuk senyawa baru sistem Fe-N. Jadi mekanisme pengerasan yang terjadi adalah larut padat interstisi dan pembentukan senyawa baru (Fe-N). Senyawa seperti Fe₃N, Fe₄N dan atau Fe₂N fasa baru ini memiliki sifat keras dan stabil pada temperatur tinggi^[5].

Plasma Lucutan Pijar (*Glow discharge*)

William Crookers pada tahun 1879 telah menemukan gejala fisika lucutan listrik dalam gas dengan percobaannya di dalam sebuah tabung lucutan gas. Plasma tersebut dikategorikan sebagai

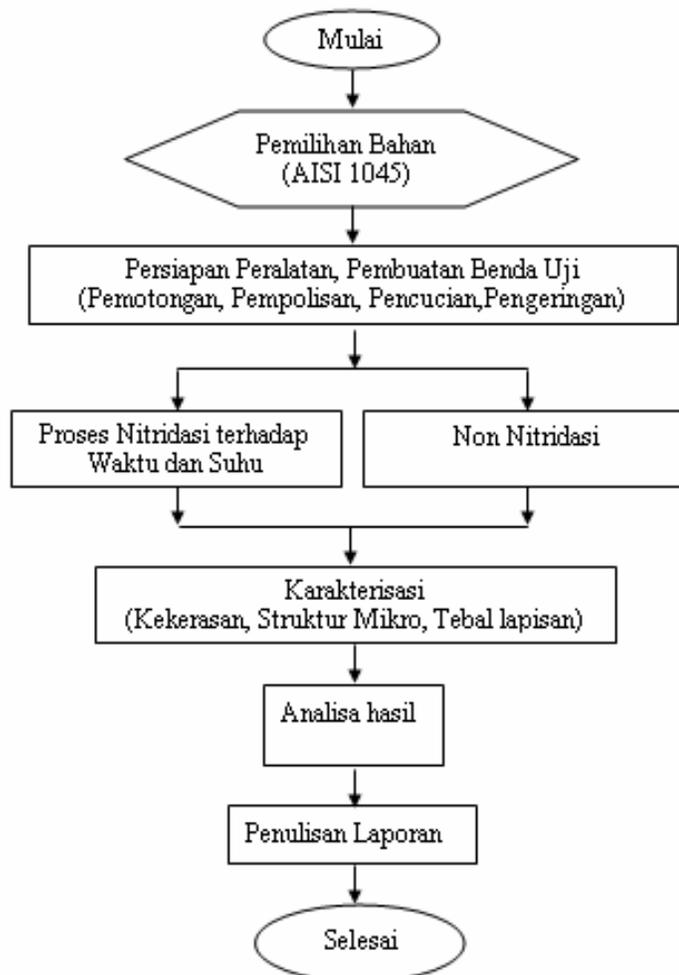
sifat bahan keempat setelah padat, cair dan gas. Penemuan tersebut terus dikembangkan hingga akhirnya peristiwa lucutan pijar gas tersebut dinamakan "plasma"^[6].

Teknik plasma merupakan cara untuk membuat lapisan tipis dengan menggunakan jenis lucutan pijar (*Glow discharge*) pada tekanan antara $10^3 - 10$ torr.

Terbentuknya plasma sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu aliran tekanan gas, temperatur substrat, tegangang elektroda, daya RF, frekuensi, waktu dan suhu yang digunakan selama proses perlakuan^[6].

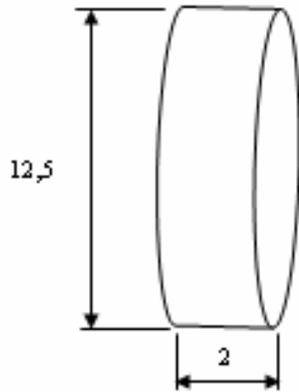
METODE PENELITIAN

Diagram Alir Proses Penelitian



Gambar 2. Diagram alir proses penelitian.

Penyiapan Benda Kerja



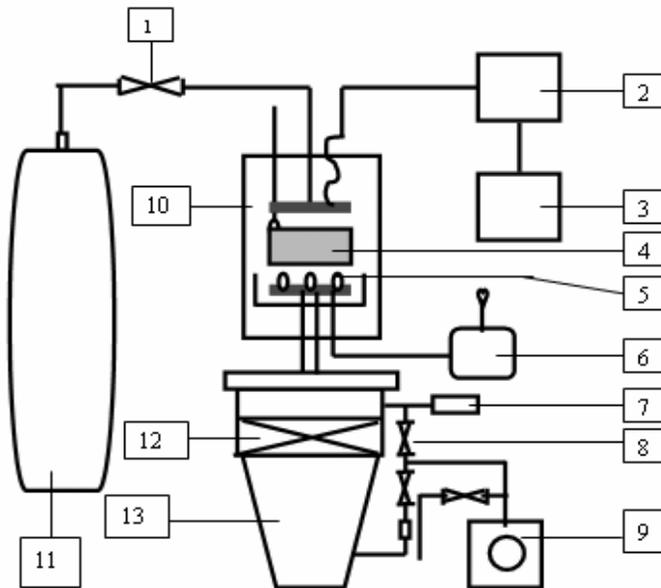
Gambar 3. Bentuk substrat yang diuji.

Bahan yang digunakan untuk nitridasi adalah bahan jenis AISI 1045 yang dipotong dengan mesin bubut dengan ukuran ketebalan 2 mm dan diameter 12,5 mm. Kemudian di haluskan dengan ampelas ukuran 200 sampai 2000 mesh dan dipoles dengan pasta intan atau autosol diatas permukaan kain bludru. Setelah menghasilkan permukaan substrat

yang halus dan rata seperti kaca, dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan cara mesin tersebut diisi air sebagai media getaran frekuensi dan substrat dimasukkan ke dalam gelas yang berisi alkohol, gelas yang berisi substrat dan alkohol tersebut dimasukkan kedalam mesin ultrasonic cleaner, tujuannya untuk membersihkan kotoran-kotoran, fet yang melekat pada substrat tersebut; waktu pembersihan membutuhkan waktu 1 jam. Bila substrat sudah bersih selanjutnya dikeringkan dalam oven selama 1 jam pada suhu 200 °C.

Proses Nitridasi

Alat nitridasi yang digunakan yaitu se-perangkat alat plasma *glow discharge* buatan P3TM-BATAN. Konstruksi alat plasma *glow discharge* terdiri atas tiga bagian utama yaitu sumber radio frekuensi, tabung plasma dan pompa vakum. Kom-ponen utama sumber radio frekuensi adalah tabung tetrode QB 3/300 dengan daya keluaran 40 watt dan tegangan anoda 1,5 kV. Tabung plasma terbuat dari gelas pireks dengan diameter 150 mm dan panjang tabung 250 mm untuk pemvakuman digunakan pompa vakum buatan Karl Kolb seri RD 4.



Keterangan

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1. Katub pengatur aliran gas | 8. Katub by pass |
| 2. Power meter | 9. Pompa rotary |
| 3. Catu daya RF | 10. Tabung reactor plasma |
| 4. Plasma | 11. Gas N ₂ |
| 5. Elektroda dan pemanas | 12. Katub isolasi vakum |
| 6. Variac | 13. Pompa difusi |
| 7. Pirani meter | |

Gambar 4. Skema Alat Plasma Lucutan Pijar (Suprpto, dkk.,1995).

Benda kerja yang dinitridasi diletakkan diatas lempengan katoda, kemudian tabung plasma dihampakan dengan pompa vakum rotari, katub aliran gas nitrogen ditutup sambil dipanaskan pada suhu tertentu setelah kevakuman sekitar 10^{-3} torr maka gas nitrogen dialirkan dan diatur supaya tekanan dalam reaktor sekitar 0,5 torr, yaitu dengan mengatur katup tekanan gas. Pengukuran kevakuman dilakukan dengan alat piranimeter dynavac CGB, sedangkan suhu benda uji diukur dengan termokopel jenis K (Chromel-alumel) yang ujungnya diletakkan pada benda kerja katoda. Dengan pemasangan osilasi RF, maka terjadi getaran listrik yang akan diserap oleh gas, sehingga nitrogen akan terionisasi. Ion nitrogen akan menuju permukaan benda uji dan selanjutnya akan berdifusi ketempat yang lebih dalam.

Pada penelitian ini waktu nitridasi divariasikan dari 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit dan 180 menit sedang parameter lain dibuat tetap yaitu pada suhu 250°C , tekanan 0,5 torr, daya RF 40 watt. Frekuensi 13,56 Mhz, tegangan anoda 1,5 kV, dan jarak antara anoda dengan benda kerja 40 mm.

Dan pada penelitian berikutnya suhu nitridasi divariasasi dari 200°C , 250°C , 300°C , 350°C , 400°C . sedang parameter yang lain dibuat tetap yaitu waktu 150 menit, tekanan 0,5 torr, daya RF 40 watt, frekuensi 13,56 MHz, tegangan anoda 1,5 kV dan jarak antara anoda dengan benda kerja 40 mm.

Pengujian Kekerasan Permukaan

Pengujian dan pengukuran kekerasan permukaan yang tanpa maupun dinitridasi dalam percobaan ini menggunakan Microhardness Tester model MTX 70 dengan beban 10 gram. Pengujian kekerasan mikro ini dilakukan menggunakan indentor Knoop. Besarnya kekerasan permukaan dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$KHN = 14,23 \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

F = Beban (kg)

d = Panjang diagonal (mm)

Pengamatan Struktur Mikro

Benda kerja yang sudah diniridasi dipotong melintang, diampas dengan kertas amplas dari ukuran 200 sampai 2000 mesh dan dipoles dengan pasta intan sampai rata kemudian dietsa dengan

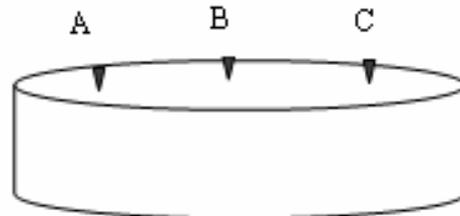
campuran larutan nital 5% dan picral 5%. Untuk melihat perubahan struktur mikro digunakan mikroskop optik BX 60 M merk Olympus buatan Japan. Kondisi pemotongan melintang ini dimaksudkan agar dapat mengamati langsung ketebalan lapisan nitrida yang terbentuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan dengan alat uji keras Knoop pada beban 10 gram, pengukuran dilakukan pada permukaan bahan baik pada material dasar maupun material yang dinitridasi.

Permukaan benda uji yang dinitridasi masing-masing di uji pada tiga titik seperti pada Gambar 5. dan data hasil penelitian disajikan pada Lampiran.



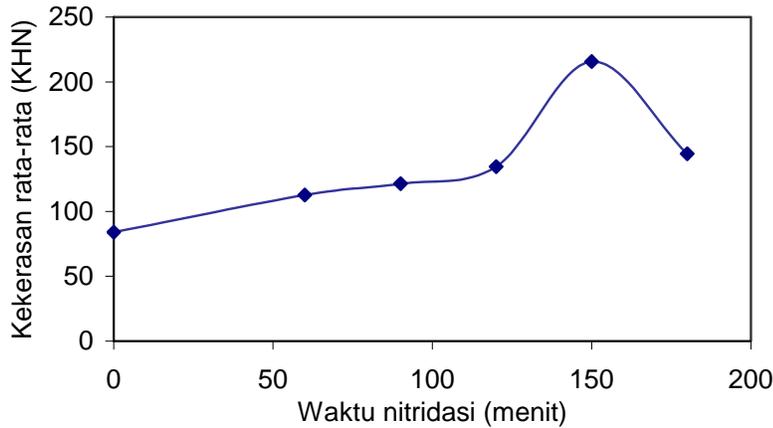
Gambar 5. Titik-titik pengujian pada substrat.

Pengaruh Waktu Nitridasi Terhadap Kekerasan

Dari Gambar 6. nampak bahwa dengan bertambahnya waktu nitridasi maka akan terjadi peningkatan kekerasan pada permukaan benda kerja. Dalam penelitian ini kekerasan tertinggi benda kerja sebesar 215 KHN dicapai pada waktu nitridasi 150 menit dengan suhu nitridasi 250°C .

Nitrogen mula-mula berdifusi secara interstisi, akibatnya timbul tegangan dalam dan menyebabkan kekerasannya naik. Dengan bertambahnya waktu maka jumlah atom nitrogen yang terlarut akan semakin banyak dan pada suatu saat akan mencapai keadaan jenuh. Bila penambahan nitrogen dilakukan terus maka kelebihan nitrogen tersebut akan digunakan untuk pembentukan senyawa baru, senyawa mula-mula yaitu Fe_4N kemudian Fe_3N dan Fe_2N . terbentuknya jenis senyawa tersebut tergantung pada jumlah nitrogen yang ditambahkan sebanyak 20%/at maka fasa baru yang terbentuk adalah fasa Fe_4N dan bila

jumlah nitrogen yang ditambahkan sebanyak 33,5%/at maka fasa baru yang terbentuk adalah fasa

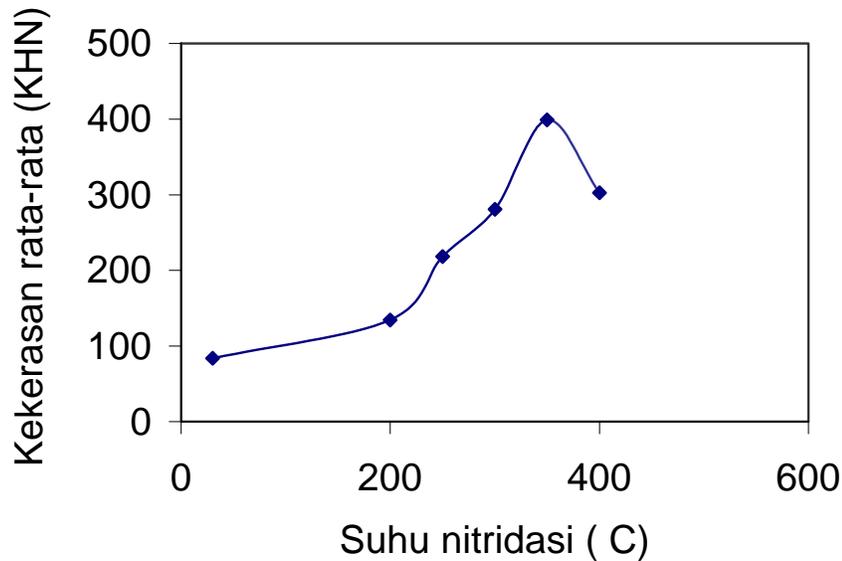


Gambar 6. Pengaruh waktu nitridasi terhadap kekerasan (suhu konstan 250 °C).

Pengaruh Suhu Nitridasi Terhadap Kekerasan

Dari Gambar 7. nampak bahwa dengan naiknya suhu nitridasi ternyata terjadi kenaikan kekerasan pada permukaan. Dalam penelitian ini kekerasan tertinggi benda kerja sebesar 399 KHN dicapai pada suhu nitridasi 350°C dengan waktu nitridasi 150 menit. Setelah mencapai suhu sekitar

350°C dan seterusnya kekerasan tidak akan mengalami perubahan yang berarti, tetapi menjadi turun. Hal itu dapat diterangkan bahwa semakin tinggi suhunya dimungkinkan faktor difusivitas juga bertambah besar sehingga memberi sumbangan terhadap jumlah atom yang berdifusi, pada suhu yang rendah atom nitrogen yang berdifusi masih sedikit dan hanya membentuk larutan padat.



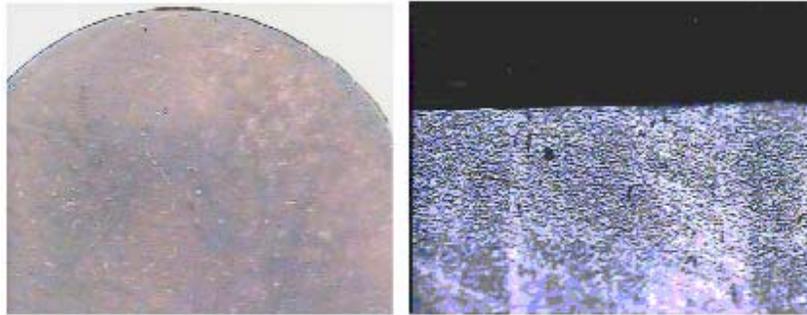
Gambar 7. Pengaruh suhu nitridasi terhadap kekerasan (waktu konstan 150 menit).

Hasil Pengamatan Struktur Mikro

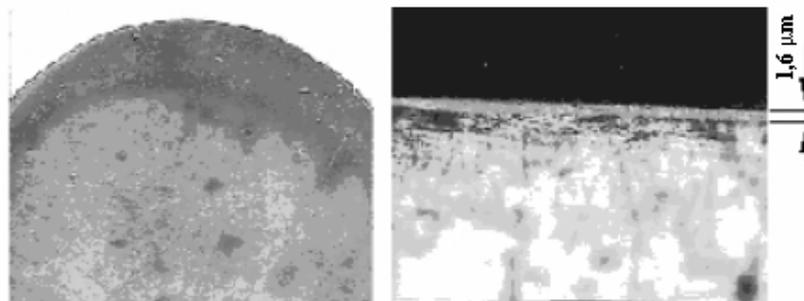
Perubahan struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10 yaitu adanya lapisan warna putih pada bagian tepi yang dinitridasi, sedangkan pada bagian tengah tidak ada perubahan dan strukturnya masih perlit. Bagian yang berwarna putih adalah pelat sementit yang berwarna gelap

adalah ferit. Pada bagian yang dinitridasi makin kedalam lapisan putihnya akan berkurang.

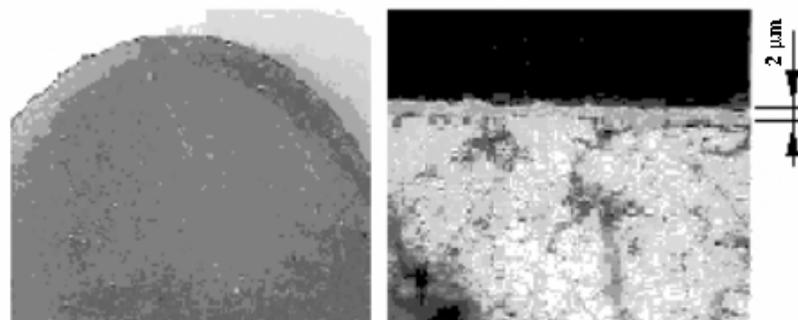
Suhu nitridasi juga berpengaruh terhadap ketebalan lapisan warna putih, semakin tinggi suhu nitridasi ketebalan lapisan warna putih juga bertambah.



Gambar 8. Struktur mikro permukaan (kiri) dan potongan melintang (kanan) baja karbon medium sesudah dinitridasi.



Gambar 9. Struktur mikro permukaan (kiri) dan potongan melintang (kanan) baja karbon medium sesudah dinitridasi pada waktu 150 menit suhu 250 °C.



Gambar 10. Struktur mikro permukaan (kiri) dan potongan melintang (kanan) baja karbon medium sesudah dinitridasi pada waktu 150 menit suhu 350 °C.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap perubahan kekerasan baja karbon medium (AISI 1045), maka dapat disimpulkan, bahwa :

1. Dengan proses nitridasi dengan teknik plasma lucutan pijar, kekerasan permukaan baja karbon medium mengalami peningkatan dari 85,3 KHN menjadi 399 KHN dan ini dicapai pada waktu 150 menit, suhu 350 °C, sumber daya RF 40 watt dan tegangan anoda 1,5 kV.
2. Mekanisme pengerasan yang terjadi adalah larut padat intertisi dan terbentuknya fasa baru yaitu nitrida besi (Fe-N).
3. Ketebalan lapisan nitrida yang terbentuk adalah sekitar 2 μm dan ini dicapai pada kondisi kekerasan sebesar 399 KHN.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Drs. H. Sudjatmoko, SU. APU., Bapak Irianto, A.Md., Bapak Sumarmo dan Bapak J. Karmadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Handbook, *Material Characterization*, Vol. 10, Metals Park, Ohio, 1978.
- [2] ARSAMAZOV, N., GROMOV and SOSKOV, M.D., *Effect of Regimes of Ion Nitriding on The Structure and Properties of Titanium Alloys*, Metal Science and Heat Treatment, Vol. 38, Nos 5-6, 1996.
- [3] CALLISTER, JR., WILLIAM, D., *Material Science and Engineering*, John Willey & Sons, INC., New York, 1991.
- [4] DIETER, G.E., *Mechanical Metallurgy*, 3rd ed., Mac Graw Hill, New York, 1995.
- [5] SUJITNO, T., MUDJIMAN, S., *Pengaruh Suhu dan Waktu Nitridasi Terhadap Kekerasan Permukaan Baja Karbon Rendah AISI 1010 Yang Dinitridasi Dengan Teknik Plasma Lucutan Pijar*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah PPNY-BATAN, Yogyakarta, 1996.

- [6] KONUMA, M., *Film Deposition by Plasma Techniques*, Springer-Verlag, New York, 1992.

LAMPIRAN

Kekerasan bahan AISI 1045 diuji Knoop dengan beban 10 gram

Bahan	Diagonal (mm)	Kekerasan (KHN)	Kekerasan rata-rata (KHN)
I	42,0	80,7	85,33
	39,9	89,2	
	40,7	86,1	
II	42,4	79,3	85,40
	41,2	84,0	
	39,1	92,9	

Data pengujian kekerasan terhadap waktu nitridasi (suhu konstan 250 °C)

Waktu nitridasi (menit)	Diagonal (mm)	Kekerasan (KHN)	Kekerasan rata-rata (KHN)
60	36.6	106.2	112.6
	35.3	113.5	
	34.7	118.0	
90	33.6	126.4	121.4
	33.8	124.2	
	35.4	113.5	
120	33.0	130.5	134.6
	30.7	149.1	
	33.3	128.3	
150	25.0	227.6	215.5
	26.3	205.1	
	25.8	213.7	
180	28.4	176.4	144.4
	34.0	123.0	
	32.6	133.8	

Data pengujian kekerasan sebagai fungsi suhu nitridasi (waktu konstan 150 menit)

Suhu nitridasi (°C)	Diagonal (mm)	Kekerasan (KHN)	Kekerasan rata-rata (KHN)
200	33.6	126.4	134.3
	32.9	131.2	
	31.3	145.3	
250	24.6	234.2	218.3
	26.2	207.3	
	25.8	213.4	
300	23.5	256.6	281.0
	22.4	283.5	
	21.7	302.9	
350	18.0	436.3	399.1
	18.8	398.3	
	19.8	359.5	
400	22.1	290.9	302.7
	21.3	312.7	
	21.9	304.9	

TANYA JAWAB

Irianto

- *Lebih dominan pengaruh suhu pemanas sampel dibanding suhu plasma terhadap perubahan kekerasan?*

Subroto

- *Sebetulnya panas yang ditimbulkan plasma juga secara otomatis akan memanasi sampel. Tetapi karena suhu plasma terbatas sehingga sampel masih perlu dipanasi. Untuk nitridasi panas yang idial sekitar 530 °C.*

Sigit P.

- *Mengapa yang diukur hanya tingkat perubahan kekerasan saja? Kalau kekerasan makin meningkat bagaimana tingkat keuletannya?*

Subroto

- *Yang diukur tingkat kekerasan dan juga tebal dari lapisan keras, makin meningkat kekerasan akan mangkin turun tingkat keuletannya.*

Triyono

- *Seberapa besar kemampuan suhu pemanasan dari hasil pengerasan permukaan baja karbon medium.*

Subroto

- *Kemampuan suhu pemanasan dari hasil pengerasan, 350 °C dan waktu 150 menit dengan ketebalan 2 µm dan kekerasannya mencapai 399,1 KHN (469,4%) dari kerasnya substrat 85 KHN.*