

## ANALISIS KEKERASAN *MACHINE TOOL* DARI BAHAN LOGAM HASIL PROSES NITRIDASI PLASMA DENGAN VARIASI WAKTU DAN TEKANAN

Yadi Yunus<sup>1</sup>, Tjipto Sujitno<sup>2</sup>, Dwi Priyantoro<sup>1</sup>, dan Candra Puspito<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101/YKBB Yogyakarta 55281

<sup>2</sup> Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101/YKBB Yogyakarta 55281

yadiyunus@batan.go.id

### ABSTRAK

**ANALISIS KEKERASAN *MACHINE TOOL* DARI BAHAN LOGAM HASIL PROSES NITRIDASI PLASMA DENGAN VARIASI WAKTU DAN TEKANAN.** Telah dilakukan nitridasi plasma terhadap *machine tool*/pangkal mata bor terbuat dari bahan logam untuk diuji kekerasannya dengan metode Vickers dan diamati struktur mikronya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter waktu dan tekanan yang diperlukan guna mencapai kekerasan logam yang maksimal. Nitridasi sampel dilakukan dengan menggunakan teknik dan Mesin Plasma Nitriding. Sampel berupa pangkal mata bor dipotong-potong menjadi 16 sampel uji, masing-masing sampel uji dihaluskan menggunakan kertas ampelas 100, 180, 360, 600, 1000, 1200 mesh, dan dipoles dengan Autosol. Sampel dinitridasi dengan variasi tekanan dan waktu proses. Hasil uji kekerasan Vickers sampel sebelum nitridasi adalah 115,83 VHN. Setelah proses nitridasi pada tekanan nitridasi 1,8 mbar dan waktu 4 jam, kekerasan sampel yang diperoleh adalah 168,16 VHN atau meningkat sebesar 45,18% dibandingkan dengan sebelum nitridasi

Kata kunci : Nitridasi plasma, *machine tool*, parameter nitridasi, kekerasan vickers.

### ABSTRACT

**HARDNESS ANALYSIS OF THE METAL-BASE MACHINE TOOL AS PRODUCT OF PLASMA NITRIDING WITH VARIATION OF TIME AND PRESSURE.** Plasma nitriding has been done to the metal tool/drill bit base which then tested by the method of Vickers hardness and microstructure observation. The goal of this research is to know the parameters of time and the optimal pressure to achieve maximum metal hardness. Nitriding samples were made using techniques and Plasma Machines Nitriding. The base of the drill samples were cut into test samples, each test sample smoothed using sandpaper of 100, 180, 360, 600, 1000, 1200 mesh, and polished with Autosol. The samples were nitridated with variations of pressure and duration (time) of the process. Hardness Vickers of initial samples obtained was VHN 115.83, while after nitridated was VHN 168.16 or an increase of 45.18%, with a pressure of 1.8 mbar and a nitriding time of 4 hours.

Keyword : Plasma nitriding, metal base machine tools, nitriding parameters, hardness vickers

### PENDAHULUAN

Di industri manufaktur khususnya *machining tools*/alat-alat potong pada mesin perkakas mekanik seperti pahat bubut, pisau frais, mata bor dan lain-lain merupakan unsur penting dalam menunjang kelancaran dan kualitas produknya. Karena itu *tools* tersebut

perlu mendapatkan perhatian dan perlakuan khusus dalam proses pembuatannya. Karakter dari material untuk itu di antaranya harus keras, tahan aus, tahan korosi, ulet, dan tangguh. Pada bagian ujung pisau minimal harus lebih keras daripada benda kerja yang akan dimachining untuk pembuatannya, agar *tools* tidak cepat tumpul dan hasilnya lebih tepat, cepat dan presisi. Demikian pula seperti



pada pangkal mata bor dibutuhkan kekerasan tinggi agar tidak mudah patah dan pecah.

*Treatment* terhadap tools pada prinsipnya dapat dilakukan dengan berbagai metode, misalnya *quenching*, *hardening*, *tempering* dan *annealing*. Berbagai metode tersebut dalam penelitian ini dapat dikategorikan sebagai metode konvensional yang kesemuanya menerapkan unsur pemanasan dan pendinginan dalam pelaksanaannya. Dalam penelitian ini akan dilakukan percobaan *treatment* terhadap tools khususnya mata bor logam dengan teknik *Plasma Nitriding*, yang tujuannya untuk mengetahui karakter akhir dari tools, setelah mengalami *treatment* dengan metode tersebut, dan selanjutnya juga mengetahui parameter tekanan dan waktu yang tepat dari mesin Nitridasi Plasma *Double Chamber* untuk pengerasan mata bor.

## TEORI

*Treatment* material logam dapat didefinisikan sebagai suatu usaha dalam upaya meningkatkan kualitas material sesuai dengan yang diinginkan. *Treatment* material logam yang telah lazim dilakukan adalah dengan metode pemanasan material logam sampai suhu yang cocok dibiarkan beberapa waktu pada suhu itu, kemudian didinginkan ke suhu yang lebih rendah dengan kecepatan yang sesuai. *Treatment* panas terhadap logam tersebut antara lain *annealing* (pelunakan pada suhu rendah), *normalizing* (penormalan), *hardening* (pengerasan) dan *tempering*<sup>[1]</sup>. Pada logam, sifat material yang dapat diubah tersebut dapat meliputi sifat mekanik (kekuatan, keuletan, ketangguhan, kekerasan, ketahanan lelah, modulus elastisitas, ketahanan *impact*, ketahanan aus, dsb), sifat fisis (massa jenis, titik cair, panas jenis, struktur kristal, konduktivitas panas, koefisien muai, tahanan listrik, dsb), sifat kimia (korosi dan oksidasi), sifat optis (serapan, refleksi, dsb) maupun sifat magnetiknya<sup>[2]</sup>.

Metode lain dari *treatment* material adalah *treatment* permukaan dengan metode termokimia yang ini merupakan suatu metode pengerasan permukaan dengan mendifusikan atom-atom tertentu (karbon, nitrogen atau kedua-duanya) ke dalam permukaan material. Jenis-jenis pengerasan termokimia antara lain : *carburizing*, *cyaniding*, *carbonitriding*, dan *nitriding*<sup>[2]</sup>.

Metode *treatment* material dalam penelitian ini adalah metode pengerasan permukaan melalui *nitriding* yaitu dengan menambahkan nitrogen ke permukaan material. *Nitriding* dapat menghasilkan kekerasan permukaan dan ketahanan aus yang tinggi, serta tahan korosi dan temperatur tinggi. Metode ini untuk material baja paduan yang mengandung unsur paduan seperti aluminium, chromium, molybdenum, tungsten, atau vanadium<sup>[3]</sup>. Prinsip kerja proses *nitriding* adalah penambahan nitrogen pada permukaan material sehingga menjadi sangat keras. Dalam prosesnya, baja yang akan dikeraskan dipanaskan pada lingkungan yang mengandung nitrogen. Nitrogen dihasilkan dari proses penguraian gas amoniak (NH<sub>3</sub>) pada temperatur 500–600°C selama beberapa jam (1-100 jam). Jumlah atom nitrogen yang masuk ke dalam permukaan material tergantung dari temperatur dan konsentrasi nitrogen. Karena proses *nitriding* dilakukan pada temperatur yang relatif rendah (550°C) dan tidak melibatkan proses *quenching* yang menghasilkan martensit, maka kemungkinan timbulnya distorsi pada benda kerja yang dinitriding lebih kecil serta permukaan yang dihasilkan juga lebih keras dibandingkan dengan proses *carburizing*. Baja hasil proses *nitriding* mempunyai daya tahan terhadap keausan yang baik khususnya untuk bagian-bagian yang menghasilkan panas karena gesekan. Penggunaan metode ini umumnya untuk *valve guide*, *valve seating* dan *gear*<sup>[2]</sup>.

### *Plasma Nitriding*

Prinsip dasar dari *plasma nitriding* adalah metode pelapisan permukaan bahan dengan gas nitrogen berbentuk plasma untuk membentuk fase nitrida yang keras pada permukaan bahan. Proses nitridasi ini dilakukan pada tekanan rendah dan diberi beda potensial untuk melucutkan atom-atom gas sehingga terjadi lucutan pijar dan terjadi plasma. Proses *plasma nitriding* dapat dilakukan pada tekanan sekitar 0,2 mbar – 8 mbar dan temperatur 400–565°C, dan kondisi operasi dipengaruhi oleh komposisi gas yang digunakan<sup>[2]</sup>.

Cahaya pijar (*glow discharge*) terjadi disebabkan oleh emisi foton dari atom-atom nitrogen yang tereksitasi. Pada kondisi tersebut terjadi lucutan atom-atom nitrogen sehingga gerakan antar ion makin padat hingga



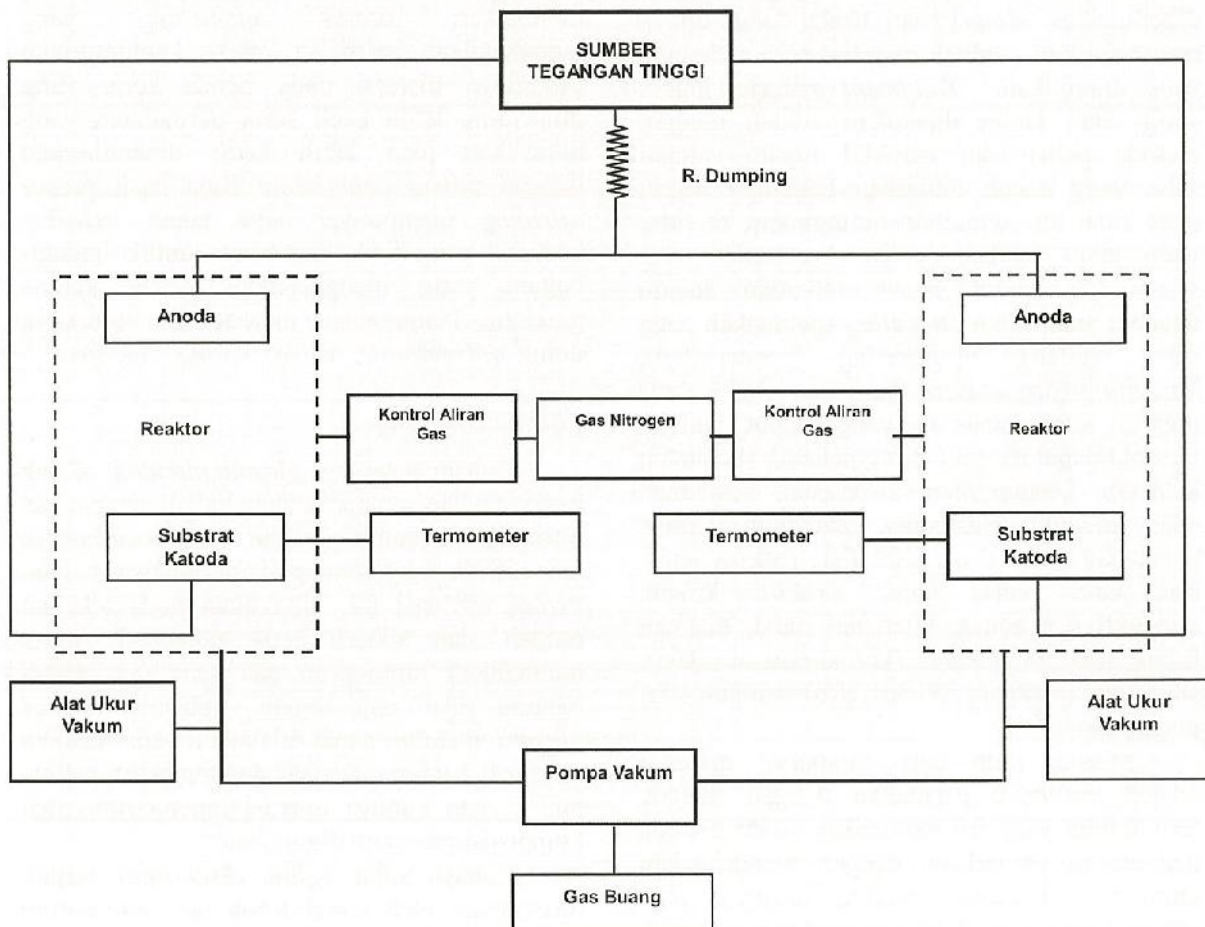
menghasilkan panas dari energi kinetik yang digunakan untuk meningkatkan temperatur ruangan plasma. Ion nitrogen akan bergerak ke katoda dan akan menumbuk bahan yang terdapat pada katoda akibat adanya beda potensial dan atom nitrogen akan berdifusi ke dalam bahan logam<sup>[4]</sup>.

**Mesin Plasma Nitriding**

Gambar 1 memperlihatkan skema blok mesin nitridasi plasma (*double chamber*)<sup>[5]</sup>. Mesin nitridasi plasma yang nyata seperti yang ditunjukkan Gambar 10 (Lampiran) , terdiri dari beberapa bagian yang meliputi:

1. Reaktor plasma adalah tempat untuk membangkitkan reaksi plasma. Bejana Reaktor ini dibuat dari *stainless steel* dan mempunyai ukuran diameter 600 mm, tinggi 900 mm.

2. Elektroda yang digunakan terbuat dari *stainless steel*. Katoda berdiameter 275 mm, dan tebal 15 mm. Anoda berbentuk selimut silinder berdiameter 500 mm dan tinggi 550 mm. Jarak vertical anoda ke katoda bagian ujung atas adalah 60 mm.
3. Resistor (*R*) *dumping*, ada 4 buah, masing-masing 27 ohm 2,5 kW
4. Pompa vakum yang digunakan untuk menghampakan tabung reaktor adalah pompa vakum *rotary Pfeiffer* tipe DUO 20 yang dapat menghampakan tabung hingga tekanan sampai  $10^{-3}$  mbar.
5. Sumber tegangan tinggi DC, untuk memberikan beda potensial antara anoda dan katoda. Sumber tegangan DC pada alat ini mampu menghasilkan tegangan hingga 1,2 kV dengan arus hingga 10 amper.
6. Alat ukur seperti amperemeter, voltmeter, termometer dan alat ukur tekanan vakum.



Gambar 1. Skema mesin nitridasi plasma nitriding<sup>[5]</sup>



### Difusi Atom

Atom-atom suatu bahan akan berada dalam keadaan diam dan stabil tidak bergerak lagi apabila berada pada suhu 0 K (-273 °C). Pada keadaan ini atom-atom akan berada pada keadaan energi yang terendah diantara atom-atom sekitarnya. Apabila material tersebut dinaikkan temperaturnya maka energinya akan meningkat dan menyebabkan atom-atom tersebut akan bergerak/bergeser sehingga menimbulkan jarak atom yang lebih besar yang memungkinkan atom-atom tersebut mempunyai energi yang lebih besar untuk melompat ke posisi baru. Proses pergerakan atom ini dinamakan difusi<sup>[3]</sup>.

Sifat difusitas masing-masing atom berbeda, dengan naiknya suhu akan menambah energi atom untuk bergeser, dan sejumlah kecil atom akan berpindah dalam kisi. Energi yang diperlukan untuk pindahnya sebuah atom dikenal dengan energi aktivasi, dalam satuan joule/mol. Pengaruh temperatur terhadap difusitas atom ke dalam atom lain dapat dirumuskan dalam persamaan (1).

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (1)$$

dengan:

- $D$  : koefisien difusi ( $m^2/s$ )
- $D_0$  : koefisien difusi awal ( $m^2/s$ )
- $Q$  : energi aktivasi (Joule/mol)
- $R$  : tetapan gas = 8,314 J/mol K
- $T$  : temperatur (K)

### High Speed Steel (HSS)

HSS merupakan salah satu bagian dari *tool steel* dengan karakteristik mampu mempertahankan nilai kekerasan pada suhu 300~700°C. Selain itu material HSS juga memiliki kadar karbon yang relatif lebih tinggi dibandingkan material *tool steel* lainnya yaitu berkisar 1,5~2,0% C. Unsur-unsur paduan utama yang terdapat dalam material HSS yang akan membentuk karbida adalah tungsten, molybdenum, vanadium, chromium. Unsur nickel dan manganese tidak begitu banyak digunakan yaitu berkisar 0.2~0.5%. Penambahan cobalt, boron, dan niobium merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan kinerja material. Material HSS bisa di hasilkan dengan proses pengecoran atau proses metalurgi serbuk<sup>[6]</sup>.

### Parameter proses

Parameter yang mempengaruhi nitridasi antara lain tekanan, temperatur, waktu, jumlah ion, maupun kecepatan aliran gas. Pada penelitian ini parameter proses yang digunakan adalah tekanan/aliran gas dan waktu. Tebal lapisan difusi dipengaruhi oleh temperatur dan waktu, hal ini seperti yang terlihat pada persamaan (2)<sup>[4]</sup>.

$$X \propto \sqrt{Dt} \quad (2)$$

dengan :  $X$  = tebal lapisan difusi (mm)

$t$  = waktu (sekon)

Berdasarkan persamaan (1) dapat diketahui bahwa makin tinggi temperatur proses maka makin tinggi nilai koefisien difusi, tebal lapisan difusi sebanding dengan besarnya koefisien difusi dan lama proses seperti persamaan (2). Jadi makin tinggi temperatur makin tebal pula lapisan difusi yang terjadi.

### Mekanisme Pengerasan Permukaan

Pengerasan permukaan terdiri dari 3 metode: *nitridasi*, *carburizing* dan *boriding*. Tujuan teknik ini adalah untuk mengeraskan lapisan permukaan, tanpa mempengaruhi kandungan material.

Nitridasi merupakan metode yang sebagian besar digunakan untuk meningkatkan daya tahan korosi, menghindari kelelahan material, dan untuk menambah kekerasan permukaan. Kekerasan yang dicapai dengan metode nitridasi dipertahankan hingga suhu yang tinggi. Suhu pada nitridasi konvensional yang digunakan untuk mempengaruhi pemisahan ammonia yang berlangsung secara parsial berkisar antara 480 s/d 650°C. Hal ini berlangsung dalam waktu yang lama (lebih dari 50 jam) sebelum tercapainya kekerasan yang diinginkan<sup>[2]</sup>.

Nitridasi plasma atau juga disebut nitridasi ion yaitu proses modifikasi permukaan yang serupa dengan oksidasi plasma. Akan tetapi nitrogen tidak berasal dari ion negatif dalam plasma atau dekat permukaan. Oleh sebab itu nitridasi plasma terjadi seperti proses katoda, disertai dengan reaksi ion positif. Target bekerja sebagai katoda pada keadaan *discharge*, yang dijaga pada tekanan beberapa ratus Pa, dan tegangan

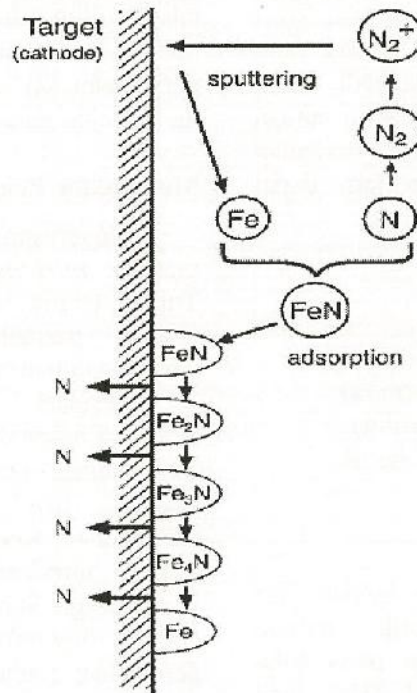


antara 1000 - 1500 V. Target ditembak dengan ion positif. Hal ini menyebabkan percikan atom metalik (Fe), dan selanjutnya terjadi reaksi antara plasma dengan atom nitrogen untuk membentuk nitrida (FeN). Nitrida ini menempel pada permukaan target, tetapi bersifat tidak stabil dan memberi reaksi yang lebih cepat dengan target atom Fe. Akhirnya terbentuklah Fe<sub>4</sub>N yang stabil. Oleh sebab itu atom nitrogen dihasilkan dan dapat didifusikan ke dalam material, untuk membentuk lapisan nitridasi terakhir.

Karena permukaan material dipenuhi oleh nitrogen, nitridasi plasma lebih cepat dari nitridasi konvensional maka seluruh proses terjadi lebih singkat. Selain itu, komposisi lapisan nitrida dapat diatur dengan menggunakan parameter plasma. Hal ini sangat

bermanfaat, sejak sebagian besar dari sifat suatu permukaan bergantung pada komposisi lapisan nitrida. Hanya sebagian kecil dari proses nitridasi terjadi dengan implantasi nitrogen dalam target/material.

Gambar 2 menunjukkan mekanisme pembentukan nitrida dan difusi atom-atom nitrogen, mengindikasikan langkah yang berbeda dalam pembentukan lapisan nitrida. Target (katoda) ditembak oleh ion positif (N<sub>2</sub><sup>+</sup>), menyebabkan percikan atom (Fe), yang bereaksi dengan plasma membentuk FeN. Nitrida menempel pada target, dimana nitrogen lebih cepat bereaksi dengan atom target (Fe), menjadi Fe<sub>2</sub>N dan Fe<sub>3</sub>N, hingga akhirnya terbentuk Fe<sub>4</sub>N yang stabil. Seperti yang ditampilkan Gambar 2<sup>[7]</sup>.



Gambar 2. Mekanisme pengerasan permukaan

### Kekerasan Vickers

Kekerasan adalah sifat bahan berupa ketahanan terhadap indentansi atau deformasi plastis, yang pengukurannya dapat dilakukan secara makro atau mikro. Pengujian mikro dibutuhkan untuk kekerasan hasil pelapisan tipis. Beberapa metode pengujian kekerasan yaitu *Rockwell*, *Brinell*, *Vickers*, dan *Knoop*<sup>[1]</sup>.

Pada penelitian ini digunakan metode *Vickers*. pengujian *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan yang berhadapan adalah 136°. Angka kekerasan *Vickers* (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan yang dapat dihitung dengan rumus :

$$VHN = 2P \sin(\theta/2) / L^2 = 1,854 P/L^2 \quad (3)$$

dengan :

$VHN$  = angka kekerasan *Vickers* ( $\text{kg/mm}^2$ )

$P$  = beban yang diterapkan ( $\text{kg}$ )

$L$  = panjang diagonal rata-rata ( $\text{mm}$ )

$\theta$  = sudut antara permukaan intan yang berlawanan =  $136^\circ$

Keunggulan metode *Vickers* antara lain :

1. Dengan benda penekan yang sama, kekerasan dapat ditentukan tidak hanya untuk bahan lunak tetapi juga untuk bahan keras.
2. Dengan bekas tekanan kecil, bahan percobaan yang rusak lebih sedikit.
3. Pengukuran kekerasan teliti.
4. Kekerasan benda kerja yang amat tipis atau lapisan permukaan yang tipis dapat diukur dengan memilih beban kecil<sup>[3]</sup>.

Kelemahan metode *Vickers* antara lain:

1. Dengan bekas tekanan kecil, kekerasan rata-rata bahan yang tidak homogen tidak dapat ditentukan, misalnya besi tuang.
2. Penentuan kekerasan membutuhkan banyak waktu, karena penekanan piramida dan pengukuran diagonal bekas tekanan adalah dua pelaksanaan yang terpisah<sup>[3]</sup>.

### Mata Bor

Mata bor adalah alat paling ideal untuk membuat lubang yang rapih dan presisi. Mata bor bisa digunakan pada bahan kayu, plastik ataupun logam. Banyak jenis dan ukuran lubang yang bisa dibuat dengan menggunakan bor, akan tetapi dengan mempertimbangkan ukuran lubang dan jenis bahan perlu dipilih mata bor yang tepat. Selain itu jenis bahan mata bor juga menentukan kualitas dan kuantitas hasil pelubangan, lebih keras logam pada mata bor akan lebih halus dan cepat hasil pengeboran.

### METODE

Sampel yang digunakan sebagai bahan penelitian adalah pangkal mata bor logam. Alat yang digunakan untuk penelitian adalah Mesin Plasma Nitriding dan alat pengukur kekerasan

logam model *Vickers* milik PTAPB BATAN Yogyakarta.

### Cara Kerja

1. Sampel dari pangkal mata bor dipotong-potong sedemikian rupa menjadi 16 buah sampel. Kemudian dihaluskan dengan amplas hingga mengkilat setelah diberi autosol yang digosokkan dengan kain beludru.
2. Sampel dicuci dengan alkohol kemudian diproses di dalam bejana reaktor Mesin Plasma Nitriding.
3. Selama proses Plasma Nitridasi beberapa parameter proses nitridasi seperti aliran gas nitrogen diatur dengan mengatur tekanan ruang bejana yang dibuat tetap 1,8 mBar tetapi waktu proses bervariasi 2, 3, 4 dan 5 jam. Kemudian waktu tetap 4 jam dengan tekanan bejana reaktor bervariasi 1,4; 1,6 dan 2,0 mBar.
4. Sampel hasil yang tanpa dan dengan nitridasi diuji kekerasannya dengan metode *Vickers*, dengan penumbuk intan piramida yang sudut berhadapannya  $136^\circ$ , dan beban uji keras 10 gF.
5. Sampel hasil no 4 diamati dan didata hasil kekerasannya, serta kedalaman atom-atom nitrogen yang meresap kedalam sampel diamati dengan cara mengukur kekerasan sampel dari kedalaman 0  $\mu\text{m}$  (permukaan) sampai ke kedalaman base metal, data diamati dicatat dan dianalisa hasilnya.
6. Buat kesimpulan atas hasil penelitian yang telah dilakukan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

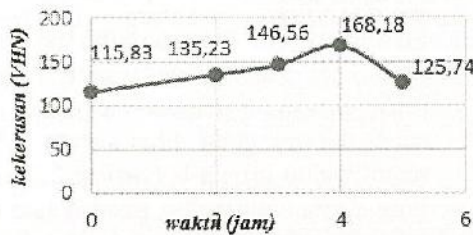
Dari 10 kali uji kekerasan *Vickers* terhadap sampel yang tanpa Nitridasi menunjukkan kekerasan rata-rata pangkal mata bor sebelum di nitridasi  $115,83=1,24$  VHN. Sampel pangkal mata bor yang dinitridasi dengan variasi waktu dengan tekanan tetap hasilnya seperti disajikan pada Tabel 1



**Tabel 1. Kekerasan pangkal mata bor yang dinitridasi dengan tekanan tetap 1,8 mBar tetapi waktu nitridasi divariasi.**

Suhu (°C)	Tekanan (mBar)	Waktu (Jam)	Kekerasan (VHN)
525	1,8	2	135,23
525	1,8	3	146,56
525	1,8	4	168,16
525	1,8	5	125,74

Data percobaan nitridasi yang disajikan pada Tabel 1 bila dinyatakan dalam bentuk grafik adalah seperti Gambar 3.



**Gambar 3. Grafik kekerasan sampel fungsi waktu nitridasi**

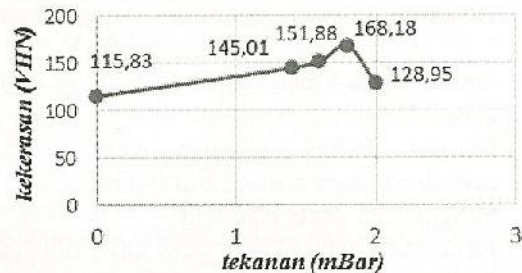
Gambar. 3 menunjukkan bahwa kekerasan pangkal mata bor meningkat setelah dinitridasi dengan tekanan tetap 1,8 mBar, dan waktu nitridasi mulai 2 jam hingga 5 jam. Peningkatan kekerasan maximum terjadi pada nitridasi waktu 4 jam, setelah lewat 4 jam yaitu 5 jam ternyata kekerasan menurun kembali. Fenomena itu menggambarkan bahwa semakin lama waktu nitridasi semakin banyak atom nitrogen yang terdeposisi dan terperangkap pada atom-atom logam permukaan yang membentuk senyawa logam  $Fe_2N$  dan atau  $Fe_3N$  yang lebih keras dari aslinya. Setelah 4 jam kemudian kekerasan menurun kemungkinan karena batas atom-atom target telah terpenuhi/jenuh. Adapun peningkatan kekerasan maximum mencapai 45,18 % dari 115,83 VHN menjadi 168,16 VHN. Kesimpulan sementara logam tools dapat diperkeras permukaannya dengan proses Plasma Nitriding dengan tekanan nitridasi 1,8 mBar dan waktunya 4 jam.

1. Pangkal mata bor yang dinitridasi dengan variasi tekanan tetapi waktunya tetap 4 jam hasilnya sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Kekerasan pangkal mata bor yang dinitridasi dengan waktu tetap 4 jam tetapi tekanan nitridasi divariasi.**

Suhu (°C)	Waktu (Jam)	Tekanan (mBar)	Kekerasan (VHN)
525	4	1,4	145,01
525	4	1,6	151,88
525	4	1,8	168,16
525	4	2,0	128,95

Dari data percobaan nitridasi yang disajikan pada Tabel 2 bila dinyatakan dalam bentuk grafik adalah seperti Gambar 4.



**Gambar 4. Grafik kekerasan sampel fungsi tekanan nitridasi**

Gambar 4 menunjukkan bahwa kekerasan pangkal mata bor juga meningkat setelah dinitridasi selama 4 jam dengan tekanan nitridasi mulai 1,4 mBar hingga 2 mBar. Peningkatan kekerasan maximum terjadi pada nitridasi waktu 4 jam dengan tekanan 1,8 mBar. Ketika tekanan ditambah menjadi 2 mBar ternyata kekerasan menurun kembali. Fenomena itu juga menggambarkan bahwa semakin besar tekanan bejana reaktor maka kerapatan atom nitrogen yang terionisasi dan terdeposisi pada permukaan logam sampel makin banyak. Sehingga kemungkinan terjadinya difusi dan reaksi membentuk senyawa  $Fe_2N$  dan  $Fe_3N$  pada permukaan logam sampel makin besar. Adapun peningkatan kekerasan maximum mencapai 45,18 % dari 115,83 VHN menjadi 168,16 VHN. Kondisi optimum dicapai pada tekanan 1,8 mbar karena terjadi keseimbangan antara atom nitrogen yang terdeposisi ke permukaan dan selanjutnya berdifusi serta bereaksi dengan atom Fe dari sampel untuk membentuk fase baru yaitu nitride besi ( $Fe_2N$ ,  $Fe_3N$ , dan  $Fe_4N$ ) yang bersifat keras. Untuk deposisi pada tekanan 2,0 mbar laju deposisi menjadi terlalu lebih besar, akibatnya tidak terjadi keseimbangan antara laju deposisi, difusi, dan reaksi ion nitrogen pada permukaan logam



sampel. Apabila laju deposisi terlalu besar sementara difusi dan reaksi atom nitrogen (N) dengan logam sampel (Fe) tidak dapat mengikuti besarnya laju deposisi, maka akan terjadi penumpukan atom nitrogen pada permukaan dan membuat lapisan baru, dengan kekerasan permukaan justru tidak naik melainkan menurun dari kondisi optimum. Kesimpulan sementara logam tools dapat diperkeras permukaannya dengan proses Plasma Nitriding pada tekanan nitridasi 1,8 mBar dan waktunya 4 jam.

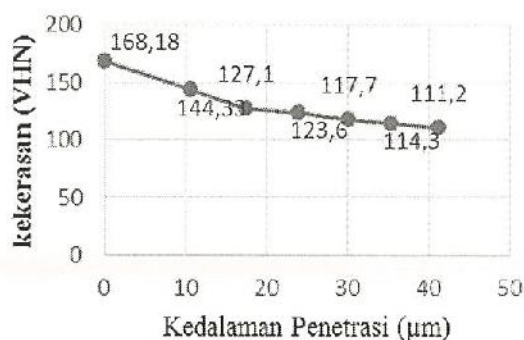
2. Profil Kekerasan

Sampel yang diukur yaitu sampel hasil kekerasan optimal yaitu pada lama waktu nitridasi 4 jam dan tekanan 1,8 mbar.

Pada kedalaman 0  $\mu\text{m}$  (permukaan) didapatkan kekerasan sebesar 168,18 VHN. Hasil uji profil kekerasan disajikan pada Tabel 3. dan dibuat secara grafis seperti Gambar 5.

Tabel 3. Data hasil uji profil kekerasan sebagai fungsi kedalaman penetrasi

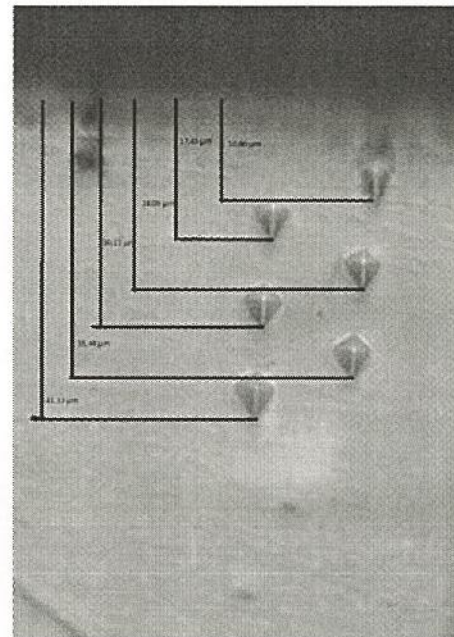
Kedalaman Pnetrasi ( $\mu\text{m}$ )	Kekerasan (VHN)
0	168,18
10,66	144,3
17,45	127,1
24,05	123,6
30,13	117,7
35,44	114,3
41,33	111,2



Gambar 5. Data grafik kekerasan fungsi kedalaman penetrasi dari sampel setelah dinitridasi

Kemudian data gambar profil kekerasan juga berhasil diamati dengan menggunakan mikroskop *micro hardness* merek MATZUZAWA milik PTAPB-BATAN

Yogyakarta dengan perbesaran 40 $\times$ , di antara hasilnya adalah seperti Gambar 6.



Gambar 6. Profil kekerasan

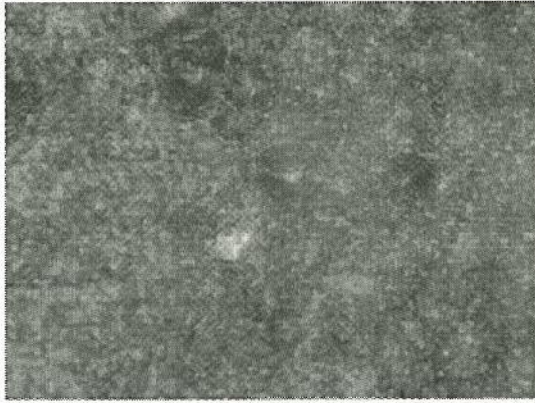
Kemudian dari pengamatan stuktur mikro permukaan sebelum dinitridasi dari hasil penghalusan mekanik (*polish*) teramati pada permukaan yang halus dan terlihat goresan-goresan seperti Gambar 7.



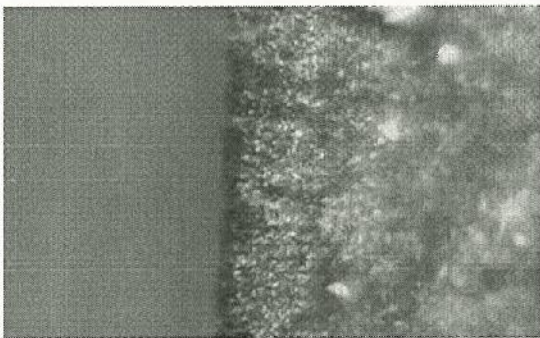
Gambar 7. Foto struktur mikro sebelum dinitridasi

Gambar 8 memperlihatkan sampel setelah dinitridasi permukaan tidak halus seperti teretsa sehingga butirannya terlihat. Hal ini disebabkan oleh terperciknya permukaan sebagai akibat tumbukan ion-ion nitrogen energi tinggi.





Gambar 8. Foto struktur mikro sampel setelah dinitridasi



Gambar 9. Foto struktur mikro permukaan melintang dari sampel setelah dinitridasi

Struktur mikro permukaan melintang dari sampel setelah dinitridasi ditunjukkan Gambar 9, dari sini terlihat bahwa butiran-butiran dekat permukaan lebih halus dan merata, hal ini yang menyebabkan kekerasan meningkat lebih keras dibandingkan dengan kekerasan yang lebih dalam.

#### KESIMPULAN

Dari data uji kekerasan, dan pengamatan struktur mikro beserta analisis dan pembahasannya telah diketahui pengaruh tekanan dan waktu proses nitridasi plasma terhadap kekerasan mata bor sebagai berikut :

1. Parameter waktu dan tekanan optimal dicapai pada waktu 4 jam dengan tekanan 1,8 mbar.
2. Mata bor yang telah dinitridasi, kekerasan berhasil meningkat dari mula-mula 115,83 VHN menjadi 168,16 VHN atau dengan kenaikan kekerasan 45,18%.
3. Dilihat dari peningkatan kekerasan yang hanya 45,18% tersebut dapat disimpulkan

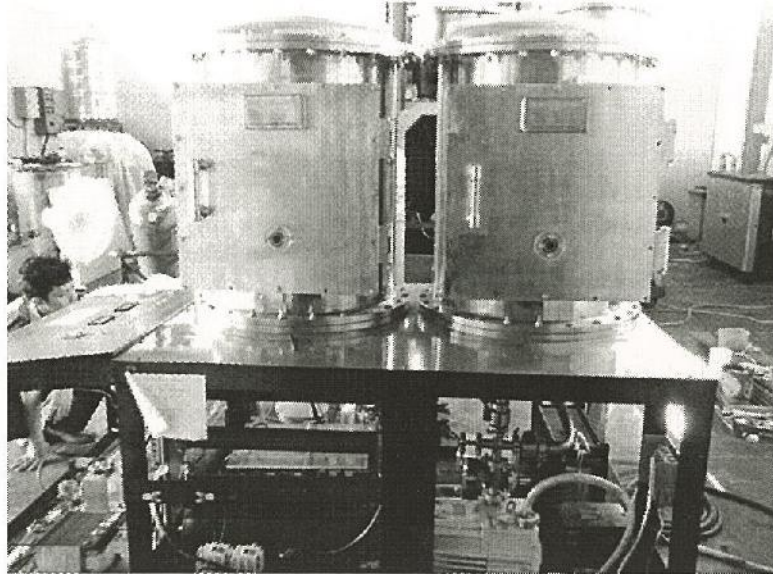
bahwa mekanisme pengerasan yang terjadi adalah pengerasan larut padat jenuh interstisial (*solid solution saturation strengthening*).

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Surdia.T, Chijiwa.K. Teknik Pengecoran Logam, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, (1982)
2. Sujitno.T, Aplikasi Plasma dan Teknologi Sputtering untuk Surface Treatment, Diktat
3. Workshop sputtering untuk rekayasa permukaan bahan, P3TM-BATAN, Yogyakarta, (2003)
4. Setiabudi A., Pengaruh Waktu Dan Temperatur Nitridasi Terhadap Kekerasan Bantalan Bola Yang Dinitridasi Menggunakan Pasma Nitriding, *Tugas Akhir STTN-BATAN*, Yogyakarta, (2010)
5. Saminto, Rancangan Sistem Pengatur Gas Nitrogen (N-2) Pada Nitridasi Plasma Bejana Ganda, PTAPB-BATAN, Yogyakarta, (2011)
6. Puja, High Speed Steel, diakses dari <http://puja.blog.uns.ac.id/2011/01/08/hsshhigh-speed-steel-tampil-cantik-di-metalografi>, (2011), diakses 20 Maret 2013
7. Annemie Bogaerts, Erik Neyts, CS, Gas Discharge Plasmas And Their Applications, University of Antwerp, Belgium, (2001)



LAMPIRAN



**Gambar 10. Foto Mesin Plasma Nitriding**