

## PENGARUH DOSIS ION PADA IMPLANTASI ION KARBON DAN NITROGEN TERHADAP KEKERASAN BAJA HQ7210

Muhammad Budi Nur Rahman<sup>1\*</sup>, Sudarisman<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jl. Lingkar Selatan Tamantirto Kasihan Bantul D.I. Yogyakarta.

\*Email: [nurrahman\\_umy@yahoo.co.id](mailto:nurrahman_umy@yahoo.co.id) / [budinurrahman@umy.ac.id](mailto:budinurrahman@umy.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dosis ion pada proses implantasi ion karbon dan ion nitrogen terhadap kekerasan permukaan baja karbon rendah HQ 7210 dan struktur mikro yang dihasilkan dengan energi ion 100 keV. Dosis ion karbon divariasi dari 3; 7; 12; 18, dan 27 ( $\times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>), sedangkan dosis ion nitrogen juga divariasi dengan 30; 60; 90; 180 dan 270 ( $\times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>) dengan energi ion 100 keV dan arus 10  $\mu$ A. Pengujian kekerasan sesuai dengan ASTM D1474, menggunakan micro hardness tester MXT 70 Matuzawa dan struktur mikro dengan menggunakan Inverter Metallurgical Microscope dengan pembesaran 200 kali. Baja karbon rendah HQ 7210 memiliki kadar karbon 0,14 – 0,19 % dan kekerasan sebesar 274,69 KHN<sub>70</sub>. Implantasi ion karbon meningkatkan kekerasan dan mencapai tertinggi pada dosis  $12 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> dengan kadar karbon sekitar 1,7 % dengan nilai kekerasan sebesar 377,47 KHN<sub>70</sub> atau meningkat 37,41 %. Implantasi ion nitrogen meningkatkan kekerasan seiring bertambahnya dosis ion yang diberikan. Peningkatan kekerasan tertinggi terjadi pada dosis  $90 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> dengan nilai kekerasan 330,4 KHN<sub>70</sub>, dan terus meningkat hingga pada dosis  $270 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> dengan nilai kekerasan 366,02 KHN<sub>70</sub>. Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa semakin besar dosis ion karbon yang diimplan, maka batas butir pada permukaan semakin terlihat jelas. Struktur mikro setelah implantasi ion nitrogen tidak terlihat karena tertutupi lapisan nitrogen dibagian permukaannya.

**Kata kunci:** baja, dosis ion, karbon, nitrogen, kekerasan mikro

### PENDAHULUAN

Baja karbon rendah adalah salah satu jenis baja karbon, dengan persentase unsur karbonnya di bawah 0,3%. Baja karbon rendah banyak digunakan sebagai komponen mesin seperti roda gigi, poros, dan komponen lainnya yang tidak membutuhkan tegangan tarik dan kekerasan yang relatif tinggi, karena harganya relatif murah dan mudah pembentukannya. Permasalahan yang timbul berupa laju keausan yang tinggi dan umur yang pendek karena sering mengalami pengausan permukaan atau bidang kontak. Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa kehilangan fungsi atau kegagalan komponen mesin disebabkan oleh kerusakan pada permukaan (Malau dan Khasani, 2008). Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan bahan yang mempunyai sifat keras dan ulet. Bahan yang memenuhi sifat keras dan ulet adalah baja karbon rendah dan baja paduan. Baja karbon mudah didapat di pasaran dan harganya lebih murah, namun sifat kekerasan yang rendah, sedangkan baja paduan mempunyai sifat kekerasan yang lebih tinggi, namun harganya lebih mahal (Pribadi, dkk, 2008). Agar didapatkan harga yang lebih murah dan memenuhi sifat-sifat yang diinginkan maka dapat dipilih baja karbon rendah dengan diperbaiki sifat kekerasannya pada bagian permukaan.

Jika karbon dikombinasikan dengan besi akan membentuk karbida Fe<sub>3</sub>C atau *sementit* yang sifatnya keras. Penambahan lebih lanjut akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik baja. Jika kadar karbon meningkat sampai di atas 0,85% kekuatan akan cenderung turun meskipun kekerasan relative tetap. Pengerasan permukaan baja merupakan metode untuk memperbaiki sifat-sifat permukaan baja. Metode pengerasan permukaan yang telah lama dikenal adalah karburisasi, karbonitridasi, nitridasi, nyala api dan induksi listrik. Metode-metode permukaan tersebut selain memerlukan waktu yang lama juga dilakukan pada temperature tinggi, sehingga pada saat

didinginkan material akan mengalami *thermal stress* yang akan mengakibatkan terjadinya perubahan dimensi (Kartikasari, dkk, 2001).

Implantasi ion pada logam pada saat ini dapat dipandang sebagai metode modifikasi permukaan logam modern yang penting (Granata dan Moore, 1986). Meskipun kedalaman yang dihasilkan relatif dangkal. Menurut Hirvonen (1996), implantasi ion telah terbukti dapat memperbaiki sifat-sifat permukaan logam seperti kekerasan, ketahanan aus, ketahanan korosi, kekuatan patah, dan ketahanan lelah.

Teknik implantasi ion mempunyai beberapa keunggulan yaitu proses dapat dikerjakan pada temperatur kamar sehingga timbulnya *thermal stress* dapat dihindari, tidak ada perubahan dimensi yang berarti dari material/komponen yang diperlakukan, prosesnya lebih cepat, tidak perlu perlakuan lagi, kedalaman penyisipan maupun distribusi atom dapat dikendalikan secara akurat, dan kemurnian atom sisipan dapat dipilih secara akurat (Deutchman, 1996) sedangkan kelemahannya adalah teknologinya sangat kompleks dan harganya mahal.

Beberapa penelitian sebelumnya yang meneliti tentang Pengerasan permukaan baja, seperti Iwaki (1989) melakukan penelitian peningkatan kekerasan *tool steel* dengan teknik implantasi ion nitrogen dengan energi 90 keV dan dosis  $3 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>. Dari hasil implantasi ion nitrogen tersebut, ternyata dapat menaikkan kekerasan permukaan sampai 90%. Selain itu, Susita, dkk (1996) melakukan penelitian dengan teknik implantasi ion nitrogen pada AISI H 13. Hasilnya peningkatan kekerasan dari AISI H 13 dapat mencapai 75% pada dosis  $1,07 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup> dengan energi ion 90 keV.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh implantasi ion karbon dan ion nitrogen terhadap kekerasan permukaan baja karbon rendah HQ 7210 dan struktur mikro yang dihasilkan dengan energi ion 100 keV dan variasi dosis ion.

## KAJIAN PUSTAKA

Penggunaan baja karbon rendah banyak sekali ditemukan pada komponen mesin maupun komponen suatu konstruksi. Komponen mesin yang terbuat dari baja karbon rendah dapat berupa roda gigi dan juga poros dengan beban yang relatif kecil. Baja karbon rendah memiliki kekerasan yang rendah sehingga cepat aus dan umurnya relatif pendek apabila mendapatkan pembebanan berulang. Dengan memberi lapisan permukaan dengan implantasi, maka diharapkan kekerasan bahan akan mengalami kenaikan dari sebelum dilakukan implantasi.

Iwaki (1989) telah melakukan implantasi ion nitrogen terhadap *tool steel* pada suhu kamar dengan energi 90 keV dan dosis  $3 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>. Implantasi ion nitrogen ini dapat menaikkan kekerasan permukaan sampai 90%. Susita, dkk (1996) melakukan penelitian peningkatan kekerasan dari AISI H 13 dapat mencapai 75% bila baja ini diimplantasi ion nitrogen pada dosis  $1,07 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup> dengan energi ion 90 keV.

Habib, dkk (2005) telah melakukan penelitian tentang ketahanan korosi baja tahan karat austenitik dalam media asam klorida dengan pelapisan implantasi pada permukaan *stainless steel* 304 dan 316 dengan ion tembaga pada dosis bervariasi dari  $0.212 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup> sampai  $4.029 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>. Proses *doping* dilakukan dengan menggunakan mesin implantasi ion pada energi 100 keV. Hasil uji yang telah diperoleh menunjukkan bahwa SS 304 yang diimplantasi dengan dosis  $1.697 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup> mampu memperlambat laju korosi sampai 7.243 kali terhadap SS 304 yang tak diimplantasi, yaitu dari 16.22 mpy menjadi 2.24 mpy. Sedangkan, untuk SS 316 yang diimplantasi dengan dosis  $1.606 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup> mampu memperlambat laju korosi sampai 2.418 kali terhadap SS 316 yang tak diimplantasi, yaitu dari 13.97 mpy menjadi 5.78 mpy.

Sumarmo, dkk (2006) telah melakukan pengujian kekerasan permukaan baja karbon rendah tipe ST 36 hasil nitridasi menggunakan teknik plasma lucutan pijar. Untuk spesimen uji ukuran diameter 20 mm dan tebal 10 mm dinitridasi pada kondisi jarak antar elektrode 4 cm, tekanan vakum  $2 \times 10^{-1}$  Torr, sedang temperatur dan lamanya proses divariasikan yaitu masing-masing 200, 250, 300, 350°C dan 30, 60, 90, 120, 150 menit. Hasil uji yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kekerasan rata-rata awal baja ST 36 adalah sebesar  $14,68 \pm 0,03$  KHN, setelah dinitridasi pada berbagai variasi temperatur dan lamanya proses diperoleh kekerasan optimum sebesar  $386,74 \pm 3,3$  KHN. Hasil tersebut dicapai pada kondisi temperatur 300°C dan lamanya proses 150 menit. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa proses nitridasi dapat meningkatkan kekerasan permukaan sebesar 169,16%.

Pribadi, dkk (2008) tentang pengerasan permukaan baja St 40 dengan teknik carburizing plasma lucutan pijar dengan variasi suhu 150, 200, 250 dan 300 °C dan variasi waktu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Hasil proses karburisasi diperoleh nilai kekerasan maksimum 582 KHN pada suhu 300 °C dan waktu 120 menit.

Sudjadi (2009) meneliti pengaruh nitrocarburizing terhadap perubahan kekerasan dan struktur mikro pada bahan Zr-4 (bahan untuk cladding bahan bakar nuklir PWR). Beberapa sampel telah di nitrocarburizing pada suhu (550 – 700) °C selama 1 jam. Hasilnya menunjukkan bahwa, pada sample awal kekerasan Zr-4 adalah 183,8 HV, setelah di nitrocarburizing pada suhu 700 °C selama 1 jam, kekerasannya menurun menjadi 153,1 HV, sedangkan kedalaman atom-atom nitrogen dan carbon yang terdifusi kedalam bahan Zr-4 ialah 26 micrometer. Pengamatan strukturmikro menunjukkan bahwa pada sampel yang telah di nitrocarburizing pada  $T = 700$  °C ( $t = 1$  jam) terlihat jelas adanya lapisan atom-atom N dan C di dalam bahan Zr-4. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa pada sampel awal bahan Zr-4 terdapat atom-atom Zr, O, C, dan P.

Implantasi ion adalah teknik pencangkakan ion-ion berenergi tinggi ke dalam material padat. Besarnya energi ion yang digunakan dapat berkisar antara beberapa ribu elektron volt hingga jutaan elektron volt (Deutchman, 1996). Sedangkan menurut Sujitno (2003) implantasi ion adalah suatu proses penambahan unsur asing (dopan) ke dalam permukaan material sasaran dengan cara pengionan atom asing tersebut. Selama proses implantasi, ion-ion dopan yang ditembakkan pada material target bertumbukan dengan atom-atom material target, sehingga ion-ion dopan kehilangan energi dan akhirnya berhenti pada jarak tertentu dari permukaan target (Dearmaley, 1987)

Implantor ion merupakan jenis akselerator ion yang secara khusus didisain untuk mengimplantasikan/menginjeksikan ion-ion dari suatu atom atau molekul ke dalam permukaan suatu material atau komponen target. Proses implantasi diawali dengan proses pengionan atom-atom atau molekul yang akan diinjeksikan, percepatan dalam tabung akselerator/pemercepat oleh medan listrik, pemfokusan dalam medan elektromagnet kemudian menembakkannya ke permukaan material target (Djaloeis, 1998). Pemanfaatan implantor ion bermula dari permintaan pasar yaitu pada waktu para ahli fisika nuklir yang kesulitan dalam memproduksi target tritium yang berbentuk gas dan berbahaya, maka saat itu (sekitar tahun 1965) yang mampu menyelesaikan masalah tersebut adalah teknologi implantasi ion (Dearmaley, 1973). Untuk memproduksi target tritium yang berwujud padatan maka tritium tersebut diionkan kemudian ditembakkan dan disimpan dalam tantalum yang berbentuk padatan. Dengan diperolehnya tritium dalam bentuk padat maka para ahli fisika nuklir dengan mudah memproduksi neutron cepat dengan cara menembakkan ion deuterium ke permukaan target tritium melalui reaksi nuklir (D,T). Implantor ion yang secara khusus digunakan untuk memproduksi neutron dinamakan Generator Neutron (Ryssel dan Ruge, 1989). Sejak sukses besar tersebut aplikasi implantor ion dikembangkan pada pembuatan komponen elektronik dan kini sudah mapan (Sujitno, 2003)

**METODOLOGI**

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah baja Karbon rendah HQ 7210 yang dibentuk silinder berdiameter 25 mm dengan tebal 10 mm disesuaikan dengan ukuran alat yang digunakan, ion karbon dan ion Nitrogen. Proses implantasi ion karbon dilakukan menggunakan akselerator implantasi ion 150 keV/2mA di P3TM-BATAN. Variasi dosis ion dilakukan dengan mengubah lamanya proses implantasi sedangkan energi dan arus dipertahankan sebesar 100 keV dan 10µA. Setelah dilakukan perhitungan diperoleh dosis ion dan waktu yang diperlukan untuk mendapatkan dosis tersebut dalam Tabel 1 berikut.

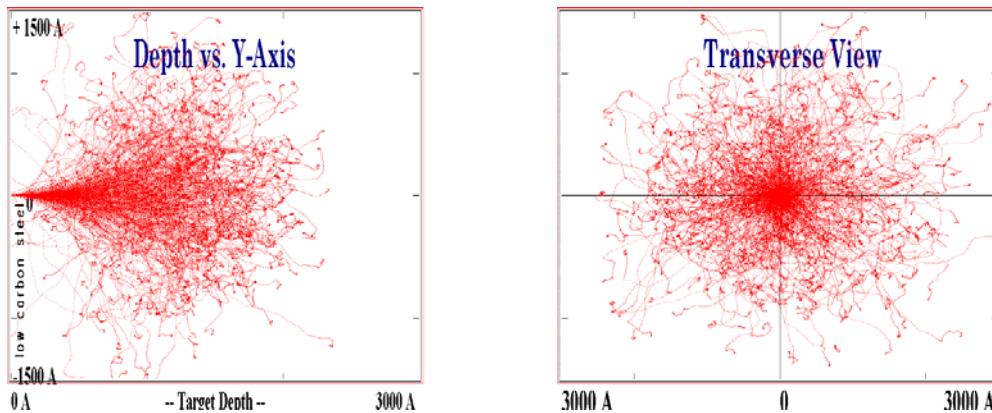
Tabel 1 Waktu implantasi ion karbon dan ion nitrogen terhadap dosis ion

Ion Karbon		Ion Nitrogen	
Waktu Implantasi (Menit)	Dosis ion ( $\times 10^{15}$ ion/cm <sup>2</sup> )	Waktu Implantasi (Menit)	Dosis ion ( $\times 10^{15}$ ion/cm <sup>2</sup> )
10	3	5	30
25	7	10	60
40	12	15	90
60	18	30	180
90	27	45	270

Pengujian kekerasan menggunakan *Micro Hardness Tester MXT 70*, di PAU-UGM sesuai dengan ASTM D1474. Pengamatan struktur mikro menggunakan *Inventer Metallurgical Microscope* di laboratorium D3 Teknik Mesin.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Implantasi ion karbon adalah suatu teknik yang memungkinkan untuk menyisipkan ion karbon ke dalam permukaan baja. Jika sebuah energi ion tertentu menembus permukaan bahan maka ion tersebut akan kehilangan energinya melalui proses hamburan. Energi ion yang hilang ini menentukan jangkauan akhir dari ion ke dalam bahan dan menghasilkan sejumlah ketakteraturan (kerusakan) dalam kisi-kisi atom bahan. Dengan menggunakan program trim maka dapat diketahui berkas ion (Gambar 1) dan jangkauan ion yang diimplantasi sedalam 1260 Å.



(a) Tampak samping (b) Tampak atas  
Gambar 1. Berkas ion karbon yang diimplan ke dalam baja karbon rendah

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis permukaan dari material baja karbon sedang sebagai material uji dalam penelitian ini. Pengujian kekerasan mikro menggunakan *Digital Micro Hardness Tester MX T70* (kekerasan knoop) dengan setiap dosis dilakukan pengujian sebanyak 5 titik yang dipilih secara acak.

Dari Tabel 2. dapat diketahui bahwa semakin lama implantasi ion maka dosis ion akan semakin meningkat. Dosis ion yang dihasilkan pada ion karbon lebih rendah dibandingkan menggunakan ion nitrogen. Dengan waktu implantasi ion nitrogen setengah kali waktu implantasi ion karbon, dosis ion nitrogen yang terdepositasi dalam material sebesar 10 kali lipat dibandingkan menggunakan ion karbon. Namun nilai kekerasan yang dihasilkan tidak jauh berbeda dimana kekerasan material meningkat pada setiap dosis ion.

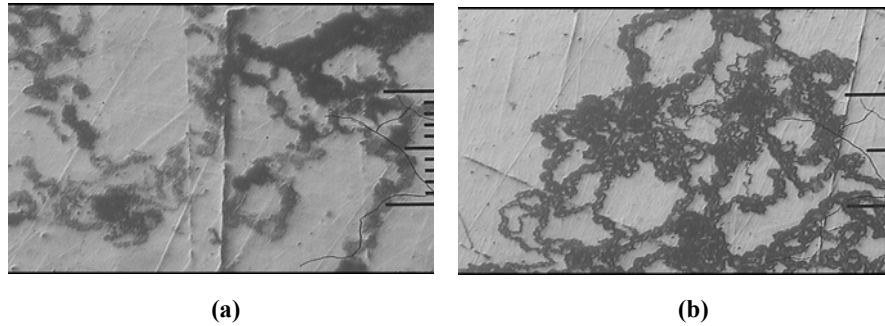
Tabel 2 Nilai kekerasan akibat dosis ion proses implantasi ion

No	Implantasi Ion Karbon			Implantasi Ion Nitrogen		
	Lama Implantasi (Menit)	Dosis ion ( $\times 10^{15}$ ion/cm <sup>2</sup> )	Nilai Kekerasan (KHN <sub>70</sub> )	Lama Implantasi (Menit)	Dosis ion ( $\times 10^{15}$ ion/cm <sup>2</sup> )	Nilai Kekerasan (KHN <sub>70</sub> )
1	0	0	274,69	0	0	274,52
2	10	3	284,24	5	30	285,28
3	25	7	314,38	10	60	309,40
4	40	12	377,47	15	90	330,50
5	60	18	290,86	30	180	338,01
6	90	27	315,25	45	270	366,02

Berdasar Tabel 2 dan Gambar 3, material sebelum diimplantasi memiliki nilai kekerasan rata-rata 274 KHN<sub>70</sub> yang digunakan sebagai pembanding. Dengan lama implantasi 10 menit diperoleh dosis ion  $3 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>, nilai kekerasan sebesar 284,24 KHN<sub>70</sub> meningkat sebesar 3,47%. Lama implantasi 25 menit dosis ion  $7 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> nilai kekerasan sebesar 314,39 KHN<sub>70</sub> meningkat 14,45% dari material awal. Kekerasan permukaan baja HQ 7210 terus meningkat dari material yang awal hingga mencapai maksimum pada lama waktu implantasi 40 menit atau dosis  $12 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> menjadi 377,47 KHN<sub>70</sub> meningkat 37,41%. Peningkatan kekerasan permukaan yang terjadi dalam proses implantasi ion terjadi karena adanya peningkatan kerapatan atom–atom dalam material target serta adanya perubahan fasa menjadi fasa perlit dan sementit (Dresselhaus, M.S., Kalish, R. 1982). Semakin tinggi dosis ion (semakin banyak ion yang menumbuk) cacat–cacat kristal yang terbentuk akan semakin banyak (Herman, 1981). Jumlah ion karbon yang terimplantasi ke dalam material untuk menggeser atom–atom Fe maupun menyisip di antara atom–atom Fe akan mengakibatkan kepadatan atom–atom material target meningkat dan akhirnya akan mencapai titik jenuh. Pada saat itu bahan mencapai kekerasan maksimum.

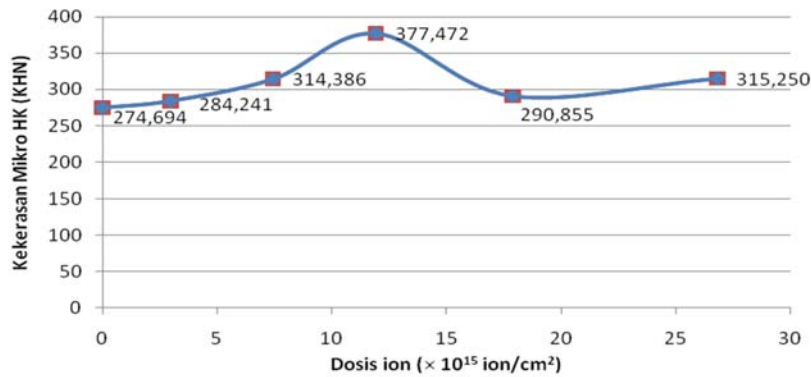
Peningkatan jumlah ion lebih lanjut akan menurunkan kembali nilai kekerasan permukaan, karena ion–ion karbon yang terus bertambah setelah tercapai titik jenuh akan berkumpul menempati tempat–tempat kosong yang ditinggalkan atom–atom target, sehingga yang terbentuk bukan lagi sebagai ikatan karbida besi melainkan hanya merupakan tumpukan atom–atom karbon. Seperti pada lama implantasi 60 menit (dosis ion  $18 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>) nilai kekerasan sebesar 290,855 KHN<sub>70</sub> turun 22,95% dari material yang diimplantasi selama 40 menit. Selanjutnya nilai kekerasan pada dosis ion  $27 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> lama waktu implantasi 90 menit adalah 315,25 KHN, dan mengalami kenaikan kembali dari material yang diimplantasi 60 menit. Hal ini karena terjadi perubahan fasa kembali menuju ke fasa perlit, sementit dan *transformed ledeburite* yang dapat dilihat pada Gambar 2. sekitar 14,33% atom karbon atau sekitar 3,5% *weight* karbon.

Jika dosis ion yang diberikan pada proses implantasi semakin besar, maka kekerasan permukaan justru akan semakin turun. Hal ini disebabkan bahan mengalami sifat jenuh atau adanya penyebaran lapisan sampai ke sisi permukaan sehingga yang terdapat pada permukaan bukan lagi unsur senyawa nitrida besi melainkan hanya unsur ion–ion nitrogen (Sumarmo, dkk, 2006).

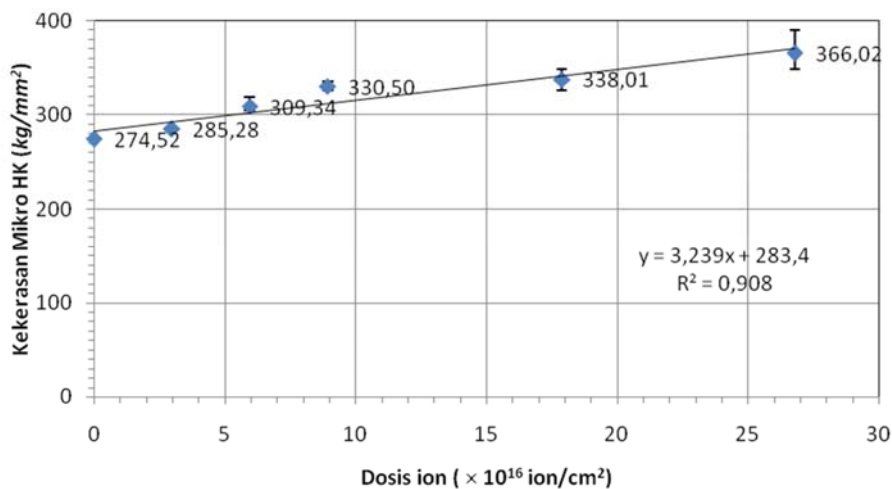


Gambar 2. Hasil foto mikro permukaan logam setelah proses implantasi ion karbon.  
 (a) Dosis ion  $7 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>, (b) Dosis ion  $12 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>

Pada Gambar 2. (a) terlihat warna yang lebih cerah pada permukaan cuplikan yang menandakan adanya penyisipan ion-ion karbon ke dalam kisi-kisi atom besi. Penyisipan yang terjadi kemungkinan besar berupa cacat-cacat intertisi yang diduga membentuk fasa baru Fe<sub>3</sub>C yang setimbang dan akan menghasilkan sifat lebih keras pada permukaan bahan. Pada Gambar 2 (b) terlihat batas butir pada permukaan material lebih jelas.



Gambar 3. Nilai kekerasan dengan dosis ion ( $\times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>) dengan implantasi ion karbon



Gambar 4. Nilai kekerasan dengan dosis ion ( $\times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>) dengan implantasi ion nitrogen

Data pada Tabel 2 seperti pada Gambar 4 menunjukkan nilai kekerasan akibat proses implantasi ion nitrogen semakin meningkat dengan peningkatan lama implantasi ion dan dosis ion dan dengan metode implantasi ion nitrogen dapat meningkatkan nilai kekerasan material. Hal ini disebabkan karena pada permukaan substrat (atom-atom Fe) telah berikatan kuat dengan ion-ion

nitrogen yang berdifusi menempati posisi sisipan pada batas butir pada permukaan substrat, sehingga kerapatan bahan disekitar permukaan meningkat dan menghasilkan lapisan tipis nitrida besi. Pada dosis lebih rendah ion-ion nitrogen belum secara maksimal berikatan dengan atom-atom Fe, dimana pada permukaan substrat masih banyak terdapat ruang sisipan yang belum terisi oleh ion-ion nitrogen, sehingga kekerasannya masih rendah.

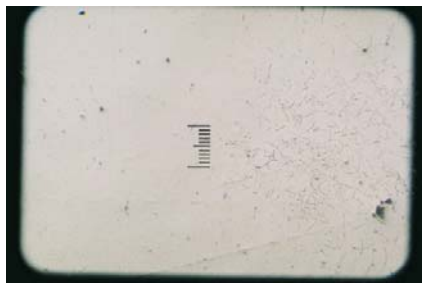
Material yang diimplantasi selama 5 menit dengan dosis  $30 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>, diperoleh data nilai kekerasan rata-rata sebesar 285,28 KHN<sub>70</sub>. Dari perlakuan ini kekerasan material mengalami peningkatan sebesar 3,91%. Nilai kekerasan pada dosis  $60 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup> dengan lama implantasi 10 menit adalah 309,40 KHN<sub>70</sub>, dan mengalami kenaikan 12,68%. Nilai kekerasan pada dosis  $90 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> dengan lama implantasi 15 menit adalah 330,50 KHN<sub>70</sub>, yang mengalami kenaikan 20,39%. Semakin tinggi dosis ion (semakin banyak ion yang menumbuk) cacat-cacat kristal yang terbentuk akan semakin banyak (Herman, 1981). Pada saat proses implantasi dengan dosis  $90 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>, ion-ion nitrogen yang terdeposisi ke dalam permukaan substrat akan semakin banyak. Hal ini akan menyebabkan terjadinya ikatan yang kuat antara ion-ion nitrogen dengan unsur Fe pada permukaan substrat sehingga yang terbentuk bukan lagi sebagai karbida besi, melainkan hanya merupakan unsur senyawa nitrida besi.

Kenaikan nilai kekerasan untuk dosis implantasi ion lebih tinggi tidak terlalu besar. Material yang diimplantasi selama 30 menit dengan dosis  $180 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>, diperoleh data nilai kekerasan rata-rata sebesar 338,01 KHN<sub>70</sub> atau 23,12% dari material awal sedangkan pada dosis  $270 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> dengan lama implantasi 45 menit mengalami kenaikan 33,32% dari material awal dengan nilai kekerasannya menjadi 366,02 KHN<sub>70</sub>. Adanya peningkatan nilai kekerasan logam berarti proses pendeposisian atom-atom tersebut berhasil dan mampu membentuk permukaan logam menjadi semakin keras dan padat akibat penghalusan struktur butirnya. Hal ini berarti bahwa logam dengan struktur butir lebih halus cenderung lebih kuat dan keras.

Semakin besar dosis ion yang diberikan pada saat proses implantasi nitrogen maka cacat-cacat permukaan yang terjadi pada saat proses persiapan bahan semakin tertutupi oleh lapisan nitrogen seperti terlihat pada Gambar 5. Permukaan cuplikan terlihat lebih cerah yang menunjukkan adanya penyisipan ion-ion nitrogen ke dalam kisi-kisi atom besi. Penyisipan yang terjadi kemungkinan besar berupa cacat-cacat intertisi yang diduga membentuk fase baru Fe-N yang seimbang dan menghasilkan sifat lebih keras pada permukaan bahan.



(a) Dosis ion  $30 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>



(b) Dosis ion  $90 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>

Gambar 5. Hasil foto mikro permukaan benda setelah proses implantasi ion nitrogen.

## KESIMPULAN

1. Kekerasan material akan meningkat dengan peningkatan dosis ion. Peningkatan kekerasan permukaan maksimum terjadi pada dosis ion  $12 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> dengan waktu 40 menit yaitu 37,41% sebesar 377,47 KHN<sub>70</sub>, namun kekerasan turun pada dosis  $18 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> karena terbentuk lapisan amorf, dan naik kembali pada dosis  $27 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>, karena terjadi perubahan fasa dari fasa ferit dan perlit menjadi fasa perlit, sementit dan *transformed ledeburite*. Semakin besar dosis ion karbon yang diimplan, maka semakin terlihat batas butir pada permukaan.
2. Implantasi ion nitrogen mampu meningkatkan kekerasan baja karbon rendah HQ 7210 pada setiap dosisnya. Peningkatan kekerasan tertinggi terjadi pada dosis  $90 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> dengan waktu implantasi 15 menit mampu meningkatkan kekerasan hingga 20,39% dengan nilai kekerasan 330,40 KHN<sub>70</sub>. Penambahan dosis lebih lanjut tidak begitu berpengaruh terhadap

peningkatan kekerasan, sampai dosis ion  $270 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup> sebesar 366,02 KHN<sub>70</sub>. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa semakin besar dosis ion nitrogen yang diimplan, maka permukaan cuplikan yang kurang rata akan semakin tertutupi oleh lapisan tipis yang terbentuk karena penyisipan ion-ion nitrogen, dan permukaannya juga akan terlihat semakin cerah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Dearmaley, G. 1987. *Ion Implantation Part II: Ion Implantation in Nonelectronic Materials, Nuclear Instrument and Methods in Physics Research, Vol. B24/25.*, 506-511.
- Dearmaley, G., Freeman, J.H., Nelson, L.S., dan Stephen, J. 1973. *Ion Implantation. North Holland Publishing Company.* Amsterdam.
- Deutchman, A.H., Partyka, R.J., Lewis, C. 1996. *Ion Nitriding and Ion Implantation: Process Characteristics and Comparisons, in Ion Nitriding and Ion Carburizing Conference Proceeding. Ed. Spalvins, T. and Kovacs, W.L., ASM Int. Park. Ohio.*
- Djaloeis. 1998. Pengembangan Teknologi Akselerator dan Pemanfaatannya di Indonesia. Prosiding Seminar Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY – BATAN, 23 – 25 April 1998.
- Dresselhaus, M.S., Kalish, R. 1982. *Ion Implantation in Diamond, Graphite and Related Materials, Springer Series in Materials Science 22, Springer-Verlag.* New York.
- Granata, R.D. dan Moore, P.G. 1986. *Surface Modification, dalam Metals Handbook. 9<sup>th</sup> ed. Vol 6. American Society for Metals, Metal Park. Ohio.*
- Habib, A.A.A, Prayoto, Anggraita, P. 2005. Efek Implantasi Ion Tembaga Terhadap Sifat Ketahanan Korosi Baja Tahan Karat Austenitik Dalam Media Asam Klorida. Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir. P3TM–BATAN. Yogyakarta.
- Herman, H. 1981. *Modification of The Surface Mechanical Properties of Ferrous by Nitrogen Ion Implantation. Proceeding of 3 rd International Conference on Modification of Surface Properties of Metals by Ion Implantation, Pergamon Press.* Oxford.
- Hirvonen, J.K. dan Sartwell, B.D. 1996. *Ion Implantation, dalam Surface Engineering, Metals Handbook, vol 6. American Society for Metals. Metals Park. Ohio.*
- Iwaki, M. 1989. *Formation of Metal Surface Layer with High Performance by Ion Implantation. Nuclear Instrument and Methods in Physics Research. Vol. 38* hal 661-666
- Kartikasari, R. Soekrisno, Sudjatmoko. 2001. Studi Pengaruh Implantasi Ion Karbon Terhadap Kekerasan Permukaan Baja AISI 1040. Majalah Ilmiah Teknologi Media Teknik No.2 Tahun XXIII Edisi Mei 2001.
- Malau, V. dan Khasani. 2008. Karakteristik Laju Keausan Dan Kekerasan dari *Park carburizing* pada Baja Karbon AISI 1020. Majalah Ilmiah Teknologi Media Teknik No.3 Tahun XXX Edisi Agustus 2008.
- Pribadi, B., Suprpto, Priyantoro, D. 2008. Pengerasan Permukaan Baja ST 40 Dengan Metode *Carburizing* Plasma Lucutan Pijar. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir. PTAPB–BATAN. Yogyakarta.
- Ryssel, H., dan Ruge, I., 1989. *Ion Implantation.* John Willey & Sons. New York.
- Sudjadi, U. 2009. Studi Tentang Pengaruh Nitrocarburizing Dcplasma Terhadap Perubahan Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Material Zr-4. Seminar Nasional V Sdm Teknologi Nuklir. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN. Yogyakarta, 5 November 2009
- Sujitno, T. 2003. Aplikasi Implantor Ion Untuk Non Semikonduktor dan Semikonduktor. Pelatihan Akselerator dan Pemanfaatannya. P3TM–BATAN. Yogyakarta, 23–27 Juni 2003.
- Sumarmo, Irianto, Karmadi, J. 2006. Pengujian Kekerasan Baja Karbon Rendah St 36 Hasil Nitridasi Menggunakan Teknik Plasma Lucutan Pijar. Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir. PTAPB–BATAN. Yogyakarta.
- Susita, L. Sudjatmoko, Sujitno, T. Darsono. Sulandari, S. Supardjono. 1996. Karakterisasi Struktur Mikro Stainless Steel Hasil Implantasi Ion Nitrogen. PPNY-BATAN, Yogyakarta.