

PENGERASAN PERMUKAAN BAJA ST 42 DENGAN TEKNIK NITRIDASI ION

Suprpto, Tjipto Sujitno

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju – Batan

Mudjijana

Teknik Mesin – Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada

ABSTRAK

PENGERASAN PERMUKAAN BAJA ST 42 DENGAN TEKNIK NITRIDASI ION. Telah dilakukan nitridasi dengan teknik nitridasi ion untuk material baja ST 42. Nitridasi bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik permukaan khususnya peningkatan kekerasan. Peningkatan kekerasan hanya pada permukaan material sedangkan pada bagian dalam sifatnya tetap yaitu sama dengan sifat sebelum dilakukan pengerasan permukaan. Nitridasi dapat dilakukan secara konvensional maupun dengan nitridasi ion. Pada proses nitridasi ion, material yang dinitridasi ditempatkan dalam reaktor plasma dengan tekanan rendah (vakum) dan gas nitrogen dialirkan serta diplasmakan dengan tegangan DC. Nitridasi dilakukan dengan variasi waktu deposisi dan variasi tekanan untuk mendapatkan hasil yang optimal pada jarak dan tegangan anode-katode masing-masing 13 cm dan 750 Volt. Hasil nitridasi diperoleh kekerasan tertinggi 325,93 KHN dan prosentase peningkatan kekerasan sebesar 51,8 % dari material awal untuk waktu nitridasi 3 jam dan tekanan 1,2 mbar. Untuk hasil uji metalografi diperoleh perubahan struktur ferrit dan perlit yang semula mempunyai butiran kasar berubah menjadi butiran halus sehingga terjadi peningkatan kekerasan. Kedalaman difusi sebesar 150 μm sedangkan hasil perhitungan 132,06 μm , penyimpangan ini disebabkan karena perhitungan hanya berdasarkan pada faktor difusi termal dan belum memperhitungkan efek energi kinetik ion.

Kata kunci: Ilmu Bahan, Pengerasan Permukaan, Nitridasi Ion.

ABSTRACT

SURFACE HARDENING OF ST 42 STEEL USING ION NITRIDING TECHNIQUES. Nitriding of ST 42 steel has been done using ion nitriding technique. The purpose of this nitriding is to improve the mechanical properties of ST 42 steel especially its surface hardness. In the surface hardening, only the surface is improved, while the inner properties does not change, same as the base materials. The nitriding process can be done by conventional technique or by ion nitriding technique. In ion nitriding technique, the samples were put into vacuum chamber of the plasma reactor where the nitrogen gas was introduced and ionized by direct voltage and then deposited into the targets. To get the optimum conditions, the parameters such as deposition time and gas pressure were varied, while the others parameters such as electrode voltage and distance electrode were kept constant at 700 Volt and 13 cm respectively. The optimum hardness in the order of 325,95 KHN was achieved in deposition time 3 hours and pressure 1,2 torr. Compared to the initial hardness (in the order of 214,7 KHN), the optimum increasing of hardness is 51,8 %. From metallographic observation using optical microscope, it can be concluded that there is a phase changing, from coarse ferrite and perlite to fine ferrite and perlite structure. From cross section microstructure observation, it can be measured that the diffusion depth is in the order of 150 μm , but from theoretical calculation the diffusion depth is in the order of 132,06 μm . This deviation may be caused by the fact that the diffusion depth calculation is only based on the thermal diffusion effect, without considering the kinetic energy effect.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang cukup pesat, para peneliti dituntut untuk melakukan suatu penelitian yang inovatif. Penelitian mengenai bahan-bahan logam dasar sangat diperlukan, mengingat kebutuhan dari industri maju terhadap material logam dengan kualitas yang baik yaitu

mempunyai sifat-sifat yang lebih unggul dari logam dasarnya. Oleh karena itu diperlukan pengembangan teknologi untuk mengubah dan memperbaiki sifat mekanik permukaan logam. Pengerasan suatu permukaan adalah suatu metode untuk memodifikasi permukaan yang hasilnya akan sangat bermanfaat untuk mesin-mesin industri. Pada proses ini yang paling pokok untuk mendapatkan pengerasan

permukaan adalah dengan suatu lapisan tipis yang akan mempengaruhi sifat kekerasan dari bahan yang diteliti.

Pembentukan lapisan tipis pada permukaan baja dengan ketebalan berukuran mikron sangat banyak manfaatnya. Penerapan teknik pembentukan lapisan tipis pada permukaan diawali pada abad 19 yaitu pada tahun 1852 ketika Grove melakukan percobaan lucutan listrik dengan media gas sehingga terbentuknya lapisan logam pada dinding tabung lucutan pijar di sekitar elektroda negatif. Pada tahun 1857 Faraday juga berhasil menemukan pembuatan lapisan tipis dengan metode evaporasi^[1].

Mengubah sifat-sifat mekanik suatu logam dapat ditempuh dengan cara melakukan proses tertentu agar dapat mengubah struktur logam tersebut sehingga diperoleh sifat mekanik yang lebih baik. Hal ini disebabkan karena logam mempunyai sifat mekanik yang sangat berhubungan dengan struktur atomnya^[2].

Baja merupakan jenis logam yang paling banyak digunakan dalam kehidupan, misalnya pada mesin-mesin industri dan mesin-mesin perkakas. Contoh penggunaan ini adalah pada poros mesin, roda gigi dan lain-lain. Disamping itu harganya relatif murah dibanding dengan logam yang lain. Baja mempunyai nilai ketahanan aus dan gesek yang kurang bagus sehingga dengan adanya pelapisan permukaan diharapkan dapat memperbaiki sifat-sifat mekanik dari baja tersebut. Pada penelitian ini dipilih bahan (substrat) baja ST 42 karena banyak digunakan sebagai bahan poros pada mesin-mesin industri atau mesin-mesin perkakas serta tersedia dipasaran.

Cara konvensional untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik dari logam besi antara lain cara karburasi, nitridasi, karbonitridasi, nyala api, dan induksi listrik^[3,4]. Dengan kemajuan teknologi untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik dari logam, saat ini mulai dikembangkan cara lain untuk membentuk lapisan tipis dan memperbaiki sifat-sifat pada permukaannya. Cara tersebut meliputi metode evaporasi, implantasi ion, plasma lucutan pijar RF, dan plasma lucutan pijar DC^[5]. Pada penelitian ini digunakan metode plasma lucutan pijar DC. Pada plasma lucutan pijar DC, plasma terbentuk oleh adanya tegangan tinggi DC yang dipasang pada anoda-katoda dalam reaktor plasma. Kelebihan dari metode ini yaitu dapat menghasilkan lapisan tipis baik dengan gas maupun bahan padat yang mempunyai titik leleh tinggi (plasma *sputtering*)^[6]. Untuk pembuatan lapisan tipis dengan gas dilakukan melalui pendeposisian atom-atom dengan meng-ionisasikan dalam bentuk plasma kemudian ion-ion tersebut dideposisikan pada substrat. Tetapi

untuk pembuatan lapisan tipis dari bahan padat yang mempunyai titik leleh tinggi harus dengan teknik *sputtering* yaitu dengan cara bahan padat yang akan dilapiskan ditembak (di-*sputter*) dengan ion argon sehingga atom-atom padatan tersebut terpercik dan terdeposisi pada permukaan substrat yang dilapisi.

DASAR TEORI

Pengerasan Permukaan

Pada beberapa komponen tertentu seperti poros dan roda gigi dibutuhkan kombinasi sifat-sifat mekanik material, yaitu harus mampu menahan aus dan juga harus mampu menahan gaya-gaya dinamis. Kedua sifat tersebut pada dasarnya berlawanan, karena jika kekerasan dan kekuatan meningkat maka keuletan dan ketangguhan akan menurun. Untuk memenuhi kebutuhan material tersebut maka dibuat dua kondisi, yaitu material dengan bagian luar yang keras dan bagian inti tetap ulet. Cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan sifat-sifat tersebut adalah dengan teknik perlakuan permukaan (*surface treatment*). Pengerasan permukaan termasuk kategori perlakuan permukaan dan dapat dibagi menjadi dua yaitu pengerasan permukaan dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) dan pengerasan permukaan dengan menghasilkan lapisan permukaan yang keras (*surface hard coating*) akibat adanya proses pendeposisian ion-ion (atom-atom) tertentu pada permukaan material.

Pengerasan Permukaan Dengan Heat Treatment

Pengerasan permukaan dengan proses heat treatment dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu pengerasan permukaan termokimia dan pengerasan thermal.

1. Pengerasan Termokimia

Pengerasan permukaan secara termokimia dilakukan dengan memasukkan/mendifusikan atom-atom tertentu (karbon atau nitrogen, atau keduanya) ke dalam permukaan material. Hal ini dapat dilakukan karena setiap atom mempunyai kemampuan berdifusi pada energi yang dimiliki (energi aktivasi). Pengerasan termokimia tersebut di-antaranya adalah karburasi, nitridasi, *cyaniding* maupun karbonitridasi.

a. Karburasi

Karburasi merupakan cara yang paling lama dikenal dalam proses pengerasan permukaan. Prinsip dari metode karburasi ini adalah pelapisan/penambahan atom karbon yang tinggi pada permukaan material baja karbon rendah, sehingga

metode ini cocok untuk material baja karbon rendah atau baja paduan dengan kandungan karbon antara 0,1 % - 0,25 %. Kandungan karbon setelah proses nitridasi dapat meningkat hingga 0,7 % sampai 0,9 %. Karburasi dilakukan pada temperatur austenit yaitu pada 900°C – 930 °C, karena pada kondisi austenit karbon akan larut secara optimum^[5]. Oleh karena itu proses karburasi dapat menghasilkan baja dengan permukaan yang keras dengan inti yang tetap ulet/tangguh. Proses karburasi secara umum digunakan dalam industri-industri komponen mesin seperti roda gigi, bantalan, dan poros, dimana ketahanan permukaan terhadap keausan dan ketangguhan terjadinya perpatahan sangat diperlukan.

b. Nitridasi

Nitridasi adalah suatu proses pengerasan permukaan dengan menambahkan unsur nitrogen pada permukaan benda kerja (biasanya baja). Proses nitridasi menggunakan gas amonia (NH₃) pada suhu 480°C - 650°C, amonia akan berdisosiasi pada suhu ini dengan reaksi^[5]



Proses nitridasi pada umumnya diterapkan untuk pengerasan baja karbon medium dan baja paduan yang mengandung unsur-unsur :Al, Cr, Mo, dan unsur lain yang memungkinkan bereaksi dengan unsur nitrogen sehingga terbentuk senyawa-senyawa : Fe₃N, Fe₄N, Cr₂N, Mo₂N maupun AlN. Penggunaan metode ini umumnya untuk poros (*shaft*), *valve guide*, *valve seting* dan *gear*.

c. Cyaniding

Cyaniding adalah suatu proses *case hardening* yang akan memberikan tambahan unsur nitrogen dan karbon pada lapisan permukaan benda kerja pada suhu 870°C dalam tempat yang berisi 30 % sodium cyanida^[5]. Tebal lapisan keras pada *cyaniding*: 0,1-0,2 mm. Aplikasi ini cocok untuk pengerasan roda gigi, piston, pena piston dan poros kecil.

d. Karbonitridasi

Proses ini menggunakan campuran gas alam antara 70 % - 80 % dan amonia 20 % - 30 %. Pada proses karbonitridasi permukaan benda kerja didesposisi dengan atom karbon dan nitrogen secara serempak, tetapi prosesnya lebih lambat dari pada *liquid cyaniding*^[5]. Contoh aplikasi untuk pengerasan roda gigi, *chain link*, *nuts*, baut dan mur.

2. Pengerasan Termal

Pengerasan termal adalah proses pengerasan pada permukaan material dimana pengerasan dilakukan dengan mengatur jenis struktur mikro yang terbentuk pada setiap lapisan. Proses pengerasan dilakukan dengan pemanasan pada material, kemudian didinginkan dengan cepat dalam air atau oli untuk menghasilkan struktur martensit. Metode ini digunakan pada baja karbon medium atau baja paduan rendah dengan kandungan karbon 0,3 % – 0,6 %^[5]. Yang termasuk pengerasan termal diantaranya adalah: *flame hardening* dan *induction hardening*

a. Flame hardening

Flame hardening adalah proses pengerasan permukaan dengan cara pemanasan yang cepat pada temperatur austenit hanya pada permukaannya saja. Cara ini digunakan apabila suatu komponen terbuat dari baja yang secara langsung dapat dikeraskan, tetapi pemanasannya berlangsung dengan cepat pada permukaan. *Flame hardening* adalah proses pengerasan permukaan material dengan menggunakan semburan gas (semburan las). Proses ini disebut juga proses pengerasan dengan waktu singkat. Prinsip kerja pengerasan ini adalah permukaan material yang dikeraskan, dipanaskan dengan cepat oleh semburan gas/las (misalnya *oxyacetylene* atau *oxyhydrogen*), kemudian material didinginkan secara cepat dengan cara disemprot dengan air atau dicelupkan dalam air untuk mendapatkan struktur martensit sehingga didapatkan permukaan yang keras. Pada proses ini tidak terjadi perubahan komposisi. *Flame hardening* biasanya digunakan pada material baja dengan kandungan karbon 0,4 % – 0,5 % atau besi cor dengan kandungan karbon 0,4 % – 0,8 %

b. Induction hardening

Proses pengerasan permukaan dengan metode *induction hardening* adalah permukaan material yang akan dikeraskan dipanaskan dengan cepat pada temperatur austenit menggunakan medan elektro-magnetik frekuensi tinggi. Kemudian didinginkan sehingga terjadi perubahan struktur yaitu dari struktur austenit menjadi struktur martensit yang keras. Metode ini biasanya diterapkan pada baja dengan kandungan karbon 0,4 % – 0,75 % atau besi cor dengan kandungan karbon 0,4 % – 0,5 %. Penggunaan metode ini untuk pengerasan roda gigi dan bantalan rol.

Pelapisan Permukaan

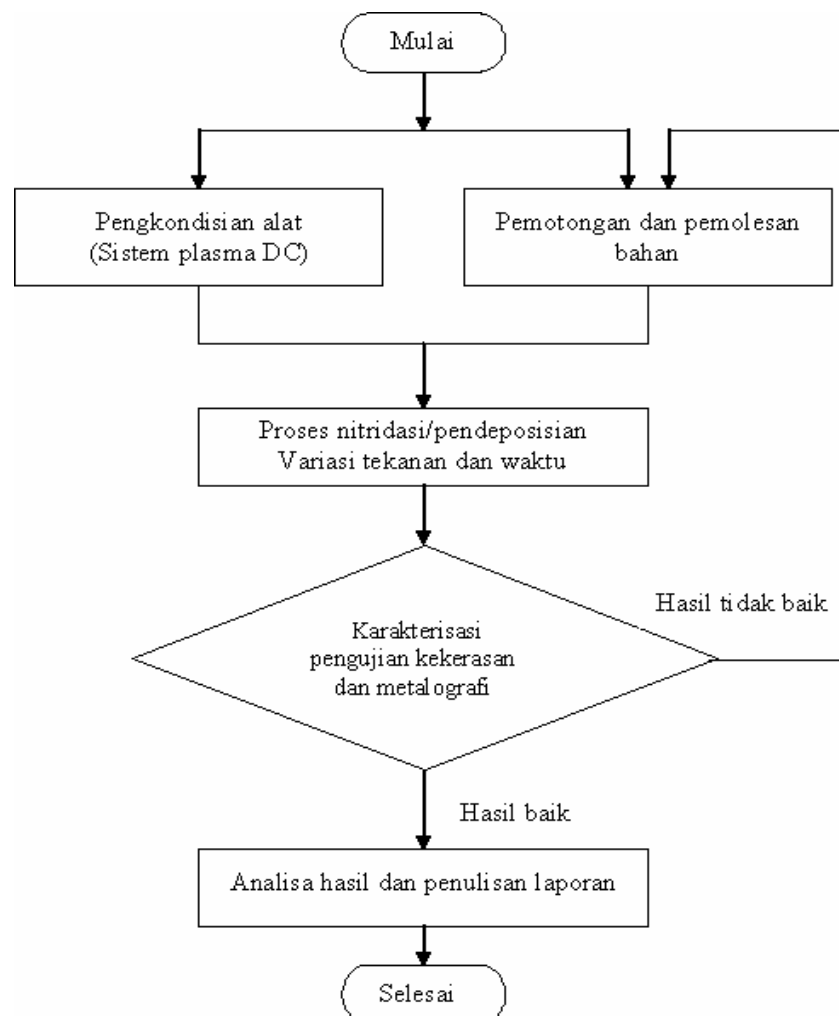
Cara lain yang digunakan dalam proses pengerasan permukaan adalah dengan membentuk lapisan tipis yang keras pada permukaan (*surface hard coating*). Satu diantara cara ini adalah nitridasi

dengan teknik nitridasi ion (*ion nitriding*)^[7,8]. Teknik nitridasi ion adalah cara pengerasan permukaan dengan mendeposisikan ion nitrogen pada permukaan yang dikeraskan. Untuk membentuk ion nitrogen dilakukan dengan cara memplasmakan gas nitrogen di dalam tabung reaktor plasma sehingga terbentuk pasangan ion nitrogen dan elektron. Ion-ion nitrogen ini dideposisikan pada permukaan yang dikeraskan agar terjadi difusi dan kelarutan secara interstisi membentuk lapisan nitrida. Jika yang dinitridasi adalah besi maka akan terbentuk lapisan nitrida besi (FeN) pada permukaan yang mempunyai sifat sangat keras sehingga membentuk lapisan keras pada permukaan besi.

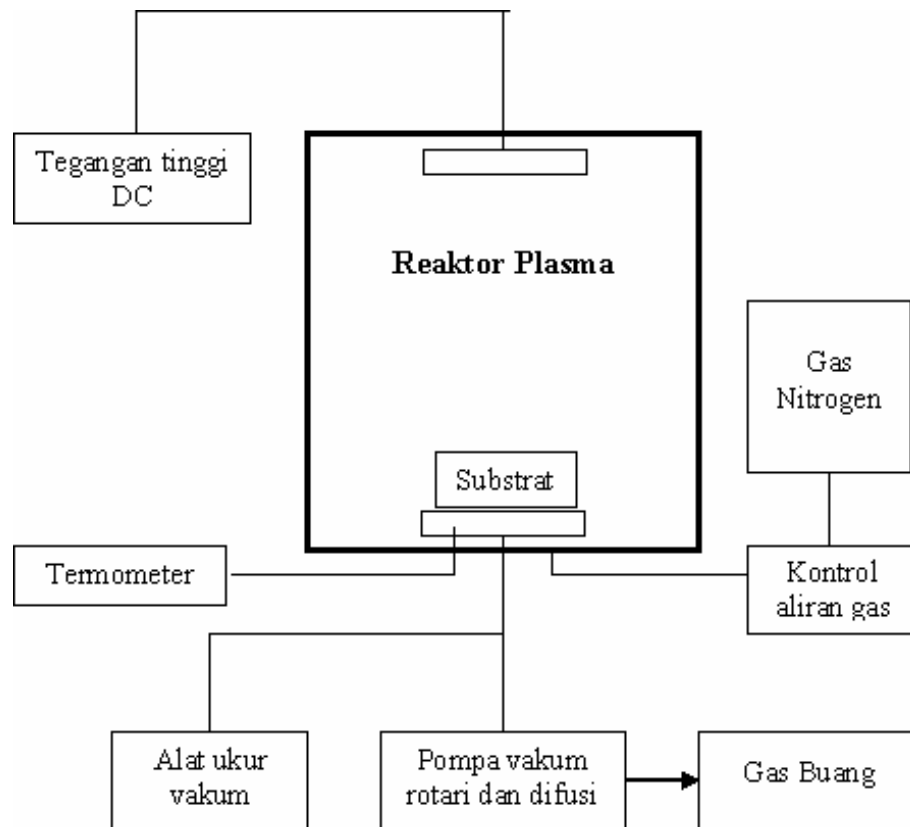
TATA KERJA

Langkah-langkah dalam melakukan nitridasi dengan teknik nitridasi ion digambarkan dengan

diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1. Proses nitridasi dimulai dengan persiapan yaitu pengkondisian alat (sistem plasma DC) serta pemotongan dan pemolesan bahan. Pengkondisian alat dimulai dengan pemompaan udara dari dalam tabung reaktor plasma sehingga mencapai kevakuman sekitar 5×10^{-2} Torr sesuai dengan kemampuan pompa. Pemvakuman ini bertujuan untuk membersihkan gas-gas dalam tabung dan sebagai sarana penyedia tekanan rendah untuk pembangkitan plasma dan proses pendeposisian. Setelah mencapai kevakuman sekitar 5×10^{-2} Torr, gas nitrogen dialirkan ke dalam tabung reaktor plasma dan sumber tegangan tinggi DC dihidupkan hingga terjadi proses ionisasi (terbentuk plasma). Peralatan untuk proses nitridasi dengan tehnik nitridasi ion ditunjukkan pada Gambar 2. Peralatan tersebut dibuat sendiri di P3TM untuk mengembangkan proses nitridasi dengan teknik nitridasi ion (*ion nitriding*).



Gambar 1. Diagram alir proses nitridasi dengan teknik plasma lucutan pijar DC.



Gambar 2. Skema peralatan sistem nitridasi ion.

Pengujian Hasil Nitridasi

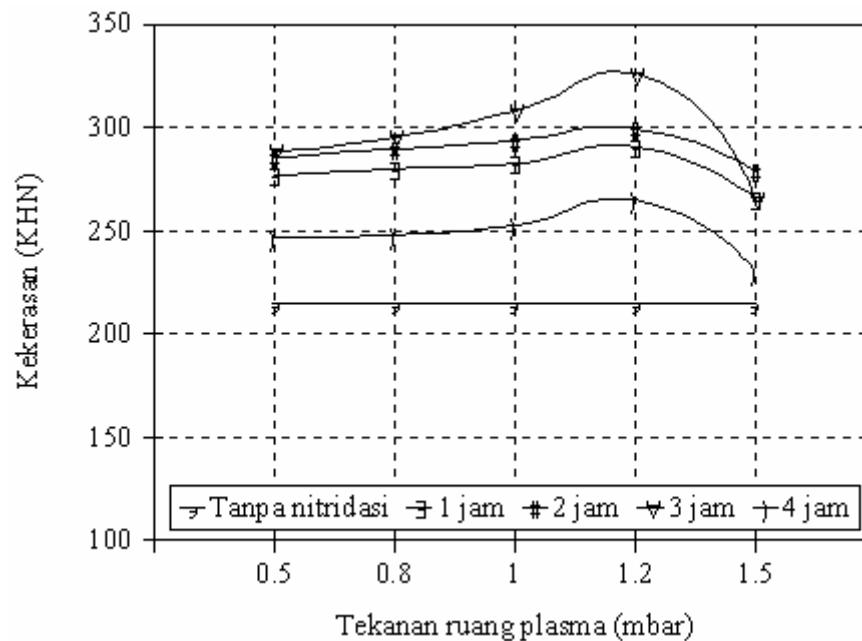
Pengujian/karakterisasi hasil nitridasi meliputi pengamatan perubahan kekerasan dan pengamatan perubahan struktur mikro yang terjadi. Pengamatan perubahan kekerasan dilakukan dengan mengukur kekerasan untuk berbagai variasi tekanan (kevakuman) dan variasi waktu deposisi (nitridasi). Pengukuran kekerasan juga dilakukan untuk bahan sebelum dan sesudah nitridasi untuk mengetahui perubahan kekerasan hasil nitridasi. Dalam pengamatan struktur mikro untuk mengetahui kedalaman difusi nitrogen yang dideposisikan dan perubahan struktur akibat terbentuknya nitrida hasil reaksi nitrogen dengan logam induk (substrat). Alat yang digunakan untuk pengukuran kekerasan adalah *Digital Micro Hardness Tester* jenis MXT 70 dan untuk pengamatan struktur mikro adalah mikroskop optik Zeis jenis Axiolab LR 66238 C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kekerasan

Perubahan nilai kekerasan akibat nitridasi

pada suatu logam disebabkan adanya perubahan struktur mikro dan komposisi dari logam tersebut. Dalam proses nitridasi, unsur nitrogen yang ditambahkan dapat merubah struktur mikro dan komposisi dari logam induk sehingga merubah sifat-sifat mekanisnya. Untuk proses nitridasi dengan teknik nitridasi ion, atom nitrogen diionisasi dalam bentuk plasma sehingga terbentuk pasangan ion nitrogen dan elektron. Ion nitrogen ini dideposisikan pada permukaan logam yang dinitridasi sehingga membentuk lapisan tipis nitrogen, selanjutnya ion nitrogen berdifusi dan larut secara interstisi membentuk lapisan nitrida logam pada permukaan material induk. Nitrida logam ini mempunyai sifat kekerasan yang lebih tinggi dan struktur mikro yang berbeda dibanding logam induknya. Untuk mengetahui perubahan kekerasan dan struktur mikro permukaan hasil nitridasi dilakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro. Pengujian kekerasan dilakukan untuk substrat sebelum dinitridasi dan sesudah dinitridasi yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Pada Gambar 3 ditunjukkan hasil pengujian kekerasan sebagai fungsi tekanan di dalam reaktor plasma pada berbagai kondisi waktu nitridasi.



Gambar 3. Grafik angka kekerasan sebagai fungsi tekanan ruang plasma untuk berbagai variasi waktu deposisi.

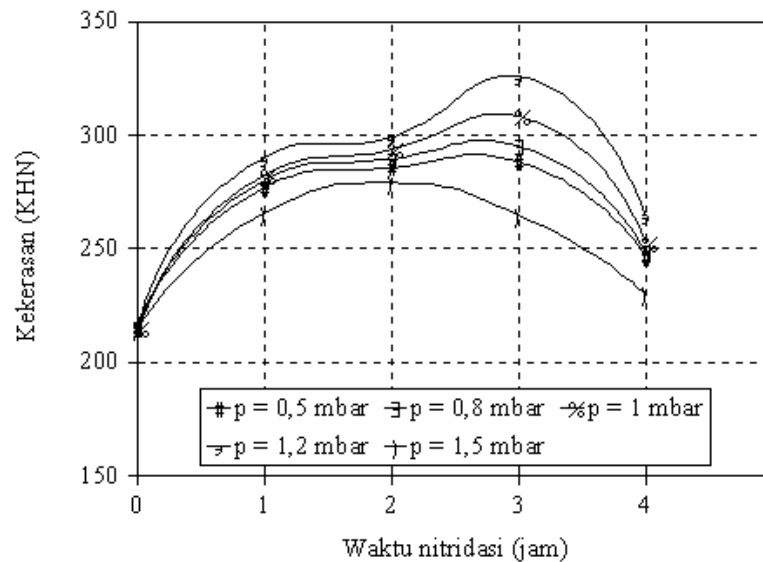
Dari hasil pengujian (Gambar 3) ditunjukkan bahwa nilai kekerasan untuk substrat sebelum dinitridasi adalah 214,7 KHN. Dalam pendeposisian ini dilakukan untuk beberapa variasi tekanan ruang plasma agar didapatkan kondisi tekanan optimum saat deposisi. Makin tinggi tekanan ruang plasma maka, makin banyak atom-atom nitrogen yang terdeposisi pada waktu yang sama

Variasi tekanan dimulai dari tekanan 0,5 mbar sampai dengan 1,5 mbar. Pada tekanan 0,5 mbar sampai 1,2 mbar, makin tinggi tekanan makin tinggi kekerasan yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena apabila tekanannya makin tinggi maka kerapatan atom nitrogen yang terionisasi dan terdeposisi pada permukaan baja ST 42 makin banyak, sehingga kemungkinan terjadinya difusi dan larut secara interstisi membentuk FeN makin besar. Pada tekanan 1,2 mbar diperoleh hasil kekerasan optimum, hal ini disebabkan karena pada tekanan 1,2 mbar terjadi keseimbangan antara atom nitrogen yang terdeposisi ke permukaan dan selanjutnya berdifusi serta larut secara interstisi dengan atom Fe dari baja ST 42 untuk membentuk fase baru yaitu FeN. Untuk deposisi pada tekanan 1,5 mbar laju deposisi menjadi lebih besar akibatnya tidak terjadi kesetimbangan antara laju deposisi, difusi dan kelarutan secara interstisi nitrogen pada baja ST 42. Hal ini disebabkan laju deposisi terlalu besar tetapi laju difusi dan kelarutan secara interstisi

atom nitrogen pada baja ST 42 (Fe) tidak dapat mengikuti laju deposisi maka akan terjadi penumpukan atom nitrogen pada permukaan karena laju deposisi lebih besar dari laju difusi dan kelarutan secara interstisi. Dengan demikian kekerasan permukaan tidak naik melainkan menurun sebagai akibat menumpuknya atom nitrogen pada permukaan.

Pada Gambar 4 ditunjukkan hasil pengujian kekerasan sebagai fungsi waktu nitridasi pada berbagai kondisi tekanan di dalam reaktor plasma.

Dari hasil pengujian (Gambar 4) ditunjukkan bahwa nilai kekerasan maksimum dicapai pada waktu nitridasi selama 3 jam dan tekanan 1,2 mbar. Untuk berbagai kondisi tekanan menunjukkan bahwa makin lama waktu nitridasi (untuk waktu 1 jam s/d 3 jam) kekerasan makin meningkat. Hal ini disebabkan karena untuk waktu nitridasi 1 jam atom-atom nitrogen yang terdeposisi pada permukaan masih sedikit, jika waktu nitridasi ditambah menjadi 2 jam maka jumlah atom nitrogen yang terdeposisi dan berdifusi makin banyak. Atom-atom nitrogen yang berdifusi ke permukaan baja ST 42 akan bereaksi dengan atom-atom pada baja ST 42 (Fe) untuk membentuk fase baru yaitu FeN yang mana FeN memiliki sifat yang keras, sehingga penambahan nitrogen pada baja ST 42 mengakibatkan penambahan kekerasan pada permukaan baja ST 42 yang dinitridasi.



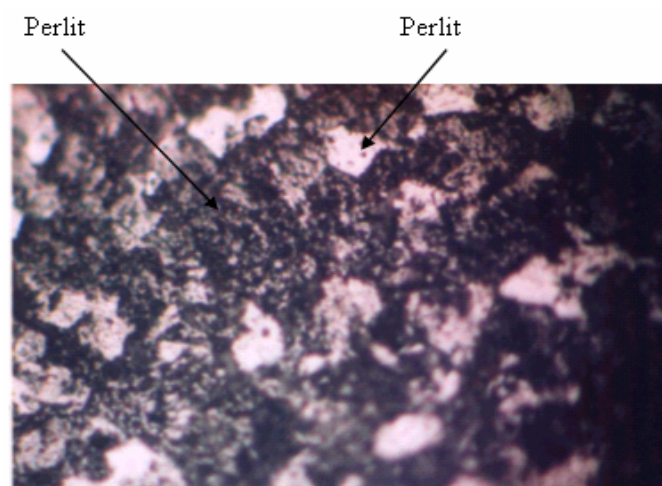
Gambar 4. Hubungan angka kekerasan sebagai fungsi waktu nitridasi untuk berbagai variasi tekanan.

Pada waktu deposisi 4 jam bahkan mengalami penurunan kekerasan hal ini dimungkinkan karena dengan tambahan atom nitrogen maka fasa keras akan bergeser menjadi fasa lunak atau atom-atom nitrogen tersebut hanya menumpuk pada permukaan yang tidak sempat berdifusi dengan material induk (Fe). Jadi makin lama proses nitridasi tidak diperoleh kekerasan yang maksimal melainkan kekerasan akan menurun.

Uji Metalografi

Dalam pengujian metalografi dilakukan untuk mengamati struktur mikro dari bahan sebelum dan setelah proses nitridasi. Untuk pengamatan

struktur mikro dari bahan yang sudah dinitridasi dilakukan 2 pengamatan. Pengamatan pertama untuk mengamati permukaan bahan yang sebelum di nitridasi dan pengamatan yang kedua untuk mengamati struktur mikro setelah dinitridasi. Struktur mikro setelah dinitridasi diamati pada 2 tempat yaitu pengamatan struktur mikro permukaan dan struktur mikro penampang melintangnya. Hasil pengujian struktur mikro untuk baja St 42 sebelum proses nitridasi ditunjukkan pada Gambar 5. Fasa yang terdapat pada material terdiri dari ferrit (berwarna terang/putih) dan perlit (berwarna gelap/hitam) yang mempunyai butiran kasar. Ferrit dan perlit dengan butiran kasar mempunyai sifat yang kurang keras tetapi ulet.

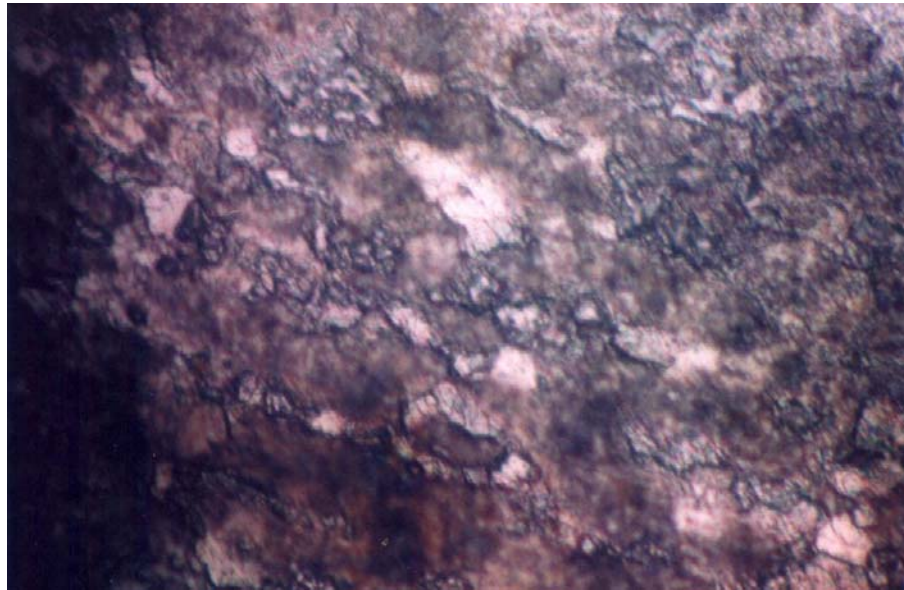


Gambar 5. Struktur mikro Baja St 42 sebelum proses nitridasi (Etsa nital 3 %, perbesaran 400 X).

Untuk hasil pengujian struktur mikro material baja St 42 setelah dinitridasi ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7. Gambar 6 menunjukkan struktur mikro pada permukaan baja ST 42 setelah proses nitridasi dengan plasma lucutan pijar DC pada suhu yang dapat dicapai 370 °C dan waktu deposisi 3 jam. Pada kondisi ini masih terdapat fasa ferrit dan perlit, tetapi fasa ferrit lebih halus dibandingkan sebelum di nitridasi.

Perubahan bentuk butir menjadi lebih halus

disebabkan adanya larutan interstisi dari atom nitrogen ke dalam substrat (Fe) sehingga merubah fase dari Fe menjadi FeN serta memperhalus butir. Dengan berubahnya fase Fe menjadi FeN dan butiran-butiran menjadi halus, maka substat mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dan kekuatan yang besar dibanding kondisi semula. Lapisan perlit halus mempunyai daerah batas butir per satuan volume, yang lebih besar dan meningkatkan kekerasan serta kekuatan^[2].



Gambar 6. Struktur mikro pada permukaan baja ST 42 setelah proses nitridasi pada suhu mencapai 370 °C dan waktu deposisi 3 jam (Etsa nital 3 %, perbesaran 400 X).



Gambar 7. Struktur mikro pada penampang melintang dari material baja ST 42 sesudah proses nitridasi dengan suhu mencapai 370 °C dan waktu deposisi 3 jam (Nital 3% , perbesaran 100 X).

Struktur mikro pada penampang melintang dari material baja ST 42 sesudah dinitridasi dengan suhu mencapai 370 °C dan waktu deposisi 3 jam ditunjukkan pada Gambar 7. Dari Gambar 7 terlihat jelas terjadi perubahan lapisan permukaan akibat nitridasi. Perubahan ini ditunjukkan dengan adanya pertumbuhan butir yang halus pada permukaan. Menurut perhitungan tebal lapisan nitrida besi akibat difusi atom nitrogen didapatkan $X = 132,06 \mu\text{m}$, sedangkan hasil pengukuran sebesar $150 \mu\text{m}$. Perbedaan antara perhitungan dan pengukuran disebabkan karena dalam perhitungan hanya didasarkan pada faktor difusi termal saja dan belum memperhitungkan efek energi kinetik akibat ion nitrogen dipercepat oleh medan listrik yang terpasang diantara elektroda.

Terdeposisinya atom nitrogen dan dilanjutkan dengan berdifusi dan bereaksi dengan besi (substrat) maka terbentuk nitrida besi. Nitrida besi ini mempunyai sifat yang sangat keras sehingga memperkeras permukaan substrat yang dinitridasi.

KESIMPULAN

Dari hasil proses nitridasi baja St 42 dengan nitridasi ion dan berdasarkan hasil pengolahan data dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kekerasan optimal pada hasil nitridasi dengan plasma lucutan pijar DC sebesar 325,93 KHN dicapai pada suhu nitridasi 370 °C tekanan 1,2 mbar dan waktu nitridasi 3 jam.
2. Peningkatan kekerasan dibanding dengan bahan awal sebesar 51,8%.
3. Dari hasil uji metalografi diperoleh perubahan struktur butiran ferrit dan perlit yaitu berubah menjadi butiran yang halus sehingga terjadi peningkatan kekerasan dan kedalaman difusi sebesar $150 \mu\text{m}$ sedangkan hasil perhitungan $132,06 \mu\text{m}$.

DAFTAR PUSTAKA

1. KONUMA, M., 1992, *Film Deposition By Plasma Techniques*, Spinger Verlag, Berlin.
2. VAN VLACK, 1995, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Edisi V, Penerjemah Sriati Djeprie, Erlangga, Jakarta.
3. DIETER, G.E., 1987, *Metalurgi Mekanik*, Penerjemah Sriati Djaprie, Penerbit Erlangga, Jakarta.
4. ALEXANDER W.O, *Dasar-dasar Metalurgi untuk Rekayasawan*, Penerbit Gramedia Pustaka Tama, 1991.

5. -----, *Metal Hand Book*, Heat Treating, Cleaning and Finishing Volume 2, 8th Edition, ASTM, United State of America (1988).
6. WASA, K. and HAYAKAWA, S., 1992, *Handbook of Sputter Deposition Tecnology*, Naves Publication, New York.
7. <http://www.Key-to-steel.com/Article/Art117.htm>, Nitriding
8. <http://www.Industrialheating.com/ArticleInfor/0,2832,135158,00.htm>, Ion Nitriding and Nitrocarburizing of Sintered PM Parts.

LAMPIRAN

Perhitungan Difusivitas

Koeffisien difusi

$$D = D_o \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

Dari tabel diperoleh :

$$D_o = 0,005 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$Q = 75 \text{ kJ/mol} = 75.000 \text{ J/mol}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol K}$$

$$T = 643 \text{ K}$$

Jadi koefisien difusi

$$D = 0,005 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s} \exp\left(-\frac{75000 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/mol K} \times 643 \text{ K}}\right)$$

$$D = 0,005 \times 10^{-4} \exp 14,02944$$

$$D = 4,3037 \cdot 10^{13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

Perhitungan Ketebalan Lapisan

Untuk waktu nitridasi (t) = 3 jam (10.800 detik), maka ketebalan lapisan difusi (X) adalah:

$$X = 2\sqrt{Dt}$$

$$X = 2\sqrt{4,037 \times 10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \times 10800 \text{ s}}$$

$$X = 2\sqrt{4,359 \times 10^{-9}}$$

$$X = 2 \times 6,603 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$X = 1,3206 \cdot 10^{-4} \text{ m} (132,06 \mu\text{m})$$

Perhitungan Kedalaman Difusi Berdasarkan Pengujian (Pengukuran)

$$X = \frac{L}{M}$$

dengan L adalah tebal lapisan difusi pada foto ($L = 15$ mm) dan M perbesaran foto ($M = 100$ kali).

$$X = \frac{15 \text{ mm}}{100}$$

$$X = 0,15 \text{ mm} = 150 \mu\text{m}$$

Pengujian Material Awal

Dari hasil pengujian material awal (baja St 42) sebelum proses nitridasi dan perhitungan deviasi, diperoleh Angka kekerasan Knoop rerata, yaitu :

$$\text{KHN} = 214,7 \pm 0,49$$

Pengujian Kekerasan Pada Permukaan Baja St 42 Setelah Proses Nitridasi

Tabel 4.1. Angka kekerasan Knoop rerata untuk material Baja St 42 hasil proses nitridasi dengan teknik plasma lucutan pijar DC.

Tekanan (mbar)	Waktu deposisi (jam)	KHN
5×10^{-1}	1	277 ± 17.14
	2	285.85 ± 12.14
	3	288.35 ± 9.08
	4	246.425 ± 9.57
8×10^{-1}	1	289.65 ± 9.6
	2	289.65 ± 3.21
	3	295.3 ± 3.247
	4	248.25 ± 20.66
1	1	282.625 ± 3.525
	2	293.825 ± 13.649
	3	308.15 ± 2.585
	4	252.725 ± 12.935
1,2	1	290.45 ± 18.1488
	2	299.45 ± 16.654
	3	325.925 ± 19.029
	4	264.85 ± 11.218
1,5	1	265.625 ± 12.040
	2	279.05 ± 18.617
	3	264.85 ± 8.768
	4	230.25 ± 16.573

Tabel 4.2. Prosentase kenaikan kekerasan Baja St 42 sesudah proses nitridasi dengan teknik plasma lucutan pijar DC.

Tekanan (mbar)	Waktu deposisi (jam)	Kenaikan kekerasan (%)
5×10^{-1}	1	29.01723
	2	33.13926
	3	34.30368
	4	14.77643
8×10^{-1}	1	30.4844
	2	34.90918
	3	37.54075
	4	15.62646
1	1	31.63717
	2	36.85375
	3	43.52585
	4	17.71076
1,2	1	35.28179
	2	39.47368
	3	51.80484
	4	23.35817
1,5	1	23.71914
	2	29.97205
	3	23.35817
	4	7.242664

TANYA JAWAB

Djoko Suprijanto

- Apakah komposisi kimia bahan dasar (row) sudah diketahui.
- Waktu nitridasi 3 jam optimum, mengapa lebih dari itu kekerasan justru turun?
- Apakah kekerasan hanya dipengaruhi besarnya butir bukan terbentuknya senyawa baru FeN, Fe₂N?

Suprpto

- Komposisi kimia bahan dasar hasil pengujian Fe = 98,51%, C = 0,26%, Si = 0,214%, dst.
- Jika waktu nitridasi lebih dari 3 jam mengalami penurunan kekerasan dimungkinkan karena tambahan nitrogen menyebabkan fasa keras bergeser ke fasa lunak atau atom-atom nitrogen menumpuk pada permukaan yang tidak berdifusi dengan material induk sehingga menyebabkan penurunan kekerasan.

- Kekerasan dipengaruhi oleh perubahan butir dan senyawa baru yang terbentuk missal FeN , Fe_2N atau Fe_4N seperti yang Bapak ungkapkan, tetapi senyawa baru yang terbentuk akan merubah ukuran butir yang dihasilkan.

Hadi Suwarno

- Lapisan nitrid untuk steel cs biasanya sekitar 300 ~ 500 μm .
- Dapatkah ditampilkan hasil dari penelitian lain sehingga kita bisa membandingkannya?
- Pada kondisi operasi Sdr. Tebal 150 μm grafik kekerasan menurun, padahal seharusnya belum. Mohon penjelasannya.

Suprpto

- Berdasarkan acuan tentang kedalaman lapisan nitride adalah 300 $\mu s/d$ 600 μm .^[5]
- Dari hasil nitridasi baru didapatkan kedalaman nitridasi 150 μm dan belum mencapai optimum sesuai jawaban no. 1. Hal ini disebabkan karena suhu operasi alat baru mencapai 370 °C dan seharusnya suhu nitridasi antara 500 °C s/d 600 °C. Untuk mencapai suhu operasi ini sedang disempurnakan peralatan tersebut (ion nitriding) dengan meningkatkan daya plasma yang dihasilkan.