

## KARBURASI BAJA ST 40 DENGAN TEKNIK SPUTTERING

**Suprpto, Sayono dan Lely Susita R. M.**

*Pusat Teknologi Akselrator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN*

*Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, Yogyakarta 55010*

### ABSTRAK

**KARBURASI BAJA ST 40 DENGAN TEKNIK SPUTTERING.** Telah dilakukan karburasi baja ST 40 dengan teknik *sputtering*. Karburasi bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik permukaan khususnya peningkatan kekerasan permukaan. Dalam proses karburasi dengan teknik *sputtering*, material yang dikarburasi ditempatkan dalam reaktor plasma dengan tekanan rendah (vakum) dan gas argon dialirkan ke dalam reaktor plasma serta diplasmakan dengan tegangan DC untuk men-*sputter* sumber karbon dari grafit. Atom-atom karbon dari grafit yang ter-*sputter* dideposisikan pada baja sehingga terjadi proses karburasi. Karburasi dilakukan dengan variasi suhu dan waktu untuk mendapatkan hasil yang optimal. Hasil karburasi didapatkan kekerasan maksimum sebesar 919,65 KHN atau dengan persentase kenaikan kekerasan sebesar 365 % dari kekerasan awal (197,54 KHN) yang dicapai pada waktu karburasi 3 jam dan suhu 300 °C. Kedalaman karburasi didasarkan pada pengujian kekerasan mikro penampang melintang didapatkan antara 100 µm sampai dengan 150 µm.

**Kata kunci :** Baja ST 40, perlakuan permukaan, plasma, *sputtering*

### ABSTRACT

**CARBURISING OF ST 40 STEEL USING SPUTTERING TECHNIQUE.** Carburising of ST 40 steel using sputtering technique has been done. The purpose of this carburising is to improve the mechanical properties of ST 40 steel especially its surface hardness. In the carburising process using sputtering technique, the samples were put into the vacuum chamber of the plasma reactor where the argon gas was introduced and ionized by direct voltage to sputter carbon source from graphite. The sputtered atom graphite were deposited into the surface of steel so that the carburising process occurred. To get the optimum conditions, the parameters such as carburising temperature and time were varied. The optimum hardness of 919.65 KHN was achieved in carburising temperature 300 °C and time 3 hours. Comparing to the initial hardness (197.54 KHN), the increase of hardness is 365 %. From the cross section micro hardness examination, it can be estimated that the carburising depth is in range of 100 µm to 150 µm.

**Key word :** ST 40 steel, surface treatment, plasma, sputtering

### PENDAHULUAN

Lapisan tipis dengan ketebalan orde mikro saat ini banyak dimanfaatkan khususnya untuk perlakuan permukaan pada logam. Perlakuan permukaan pada logam dengan mendeposisikan lapisan tipis dapat merubah struktur mikro permukaannya sehingga merubah sifat-sifat mekaniknya. Adapun sifat-sifat mekanik permukaan logam antara lain kekerasan dan ketahanan aus. Sifat-sifat mekanik ini sangat berhubungan dengan struktur mikro. Oleh karena itu dimungkinkan mengubah sifat-sifat mekanik permukaan logam dengan jalan melakukan proses-proses yang dapat mengubah struktur mikro sehingga diperoleh sifat-sifat permukaan yang lebih unggul sesuai dengan penggunaannya.

Ada beberapa jenis logam yang banyak digunakan antara lain besi (Fe) dan selain besi yaitu Aluminium (Al), Tembaga (Cu), Khrom (Cr) dan Nikel (Ni). Dari beberapa jenis logam tersebut, besi

merupakan jenis logam yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena harganya yang murah dan mudah didapatkan di pasaran. Besi mempunyai ketahanan aus dan gesekan yang kurang baik sehingga perlu ditingkatkan sifat-sifat mekanik permukaannya terutama yang berkaitan dengan ketahanan aus dan gesekan yaitu kekerasan permukaan. Penggunaan besi untuk kesejahteraan manusia antara lain sebagai bahan konstruksi bangunan, peralatan industri, mesin-mesin perkakas (poros mesin, roda gigi) dan alat-alat potong (mata bor, pahat bubut, dan pisau *frais*).

Peningkatan sifat-sifat mekanik permukaan ini dapat dilakukan dengan metode konvensional seperti karburasi, nitridasi dan nitrokarburasi. Kelemahan dengan metode konvensional adalah selama proses dilakukan pada suhu tinggi dan waktu yang diperlukan cukup lama biasanya diatas 24 jam[1]. Akibatnya saat

material didinginkan akan timbul *thermal stress* dan deformasi. Hal ini tidak diinginkan karena material menjadi getas dan mungkin terjadi perubahan bentuk. Untuk mengurangi *thermal stress* harus dilakukan pemanasan ulang pada suhu yang lebih rendah (*annealing*) dan pendinginan yang lambat.

Dengan adanya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, telah dikembangkan salah satu metode perlakuan permukaan bahan yaitu dengan membuat lapisan tipis pada permukaan. Dalam pembuatan lapisan tipis terdapat beberapa metode di antaranya metode evaporasi, implantasi ion, plasma lucutan pijar dan *sputtering*. Metode ini telah sering digunakan untuk pembuatan lapisan tipis di PTAPB antara lain: deposisi ion karbon dan nitrogen pada substrat besi, pembuatan lapisan tipis ZnO pada silikon dan pembuatan lapisan tipis Ti-N dengan metoda *sputtering* [2-5]. Pada metode yang telah dilakukan tersebut untuk membangkitkan panas agar suhu substrat mencapai yang dikehendaki menggunakan pemanas dari filamen. Cara lain untuk membangkitkan panas ini dapat dihasilkan oleh adanya plasma yang digunakan untuk *sputtering* dan deposisi ion pada substrat tanpa bantuan filamen.

Dalam makalah ini dibahas tentang proses perlakuan permukaan yaitu proses karburasi pada baja ST 40 dengan teknik *sputtering* untuk meningkatkan kualitas permukaan terutama pada sifat kekerasannya. Pada proses ini pemanasan substrat agar dicapai suhu yang dikehendaki menggunakan panas yang dibangkitkan oleh plasma pada teknik *sputtering* tanpa bantuan filamen.

## TEORI

### Plasma

Plasma didefinisikan sebagai gas yang terionisasi dalam keadaan kuasinetral dari partikel yang bermuatan dan partikel netral yang menunjukkan fenomena kolektif. Keadaan kuasinetral adalah keadaan gas terionisasi dimana rapat ion hampir sama dengan rapat elektron, sehingga dapat dikatakan  $n_i \cong n_e \cong n$ , dengan  $n$  menyatakan kerapatan secara umum yang disebut dengan rapat plasma. Fenomena kolektif adalah suatu kondisi yang kompleks dengan proses-proses atomis seperti ionisasi, eksitasi serta kombinasi yang terjadinya dalam waktu yang hampir bersamaan.

Dalam penelitian ini digunakan teknik *sputtering* (plasma) untuk mendeposisikan lapisan tipis. Adapun teknik yang digunakan untuk membuat kondisi gas dalam keadaan plasma adalah teknik lucutan pijar dengan menggunakan sumber tegangan tinggi DC atau gelombang radio frekuensi (RF). Lucutan pijar adalah lucutan bermuatan dari gas yang bertekanan rendah disertai dengan adanya nyala pijar serta memiliki sifat-sifat yang khas seperti potensial ruang di sekitar katode (daerah nyala negatif) menjadi lebih tinggi dari

potensial ionisasi gasnya. Plasma ini berada pada tekanan rendah berkisar  $10^{-3}$  Torr sampai dengan 1 Torr. Untuk plasma lucutan pijar DC terbentuk karena adanya beda potensial antara anode dan katode sehingga dapat mengionisasi atom-atom gas yang ada di dalam tabung plasma. Dalam lucutan pijar, kecepatan elektron sedemikian besar dan interaksi yang terjadi begitu cepat. Akibatnya pasangan elektron bebas dan ion bebas mampu membangkitkan pembawa muatan seketika secara bergantian dan terus menerus secara seimbang. Keadaan lucutan yang seimbang ini disebut *Glow Discharge* [6].

Ion-ion positif yang dihasilkan dari proses ionisasi akan bergerak menuju katode. Dalam pergerakannya menuju katode, ion-ion positif tersebut akan dipercepat oleh medan listrik karena adanya beda potensial antara anode dan katode. Tumbukan ion yang telah dipercepat dengan katode terjadi secara terus-menerus. Proses tumbukan ini merupakan proses *sputtering* dan merupakan peristiwa penting yang mengawali proses pembentukan lapisan tipis pada permukaan bahan[7].

### Sputtering

Teknik *sputtering* adalah teknik yang memanfaatkan atom berenergi tinggi untuk melepaskan atom-atom target yang akan terdeposisi pada substrat, metode ini pertama kali diperkenalkan oleh R.W. Grove pada tahun 1852. Jika bahan padat (target) dijadikan sasaran penembakan partikel berenergi tinggi, maka atom-atom permukaan bahan memperoleh energi yang cukup untuk melepaskan diri dari permukaannya dan proses seperti ini disebut *sputtering*. Atom-atom yang terhambur dari permukaan akibat *sputtering* ini dapat dideposisikan untuk membuat lapisan tipis pada substrat. Deposisi dengan teknik *sputtering* kebanyakan menggunakan plasma dari gas argon sebagai pembangkit ion berenergi tinggi untuk menumbuk target sampai atom-atomnya terlepas.

Tumbukan ion argon dengan target dapat dipandang sebagai tumbukan antara atom datang dengan atom permukaan. Hal ini disebabkan karena pada dasarnya ukuran ion sama dengan ukuran atom. Lepasnya atom-atom target dari permukaan disebabkan oleh adanya perpindahan energi dari atom penembak ke atom permukaan. Energi yang dipindahkan pada tumbukan dirumuskan [8].

$$E_1 = \frac{4 M_1 M_2}{(M_1 + M_2)^2} E_2 \dots\dots\dots (1)$$

dengan  $E_1$  adalah energi partikel penumbuk (Joule),  $M_1$  massa partikel penumbuk (kg),  $M_2$  massa partikel target (kg),  $E_2$  adalah energi yang diterima partikel target (Joule).

Proses tumbukan ion argon dengan atom target menyebabkan atom target terpecah/terlepas (*ter-sputter*) dan akan menuju ke substrat serta terdeposisi di

permukaan substrat. Kecepatan pengikisan atom-atom target ( $U$ ) sebanding dengan rapat arus ion ( $J$ ) yang menumbuk pada permukaan target dan ditulis dengan persamaan [8].

$$U = 62,5 \frac{S J M_2}{\rho} \dots\dots\dots (2)$$

dengan  $U$  adalah kecepatan pengikisan atom-atom target (m/detik),  $J$  rapat arus ion ( $A/m^2$ ),  $\rho$  rapat jenis target ( $kg/m^3$ ),  $M_2$  massa atom target dan  $S$  yield sputtering. Laju deposisi ( $G$ ) pada bahan substrat dirumuskan[8].

$$G = F U \dots\dots\dots (3)$$

dengan  $G$  adalah laju deposisi,  $F$  konstanta yang ditentukan oleh konfigurasi geometri bahan target dan substrat serta efek hamburan dari atom-atom target oleh partikel gas dalam plasma. Hasil sputter (yield sputter) diartikan sebagai jumlah atom yang terpental dari target setiap atom yang datang menembuknya. Faktor-faktor penting yang mempengaruhi sputter adalah struktur permukaan, massa ion penumbuk, dan energi ion penumbuk.

Kelebihan pendeposisian lapisan tipis dengan teknik sputtering adalah dapat menghasilkan lapisan tipis dari bahan yang mempunyai titik cair tinggi, bahan sputtering memiliki keawetan atau ketahanan fisik yang baik sehingga lebih efisien dan ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan dapat dikontrol dengan waktu pendeposisian pada saat pembuatannya.

### Proses Pembentukan Lapisan Tipis

Dalam proses pembentukan lapisan tipis atau proses deposisi yaitu dengan cara bahan target ditembak dengan partikel-partikel berat (ion argon) yang bergerak cepat dalam suatu sistem vakum. Akibatnya atom-atom target terlepas dan memercik ke segala arah yang sebgayaan besar bergerak menuju substrat. Atom-atom yang memercik ke segala arah tersebut mempunyai energi yang cukup tinggi selanjutnya menumbuk permukaan substrat. Karena menumbuk permukaan dengan energi yang cukup tinggi maka mendesak atom-atom permukaan substrat menuju tempat iterstisi pada kisi kristal dan sebgayaan menempel pada permukaan substrat. Atom-atom target tersebut bergerak masuk ke dalam substrat untuk menempati posisi interstisi atau mengisi kekosongan pada batas butir. Setelah kekosongan terpenuhi dan membentuk lapisan tipis pada permukaan substrat, atom-atom target yang datang berikutnya menumbuk atom-atom yang datang lebih dulu yang telah membentuk lapisan tipis. Dengan demikian akan menumpuk pada permukaan dan akan terjadi difusi serta membentuk lapisan tipis yang halus.

## Proses Karburasi

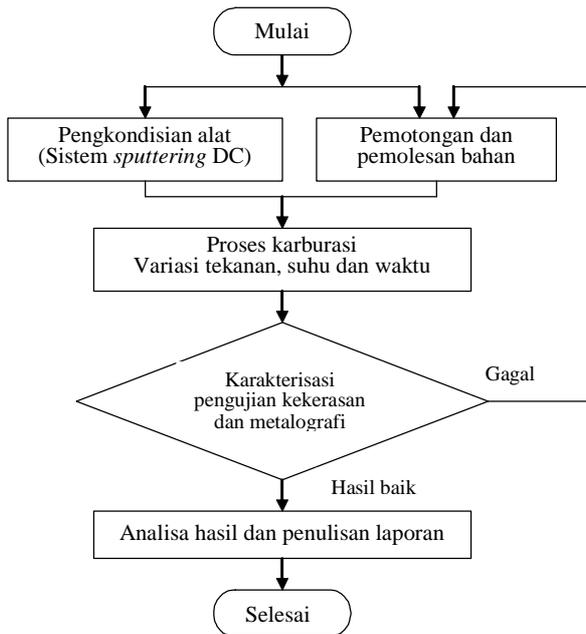
### Karburasi Secara Konvensional

Karburasi merupakan cara yang paling lama dikenal dalam proses pengerasan permukaan. Prinsip dari karburasi adalah menambahkan atom karbon pada permukaan material/baja yang kandungan karbonnya rendah, sehingga metode ini cocok untuk baja karbon rendah atau baja paduan dengan kandungan karbon antara 0,1 % sampai dengan 0,25 %. Kandungan karbon setelah proses karburasi dapat meningkat hingga 0,7 % sampai 0,9 %. Karburasi dilakukan pada suhu austenit yaitu pada 900 °C sampai dengan 930 °C, karena pada kondisi austenit karbon akan larut interstisi secara optimal. Kelarutan karbon dalam baja juga dipengaruhi oleh suhu baja tersebut. Kekerasan permukaan material yang dihasilkan tergantung dari jumlah kandungan karbon yang masuk dalam permukaan baja [9].

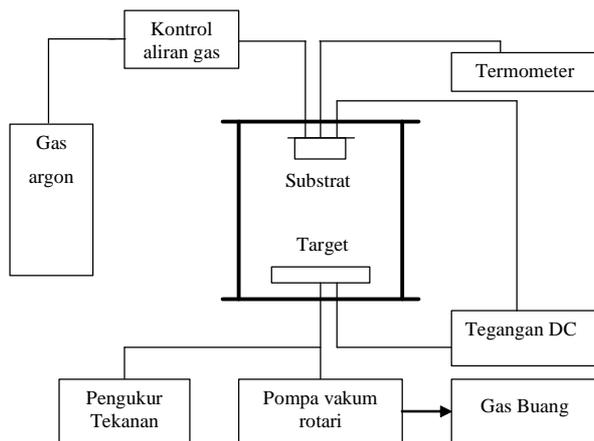
Dalam prosesnya material baja dipanaskan pada suhu austenit dan diletakkan dalam lingkungan yang mengandung karbon aktif dimana dapat berbentuk padat, cair atau gas dan ditahan dalam beberapa waktu. Setelah proses karburasi biasanya dilakukan proses quenching untuk menghasilkan struktur martensit pada permukaan. Oleh karena itu proses karburasi dapat menghasilkan baja dengan permukaan yang keras dan inti yang 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.

### Karburasi dengan Teknik Sputtering

Sputtering merupakan salah satu teknik yang digunakan dalam proses pengerasan permukaan suatu material dengan menggunakan target karbon atau material lain. Untuk proses pengerasan dengan target karbon disebut karburasi yaitu dengan adanya pendeposisian atom-atom karbon ke permukaan material. Proses pendeposisian ini memanfaatkan energi listrik dan energi termal (panas). Pada proses karburasi menggunakan teknik sputtering, gas argon sebagai gas isian pada reaktor plasma dan diplasmakan menggunakan energi listrik (tegangan DC) sehingga terbentuk pasangan ion argon dan elektron. Ion argon ini digunakan sebagai ion (atom) penembak yang ditembakkan pada grafit sebagai target (sumber karbon). Akibatnya atom-atom karbon dari grafit terlepas dan terdeposisi pada permukaan substrat. Disamping itu, energi listrik juga sekaligus digunakan untuk mendeposisikan atom-atom karbon ke permukaan substrat, sedangkan energi termal berpengaruh pada proses difusi atom karbon.



Gambar 1. Diagram alir proses karburasi dengan teknik sputtering.



Gambar 2. Skema peralatan plasma/sputtering untuk karburasi ion.

## METODE PERCOBAAN

Dalam proses karburasi dengan teknik *sputtering* ada beberapa tahapan seperti ditunjukkan pada diagram alir Gambar 1. Untuk semua peralatan dalam proses karburasi dengan teknik *sputtering* disusun sesuai skema yang ditunjukkan pada Gambar 2. Proses karburasi dimulai dengan persiapan yaitu pengkondisian alat (sistem *sputtering* DC) serta pemotongan dan pemolesan bahan. Pengkondisian alat dimulai dengan pemompaan udara dari dalam tabung *sputtering* (reaktor plasma) sehingga mencapai kevakuman sekitar  $5 \times 10^{-2}$  Torr sesuai dengan kemampuan pompa.

Pemvakuman ini bertujuan untuk membersihkan gas-gas dalam tabung dan sebagai sarana penyedia tekanan rendah untuk pembangkitan plasma

dalam proses *sputtering* dan pendeposisian atom karbon. Setelah mencapai kevakuman sekitar  $5 \times 10^{-2}$  Torr, gas argon dialirkan ke dalam tabung *sputtering* (reaktor plasma) dan sumber tegangan tinggi DC dihidupkan hingga terjadi proses ionisasi (terbentuk plasma).

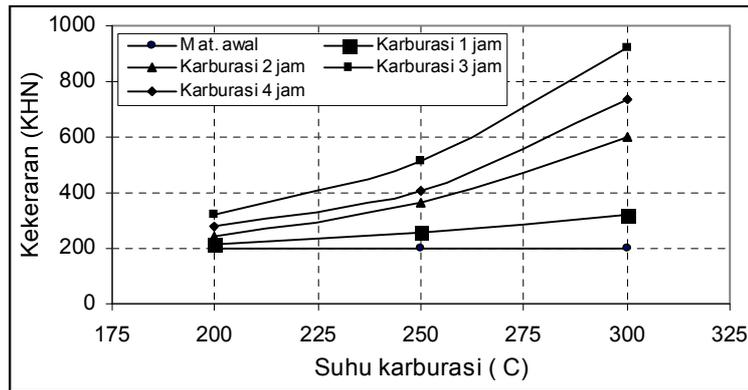
## Pengujian Hasil Karburasi

Pengujian/karakterisasi hasil karburasi meliputi pengamatan perubahan kekerasan dan strukturmikro yang terjadi. Pengamatan perubahan kekerasan dilakukan dengan mengukur kekerasan untuk berbagai variasi suhu dan kedalaman serta variasi waktu deposisi (karburasi) pada kondisi tekanan (kevakuman) yang optimum, pengukuran kekerasan juga dilakukan untuk bahan sebelum dan sesudah karburasi. Dalam pengamatan strukturmikro digunakan mikroskop optik Zeis tipe Axiolab LR 66238 C sedangkan kekerasannya diukur dengan alat uji keras *Digital Micro Hardness Tester* tipe MXT 70.

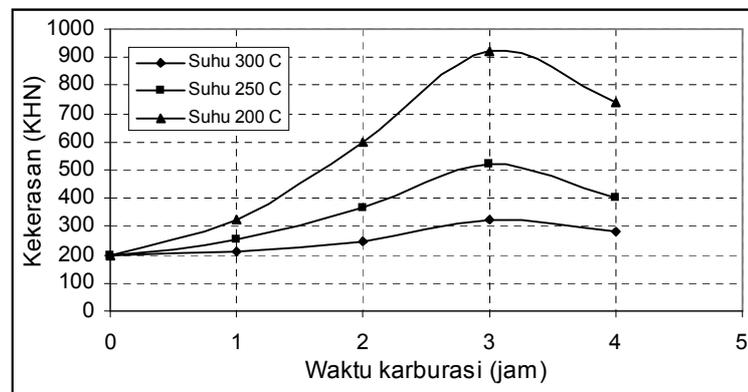
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Kekerasan

Perubahan nilai kekerasan akibat karburasi pada suatu logam disebabkan adanya perubahan strukturmikro dan komposisi dari logam tersebut. Dalam proses karburasi, unsur karbon yang ditambahkan dapat merubah strukturmikro dan komposisi dari logam induk sehingga mengubah sifat-sifat mekanisnya. Pada proses karburasi menggunakan teknik *sputtering* digunakan gas argon dan target grafit. Gas argon sebagai gas *sputter* pada reaktor plasma (tabung *sputtering*) yang selanjutnya gas tersebut diplasmakan sehingga terbentuk pasangan ion argon dan elektron. Ion argon ini digunakan sebagai ion penembak target yang terbuat dari grafit sehingga atom-atom karbon dari grafit ter-*sputter* dan terdepresiasi pada permukaan substrat. Karena substrat yang dikarburasi adalah baja dengan unsur utama Fe dan dengan terdepresisinya atom karbon pada permukaan substrat sehingga membentuk lapisan tipis karbon. Selanjutnya atom-atom karbon berdifusi dan larut secara interstisi membentuk lapisan karbida besi pada permukaan. Karbida besi ini mempunyai sifat kekerasan yang tinggi dan strukturmikro yang berbeda dibanding logam induk. Hasil uji keras untuk benda uji yang tanpa maupun yang dikarburasi disajikan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6. Dalam karburasi dilakukan untuk beberapa variasi waktu dan suhu agar didapatkan kondisi karburasi yang optimum. Pada Gambar 3 ditunjukkan hasil pengujian kekerasan substrat sebagai fungsi suhu karburasi. Variasi suhu karburasi dilakukan pada suhu 200 °C, 250 °C dan 300 °C sesuai dengan kemampuan alat yang ada. Pada alat ini, pemanasan saat karburasi dibangkitkan oleh plasma



Gambar 3. Hubungan kenaikan kekerasan sebagai fungsi suhu karburasi.



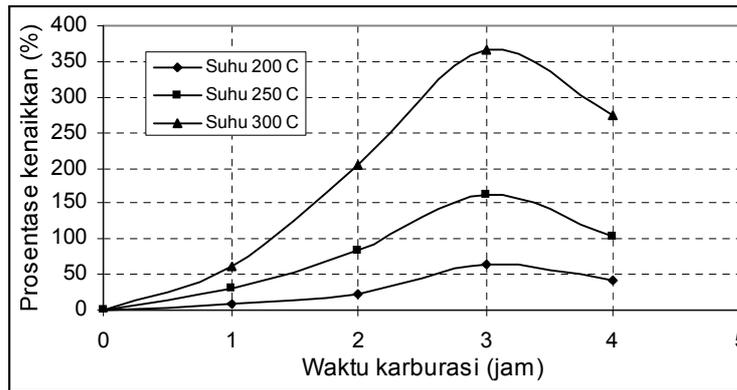
Gambar 4. Hubungan perubahan kekerasan sebagai fungsi waktu karburasi.

(sputtering) yang terjadi tanpa menggunakan filamen sebagai pemanas.

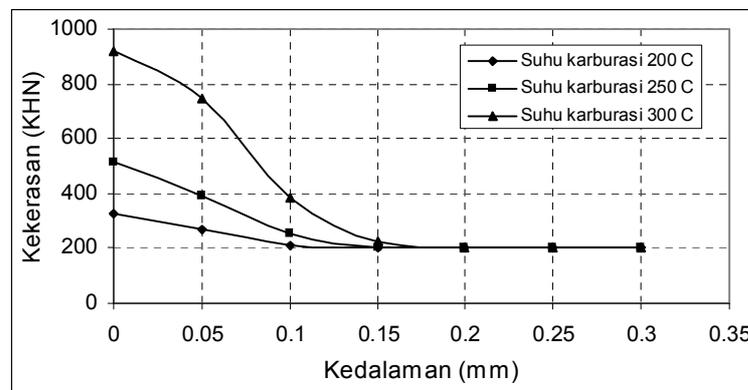
Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa makin tinggi suhu karburasi makin tinggi kekerasan yang dihasilkan. Hal ini disebabkan bahwa makin tinggi suhu karburasi makin tinggi suhu substrat sehingga getaran akibat energi termal atom-atom/molekul-molekul dalam substrat makin tinggi. Jika getaran atom/molekul makin tinggi maka jarak atau celah antar atom/molekul makin lebar sehingga memudahkan atom-atom karbon masuk secara difusi untuk mengisi celah-celah tersebut dan larut secara interstisi membentuk karbida besi (FeC). Dengan demikian, makin tinggi suhu karburasi makin banyak atom karbon yang berdifusi dan larut secara interstisi serta makin banyak karbida besi (FeC) yang terbentuk. Dengan makin banyak karbida besi (FeC) yang terbentuk maka dapat meningkatkan kekerasan.

Pada Gambar 4 ditunjukkan hasil pengujian kekerasan substrat sebagai fungsi waktu karburasi dan Gambar 5 menunjukkan persentase kenaikan kekerasan hasil karburasi. Variasi waktu karburasi dimulai dari 1 jam hingga 4 jam dengan interval setiap 1 jam. Pada waktu karburasi dari 1 jam sampai dengan 3 jam makin lama waktu karburasi makin tinggi kekerasan yang diperoleh.

Hal ini disebabkan karena makin lama waktu karburasi makin banyak atom-atom karbon yang terdposisi pada permukaan (persamaan 3) sehingga kemungkinan terjadinya difusi dan larut secara interstisi membentuk lapisan karbida besi (FeC) makin besar. Pada waktu karburasi 3 jam diperoleh hasil kekerasan optimum. Hal ini disebabkan karena dengan lama waktu karburasi ini terjadi kesetimbangan antara atom karbon yang terdposisi ke permukaan dengan atom karbon yang berdifusi serta larut secara interstisi. Atom karbon yang berdifusi dan larut secara interstisi akan membentuk fasa baru yaitu FeC yang mempunyai sifat sangat keras. Fasa baru ini terbentuk pada lapisan permukaan benda yang dikarburasi sehingga meningkatkan kekerasan pada permukaan. Untuk waktu karburasi selama 4 jam, atom karbon yang terdposisi pada permukaan makin banyak akibatnya tidak terjadi kesetimbangan antara karbon yang terdposisi dengan difusi dan kelarutan secara interstisi pada permukaan baja. Hal ini disebabkan terlalu banyak karbon yang terdposisi tetapi laju difusi dan kelarutan secara interstisi atom karbon pada baja (Fe) tidak dapat mengikuti karena dimungkinkan telah terjadi kejenuhan kelarutan atom karbon secara interstisi. Akibatnya terjadi penumpukan atom karbon pada permukaan yang tidak dapat membentuk karbida besi (FeC). Dengan adanya penumpukan atom karbon pada



Gambar 5. Hubungan prosentase kenaikan kekerasan sebagai fungsi waktu karburasi.



Gambar 6. Hubungan kekerasan sebagai fungsi kedalaman penetrasi.

permukaan menyebabkan kekerasan permukaan mengalami penurunan yaitu fasa keras akan bergeser menjadi fasa lunak sehingga makin lama proses karburasi tidak diperoleh kekerasan yang maksimal melainkan menurun kekerasan.

Pada Gambar 5 ditunjukkan hasil perhitungan persentase kenaikan kekerasan hasil karburasi. Perhitungan ini didasarkan data-data peningkatan kekerasan hasil karburasi (Gambar 4) sehingga dapat diketahui secara langsung persentase kenaikan kekerasan dibanding dengan material awal (sebelum proses karburasi).

Dari hasil pengujian kekerasan hasil karburasi (Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5) menunjukkan bahwa nilai kekerasan untuk substrat sebelum dikarburasi adalah 197,54 KHN dan kekerasan maksimum hasil karburasi sebesar 919,65 KHN atau dengan persentase kenaikan kekerasan sebesar 365 % didapatkan pada waktu karburasi 3 jam dan suhu 300 °C. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu pengaruh ion karbon terhadap kekerasan substrat besi lunak dengan persentase kenaikan kekerasan 150 % [3], maka mengalami kenaikan sebesar 215 %.

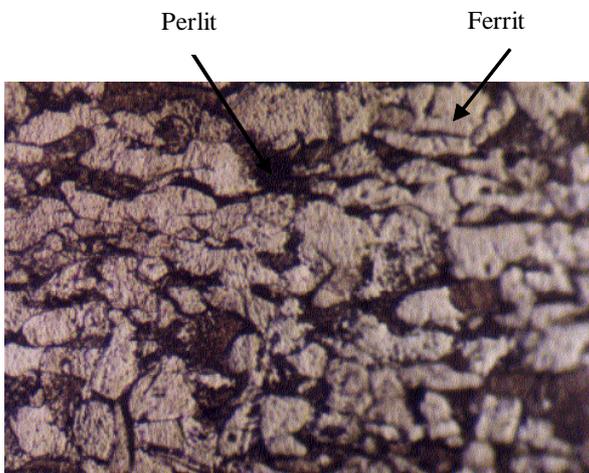
Pada Gambar 6 ditunjukkan hasil pengujian profil kekerasan melintang yaitu kekerasan substrat yang

dikarburasi selama 3 jam untuk berbagai variasi suhu sebagai fungsi kedalaman penetrasi karburasi dari permukaan. Pengukuran kekerasan dilakukan tiap perubahan ke dalam 0,05 mm hingga ke dalam 0,3 mm. Dari hasil pengujian profil kekerasan ini menunjukkan bahwa kekerasan substrat yang telah dikarburasi menurun sebagai fungsi kedalaman. Pada kedalaman 0,15 mm dicapai kekerasan yang sama dengan kekerasan material awal yaitu kekerasan sebelum dilakukan karburasi.

Hal ini menunjukkan bahwa penetrasi karburasi hanya terjadi pada permukaan material dengan kedalaman yang sangat terbatas (antara 0,1 mm sampai dengan 0,15 mm) sehingga hanya meningkatkan kekerasan pada permukaan dan tidak mempengaruhi sifat-sifat mekanik pada material induk. Untuk suhu karburasi 200 °C dan 300 °C pada kedalaman 0,1 mm masing-masing diperoleh kekerasan 197,54 KHN (sama dengan kekerasan material awal) dan 223,28 KHN. Pada suhu karburasi 200 °C diperoleh penetrasi < 0,1 mm tetapi pada suhu karburasi 300 °C diperoleh penetrasi > 0,1 mm, hal ini menunjukkan bahwa penetrasi sangat tergantung dari suhu karburasi. Makin tinggi suhu karburasi makin dalam penetrasi difusi karbon ke dalam logam induk dan larut secara interstisi membentuk karbida besi (FeC).

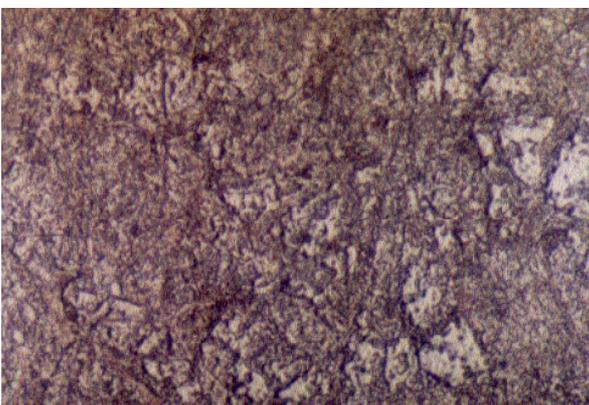
## Uji Metalografi

Dalam pengujian metalografi dilakukan untuk mengamati strukturmikro dari bahan sebelum dan setelah proses karburasi. Untuk pengamatan strukturmikro dilakukan 2 pengamatan. Pengamatan pertama untuk mengamati permukaan bahan yang sebelum di karburasi dan pengamatan yang kedua untuk mengamati strukturmikro setelah dikarburasi. Strukturmikro setelah dikarburasi diamati pada 2 tempat yaitu pengamatan strukturmikro permukaan dan strukturmikro penampang melintangnya. Hasil pengujian strukturmikro untuk baja ST 40 sebelum proses karburasi ditunjukkan pada Gambar 7. Fasa yang terdapat pada material terdiri dari ferit (berwarna terang/putih) dan perlit (berwarna gelap/hitam) yang mempunyai butiran kasar. Ferit dan perlit dengan butiran kasar mempunyai sifat yang kurang keras tetapi ulet.



**Gambar 7.** Strukturmikro permukaan baja ST 40 sebelum dikarburasi (Etsa nital 3 %, perbesaran 400 X).

Untuk hasil pengujian strukturmikro material baja ST 40 setelah dikarburasi ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9. Gambar 8 menunjukkan strukturmikro permukaan baja ST 40 setelah proses karburasi dengan teknik *sputtering* pada suhu 300 °C dan waktu karburasi



**Gambar 8.** Struktur mikro pada permukaan baja ST 40 setelah proses karburasi pada suhu 300 oC dan waktu deposisi 3 jam. (Etsa nital 3 %, perbesaran 400 X)

3 jam. Pada kondisi ini masih terdapat fasa ferit dan perlit, tetapi mempunyai strukturmikro yang lebih halus dibandingkan sebelum di karburasi.

Perubahan strukturmikro (bentuk butir) menjadi lebih halus disebabkan adanya larutan interstisi dari atom karbon ke dalam substrat baja ST 40 sehingga merubah fasa dari Fe menjadi FeC serta memperhalus butir. Dengan berubahnya fasa Fe menjadi FeC dan butiran-butiran menjadi halus, maka mempunyai kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi dibanding kondisi semula. Hal ini disebabkan struktur perlit yang halus mempunyai daerah batas butir per satuan volume yang lebih besar dan meningkatkan kekerasan serta kekuatan [6].

Strukturmikro pada penampang melintang dari material baja ST 40 sesudah dikarburasi dengan suhu 300 °C dan waktu deposisi 3 jam ditunjukkan pada Gambar 8. Dari Gambar 9 terlihat jelas terjadi perubahan lapisan permukaan akibat karburasi. Perubahan ini ditunjukkan dengan adanya pertumbuhan butir yang halus dan berwarna kehitam-hitman pada permukaan.



**Gambar 9.** Strukturmikro pada penampang melintang dari material baja ST 40 sesudah proses karburasi dengan suhu 300 °C dan waktu deposisi 3 jam. (Nital 3%, perbesaran 100 X).

## KESIMPULAN

Dari hasil proses karburasi baja ST 40 dengan teknik *sputtering* dan berdasarkan hasil karakterisasi dan pengolahan data dapat disimpulkan bahwa:

1. Kekerasan maksimum hasil karburasi dengan teknik *sputtering* sebesar 919,65 KHN atau dengan persentase kenaikan kekerasan sebesar 365 % didapat pada waktu karburasi 3 jam dan suhu 300 °C, kenaikan kekerasan ini dibandingkan terhadap kekerasan sebelum dikarburasi.
2. Kedalaman karburasi didasarkan pada pengujian kekerasan mikro pada penampang melintang antara 100  $\mu\text{m}$ /d. 150  $\mu\text{m}$ .
3. Hasil uji metalografi diperoleh perubahan struktur butiran ferit dan perlit yang semula mempunyai butiran kasar berubah menjadi butiran halus sehingga terjadi peningkatan kekerasan.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. —————, *Wear Resistant Surfaces in Engineering, A Guide to Their Production*, International Research & Development Co. Ltd, London (1986).
- [2]. SISWANTO, B., YUNANTO dan ATMONO, T.M., Analisis Pengaruh Ion Nitrogen terhadap Besi Teknis Bentuk As, *Prosiding PPI Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*, **3** (1) (2001)
- [3]. SISWANTO, B., WIRYOADI, SUJITNO T. dan SANTOSO, S. , Pengaruh Ion Karbon Terhadap Kekerasan dan Keausan Substrat Besi Lunak, *Prosiding PPI Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*, **3** (2) (2001)
- [4]. SISWANTO, B. dan WIRYOADI, Pengaruh Deposisi Ion Karbon dan Nitrogen terhadap Struktur Kristal Substrat Besi, *Prosiding PPI Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*, **4** (1) (2002)
- [5]. HARIYANTO, S., SUDJATMOKO, BUDIANTO, A. dan SUBARKAH, Pembuatan Lapisan Tipis TiN Dengan Menggunakan Teknik Sputtering, *Prosiding PPI Penelitian Dasar Iptek Nuklir*, P3TM, Yogyakarta (1999)
- [6]. OHRING, M., *The Material Science of Thin Film*, International Edition Academic Press Inc, (1992)
- [7]. WASA, K. AND HAYAKAWA, S., *Handbook of Sputter Deposition Technology*, Noyes Publication, New York (1992)
- [8]. KONUMA, M., *Film Deposition by Plasma Techniques*, Spinger Verlag, Berlin (1992)
- [9]. RAJAN, T.V., SHARMA, C.P., SHARMA, A., *Heat Treatment : Principles and Techniques, Revised Edition*, Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi (1997)