

PENGARUH KETEBALAN MEDIA KARBURASI PADA PROSES *PACK CARBURIZING* TERHADAP NILAI KEKERASAN BAJA KARBON RENDAH

Suriansyah¹⁾

ABSTRAK

Pack carburizing merupakan salah satu bagian dari proses perlakuan panas dengan cara mendifusikan atom karbon pada permukaan karbon, dimana logam dasar tersebut mempunyai kandungan karbon dalam jumlah kecil. Pada proses karburasi sumber karbon yang digunakan berasal dari media padat antara lain dari arang kayu, arang tempurung kelapa, dan arang sekam padi. Disekitar kita bahan – bahan tersebut sangat mudah untuk didapatkan

Proses karburasi ini dipengaruhi beberapa faktor yaitu waktu penahanan atau lamanya proses perlakuan panas, temperatur pemanasan, media karburasi, campuran bahan kimia aktif dan media pendingin. Penggunaan media karburasi, bahan kimia aktif dan media pendingin yang berbeda dalam proses karburasi, akan menghasilkan perbedaan nilai kekerasan pada baja. Penelitian menggunakan kontainer dengan media karburasi berupa campuran 80% serbuk arang tempurung kelapa dan 20% BaCO₃ dengan waktu penahan 2 jam. Hal ini disebabkan pada arang tempurung kelapa lebih murah dari pada bahan kimia BaCO₃ sehingga proses karburasi akan lebih ekonomis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ketebalan media karburasi pada proses *pack carburizing* terhadap nilai kekerasan baja karbon rendah serta untuk mengetahui apakah dengan menggunakan media karburasi berupa 80 % arang tempurung kelapa dan 20% BaCO₃ dengan waktu penahan selama 2 jam dapat mencapai standart dari proses *pack carburizing*. Ketebalan media karburasi berpengaruh pada peningkatan kekerasan permukaan dan kedalaman pengerasan baja karbon rendah. Dimana semakin tebal media karburasi maka nilai kekerasan permukaan dan kedalaman pengerasan semakin tinggi. Pada ketebalan media karburasi 5 mm nilai kekerasan sebesar 636 HV dengan kedalaman pengerasan 0.21 mm, ketebalan media karburasi 10 mm sebesar 691 HV dengan kedalaman pengerasan 0.33 mm, ketebalan media karburasi 15 mm sebesar 834 HV dengan kedalaman pengerasan 0.44 mm, dan ketebalan media karburasi 20mm sebesar 848 HV dengan kedalaman pengerasan 0.48 mm. Dari variasi jumlah spesimen dengan diameter kontainer sebesar 110 mm diketahui bahwa nilai kekerasan dan kedalaman pengerasan berkurang relatif kecil dengan bertambahnya jumlah spesimen yaitu pada jumlah 2 spesimen sebesar 995 HV dengan kedalaman pengerasan 0.98 mm, jumlah 3 spesimen sebesar 983 HV dengan kedalaman pengerasan 0.94 mm, dan pada jumlah 4 spesimen sebesar 936 HV dengan kedalaman pengerasan 0.86 mm.

Kata kunci: Ketebalan, Nilai Kekerasan dan Waktu.

PENDAHULUAN

Kadar karbon yang terdapat pada media karburisasi sangat mempengaruhi hasil dari proses *pack carburizing*, karena karbon yang dipanaskan dalam kotak karburisasi akan terurai menjadi CO yang selanjutnya terurai menjadi karbon aktif yang dapat berdifusi masuk ke dalam baja, dan akhirnya akan menaikkan konsentrasi karbon pada permukaan baja. Seperti yang kita ketahui bahwa semakin besar konsentrasi karbon pada permukaan baja maka kekerasannya akan meningkat pula.

Pada proses *pack carburizing* arang sebagai media karburasi sangat lambat dalam pembentukan gas CO sehingga dalam prakteknya digunakan sebuah katalisator atau *energiser* berupa bahan kimia seperti BaCO₃, BaCl, NaCO₃. Dari penelitian yang dilakukan tanpa bahan kimia diperoleh nilai kekerasan yang kurang dari kekerasan fasa martensit yaitu berupa fasa ferit dan fasa perlit yang nilai kekerasannya kurang dari 450HV. (Masyukan, 2006). Dimana fasa martensit merupakan salah satu fasa pada baja karbon yang memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan fasa yang lain.

Dalam praktek *pack carburizing* katalisator atau energizer yang sering digunakan adalah BaCO₃. Dari penelitian yang dilakukan menggunakan 60% serbuk arang tempurung kelapa dan 40% BaCO₃ dengan waktu penahanan 1 jam didapatkan hasil kekerasan meningkat menjadi 689 HV dari kekerasan awal sebesar 99 HV dari material awal sebelum dilakukan proses karburasi. (Eko J.A. 2006).

Berdasarkan latar belakang diatas maka dilakukan penelitian yang berjudul "Pengaruh ketebalan media karburasi pada proses *pack carburizing* terhadap nilai kekerasan baja karbon rendah". Penelitian menggunakan kontainer dengan media karburasi berupa campuran 80% serbuk arang tempurung kelapa dan 20% BaCO₃ dengan waktu penahan 2 jam. Hal ini disebabkan pada arang tempurung kelapa lebih murah dari pada bahan kimia BaCO₃ sehingga proses karburasi akan lebih ekonomis.

Baja karbon

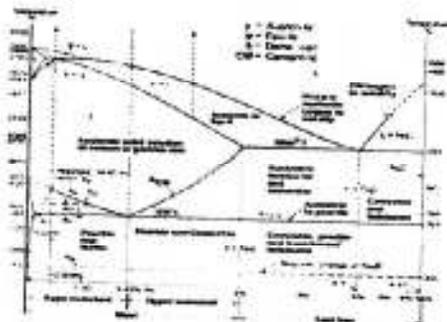
Besi (*ferrous*) merupakan salah satu logam yang paling awal diketahui. Besi sejak dahulu telah banyak digunakan diberbagai bidang. Selain karena nilai ekonomisnya, besi mempunyai sifat-sifat yang

1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang

bervariasi, dapat dibentuk atau diolah menjadi berbagai macam bentuk yang diinginkan dan dapat dikembangkan dalam lingkupan yang luas.

Baja merupakan paduan dari besi, karbon dan elemen-elemen lain dimana kandungan karbonnya kurang dari 2%. Baja karbon merupakan paduan sederhana antara besi dan karbon, dimana karbon merupakan unsur yang menentukan nilai keuletan dan kekerasan dari baja. Baja karbon berdasarkan komposisi kimianya, khususnya kadar karbon, dapat dikelompokkan menjadi baja karbon rendah, baja karbon medium dan baja karbon tinggi.

Gambar 1 menunjukkan diagram fasa Fe-Fe₃C. Wilayah pada diagram dengan kadar karbon dibawah 2% menjadi perhatian utama untuk proses *heat treatment* pada baja. Diagram fasa hanya berlaku untuk perlakuan panas pada baja hingga mencair dengan proses pendinginan secara perlahan-lahan sedangkan pada proses pendinginan cepat, menggunakan diagram CCT (*Continuous Cooling Temperatur*).



Gambar 1. Diagram fasa Fe-Fe₃C (Djaprie, 1983)

Fasa-fasa padat yang terdapat dalam Fe-Fe₃C adalah :

- 1) Ferit (α) adalah larutan padat intertisi karbon dalam struktur kristal BCC besi. Dalam diagram fasa kelarutan karbon maksimum dalam α adalah 0,02% pada 723° C. Kelarutan karbon dalam ferit menurun menjadi 0,005% pada 0° C.
- 2) Austenit (γ) adalah larutan padat intertisi karbon didalam struktur kristal FCC besi. Kelarutan karbon dalam austenit lebih besar dari perit. Kelarutan karbon maksimum dalam austenit adalah 2 % pada 1148° C dan menurun menjadi 0,8% C pada 723° C.
- 3) Sementit (Fe₃C) adalah senyawa logam dengan karbon. Limit kelarutannya diabaikan dan komposisi karbon 6,7% dan 93,3% Fe. Sementit adalah senyawa keras dan getas.
- 4) Besi (δ) adalah larutan padat intertisi karbon dalam struktur kristal besi BCC, mempunyai konstanta kisi yang lebih besar dibanding α . Kelarutan karbon maksimum dalam δ adalah 0,09% pada 1465° C.

Proses karburisasi pada baja

Karburisasi adalah salah satu bagian dari proses perlakuan panas dengan cara mendifusikan

karbon pada permukaan logam dimana logam dasar tersebut mempunyai kandungan karbon dalam jumlah kecil. Proses karburisasi dilakukan dengan memanaskan logam pada lingkungan yang banyak mengandung karbon aktif, karbon akan terdifusi ke dalam logam.

Temperatur yang digunakan untuk proses karburisasi adalah temperatur austenisasi yaitu berkisar antara 760 °C - 1300 °C. Temperatur karburisasi untuk tiap jenis material berbeda-beda. Dari diagram fasa pada gambar 1 dapat dilihat bahwa temperatur kritis berbeda untuk kadar karbon yang berbeda.

Karburisasi padat (*pack carburizing*) adalah suatu cara karburisasi yang sudah dikenal lama. Bahan dimasukkan dalam kotak tertutup dan ruangan diisi dengan arang kayu atau kokas. Prosesnya memakan waktu cukup lama dan banyak diterapkan untuk memperoleh lapisan yang tebal antara 0,75 hingga 4 mm.

Untuk memperoleh lapisan yang lebih tipis antara 0,10 sampai 0,75 mm digunakan karburisasi gas (*gas carburizing*), antara lain dapat digunakan gas alam atau hidrokarbon atau propan (gas karbit). Cara ini diterapkan untuk karburisasi bagian-bagian yang kecil yang dapat dicelupkan langsung setelah pemanasan dalam dapur.

Pada karburisasi cair (*liquid carburizing*), baja dipanaskan di atas suhu austenit dalam dapur garam sianida sehingga karbon dan nitrogen dapat berdifusi kedalam lapisan luar. Proses ini mirip dengan proses *cyaniding*, hanya disini kulit luar mempunyai kadar karbon yang lebih tinggi dan kadar nitrogen yang lebih rendah. Karburisasi cair dapat digunakan untuk membentuk lapisan setebal 6,35 mm, meskipun umumnya lapisan tidak melebihi 0,64 mm. Cara ini baik untuk pengerasan permukaan baja berukuran kecil dan sedang.

Baja karbon rendah dengan kadar C = 0,15% umumnya dikeraskan dengan proses *carburizing*. Selama proses karburisasi kadar karbon lapisan luar dapat ditingkatkan sampai 0,9 - 1,2% C.

Pack carburizing

Pack carburizing adalah salah satu bagian dari proses perlakuan panas dengan cara mendifusikan karbon padat pada permukaan logam dimana logam dasar tersebut mempunyai kandungan karbon dalam jumlah kecil. Proses karburisasi dilakukan dengan memanaskan logam pada lingkungan yang banyak mengandung karbon aktif, karbon akan terdifusi ke dalam logam.

Temperatur yang digunakan untuk proses karburisasi adalah temperatur austenisasi yaitu berkisar antara 760 °C - 1300 °C. Temperatur karburisasi untuk tiap jenis material berbeda-beda. Dari diagram fasa pada gambar 1 dapat dilihat bahwa temperatur kritis berbeda untuk kadar karbon yang berbeda.

Pada umumnya karburasi dilakukan dengan meletakkan baja pada kotak atau kontainer dengan karbon aktif berbentuk padat dan diisolasi dari udara luar, dipanaskan di atas suhu austenisasi dan ditahan selama waktu tertentu. karena temperatur yang tinggi, karbon akan teroksidasi oleh oksigen yang terperangkap di dalam kontainer menjadi gas CO₂. Selanjutnya reaksi-reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Dengan temperatur yang semakin tinggi, kesetimbangan reaksi akan cenderung ke arah kanan, yaitu semakin banyak gas CO yang terbentuk. Gas CO selanjutnya akan terurai dengan reaksi :



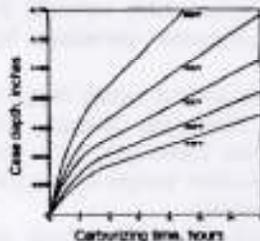
Atom C yang dihasilkan dalam reaksi ini akan terdifusi ke dalam permukaan logam dalam bentuk larutan padat intertisi yaitu austenit.

Bahan kimia aktif, contohnya BaCO₃, berfungsi sebagai *energizer* yang mempercepat terbentuknya gas CO₂. Hal ini dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut:



Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses karburasi antara lain: *holding time*, karbon potensial, temperatur karburasi dan waktu *quenching*. Kekerasan baja akan meningkat jika *holding time* dan waktu *quenching* semakin lama. Semakin lama *holding time* maka *case depth* semakin dalam. Setiap jenis karbon potensial dan bahan kimia aktif akan memberikan nilai kekerasan dan *case depth* yang berbeda.

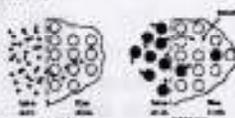
Pengaruh waktu karburasi terhadap kedalaman lapisan karbon dapat diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh temperatur karburasi pada case depth

Difusi pada baja

Jika kita ingin melakukan pengerasan pada baja dimana tidak memiliki banyak kandungan karbon dan paduan lain untuk dikeraskan dengan *quenching*, perlakuan difusi dapat diterapkan untuk menambah elemen paduan pada permukaan yang akan dikeraskan.



Gambar 3. Proses terjadinya difusi

Difusi adalah perpindahan secara spontan dari atom atau molekul dalam suatu bahan yang cenderung untuk menjaga keseragaman komposisi secara keseluruhan. Ada dua cara berbeda suatu atom padat dapat terdifusi ke dalam logam induk. Gambar 3 memperlihatkan atom padat yang kecil menuju ruang kosong antara atom-atom logam induk. Ini disebut *interstitial diffusion*. Jika kita ingin mencoba mendifusikan atom yang besar ke dalam logam induk, tentu akan terlalu besar untuk dapat mengisi ruang kosong yang ada. Dalam kasus ini, *substitutional diffusion* mungkin dapat terjadi. Atom padat mencari jalannya sendiri untuk menemukan kekosongan atom dalam logam induk dan menempatnya. Kekosongan atom adalah tempat atom yang seharusnya terisi atom tetapi tidak terdapat atom ditempat tersebut.

Beberapa teori difusi secara praktis dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Proses difusi untuk pengerasan baja biasanya membutuhkan temperatur yang tinggi, lebih besar dari 900°F (482°C).
2. Agar difusi dapat terjadi logam induk harus memiliki konsentrasi unsur pendifusi yang rendah dan harus terdapat konsentrasi yang lebih banyak pada lingkungan atau sebaliknya.
3. Difusi hanya akan terjadi ketika ada atom yang cocok antara atom pendifusi dan logam induk.

Pengaruh kadar karbon pada baja

Pengaruh kadar karbon terhadap kekerasan pada baja karbon dapat kita lihat pada diagram dalam gambar.4. Dari gambar tersebut dapat kita lihat hubungan antara nilai kekerasan dengan meningkatnya kadar karbon dalam baja. Kekerasan maksimum hanya dapat dicapai apabila terbentuk martensit 100%.



Gambar 4. Hubungan Antara Kekerasan dan Kadar Karbon

Berdasarkan banyak sedikitnya karbon, baja karbon dikelompokkan menjadi 3 yaitu (Bishop, 2000) :

a. Baja Karbon Rendah

Baja karbon yang mempunyai kandungan karbon kurang dari 0,3 % Karena kandungan karbonnya rendah maka sifat baja ini sangat lunak, tetapi mempunyai tingkat keuletan yang tinggi. Baja ini dapat ditempa, dikeraskan permukaannya (*case hardening*), mudah dilas

dan ditempa. Baja karbon rendah ini biasanya banyak digunakan untuk konstruksi jembatan, mur, baut, pelat, kawat, roda gigi, pipa dan sebagainya.

b. Baja Karbon Sedang

Baja karbon yang mempunyai kandungan karbon antara 0,3 sampai 0,7 %. Baja karbon ini lebih kuat dan keras dibanding baja karbon rendah. Sifat-sifat dari baja ini adalah dapat dikeraskan, ditempering, dilas, dikerjakan pada mesin dengan baik. Penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah. Perancangan konstruksi pembebanan yang lebih berat yang memerlukan kekuatan dan kekerasan tinggi, maka baja karbon sedang lebih tepat.

c. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi mempunyai kandungan karbon antara 0,7 sampai 1,7 %. Kekerasannya lebih tinggi bila dibandingkan dengan kedua baja karbon diatas. Baja karbon ini tingkat keuletannya rendah. Baja karbon ini bersifat tahan aus, contoh penggunaannya adalah untuk pahat kayu dan kikir.

Kekerasan

Kekerasan adalah ketahanan sebuah benda (baja karbon) terhadap penetrasi /daya tembus dari bahan lain yang lebih keras (penetrator). Kekerasan merupakan suatu sifat dari bahan yang sebagian besar dipengaruhi oleh unsur-unsur paduannya. Kekerasan suatu baja tersebut dapat berubah bila dikerjakan dengan pekerjaan dingin, seperti pengerolan, penarikan dan sebagainya. Dengan perlakuan panas kekerasan baja dapat ditingkatkan sesuai kebutuhan.

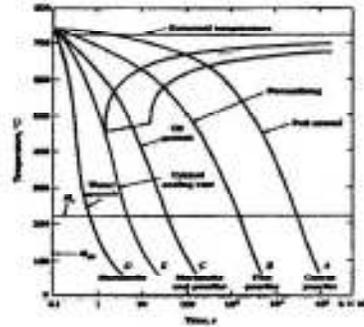
Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil kekerasan dalam perlakuan panas antara lain :

- a. Komposisi kimia
- b. Proses perlakuan panas yang digunakan
- c. Metode pendinginan yang digunakan
- d. Temperatur proses.
- e. Waktu pemanasan

Kekerasan suatu bahan (baja) dapat diketahui dengan pengujian kekerasan dengan memakai mesin uji kekerasan (*hardness tester*). Ada tiga cara/metoda yang telah banyak/ umum dilakukan yaitu metoda Brinell, Rockwell dan Vickers.

Pendinginan cepat (*quenching*)

Quench (celup cepat) adalah salah satu perlakuan panas dengan laju pendinginan cepat yang dilakukan didalam suatu media pendingin air garam, air atau oli. *Quench* ini bertujuan untuk memperoleh sifat mekanik yang lebih keras. Pada baja karbon rendah dan baja karbon sedang biasanya digunakan media air, sedangkan untuk baja karbon tinggi dan baja paduan biasanya digunakan media oli.



Gambar 5. Diagram CCT

Dari Gambar 5. dapat memberikan perkiraan dari struktur mikro yang terbentuk pada suatu periode perlakuan panas, pada temperatur konstan, serta diikuti dengan pendinginan yang berlanjut. Berdasarkan diagram CCT maka akan terbentuk martensit pada kecepatan pendinginan yang tinggi.

METODE PENELITIAN

Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1. Mesin *crushing* dan neraca pegas
- 2. *Furnace*
- 3. Kontainer
- 4. Pemegang spesimen
- 5. Mesin bubut dan mesin amplas
- 6. Alat uji kekerasan mikro vickers

Bahan Penelitian

- Media karburasi
- Spesimen uji

Proses karburasi

Langkah-langkah proses karburasi adalah sebagai berikut:

- 1. Sebelum dilakukan karburasi, spesimen dibersihkan dan dihaluskan permukaannya dari kotoran dan karat yang melekat dengan cara mengikir dan mengamplas spesimen dengan ukuran 320mesh.
- 2. Menghancurkan arang tempurung kelapa, hingga menjadi serbuk arang yang digunakan sebagai bahan karbon aktif.
- 3. Mencampurkan serbuk arang dengan BaCO₃, dengan perbandingan 80% serbuk arang dan 20% BaCO₃, dimana prosentase dalam berat.
- 4. Spesimen diletakkan pada pemegang kemudian isi kontainer tersebut dengan

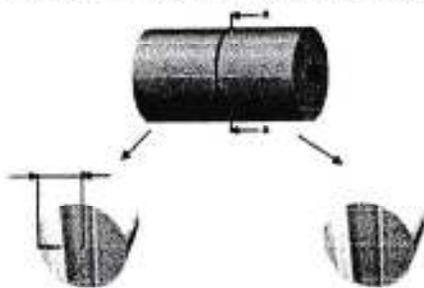
campuran serbuk karbon dan BaCO₃ selanjutnya kontainer ditutup. Peletakan spesimen di dalam kontainer harus diperhatikan dengan baik. Seluruh permukaan spesimen harus tertutup seluruhnya oleh campuran serbuk karbon

dan BaCO₃ dan jarak antara spesimen satu dengan yang lain sama.

- Kontainer yang telah diisi spesimen dimasukkan ke dalam *furnace* sampai mencapai suhu 980 °C. Setelah suhu 980 °C tercapai, kemudian ditahan selama 2 jam.
- Kontainer dikeluarkan dari *furnace* setelah 2 jam. Spesimen dikeluarkan dari kontainer dan dilakukan *quenching* dengan menggunakan media air.
- Ulangi langkah diatas untuk percobaan parameter I dan II.

Penentuan nilai kekerasan mikro Vickers

Dalam penelitian ini, pengukuran nilai kekerasan dari baja hasil proses karburasi dilakukan pada daerah seperti yang terlihat pada gambar. Nilai kekerasan rata-rata dapat dihitung dengan persamaan :



$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Dimana, \bar{x} = kekerasan rata-rata

$\sum x_i$ = jumlah kekerasan dari semua

spesimen

n = jumlah spesimen

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah :

Variabel bebas, yaitu waktu dan jarak.

Variabel terikat yaitu kekerasan pada logam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Material yang digunakan untuk penelitian adalah baja tulangan yang digunakan untuk konstruksi sebuah bangunan. Untuk mengetahui kandungan unsur-unsur paduan yang terdapat dalam baja tersebut maka dilakukan uji komposisi kimia. Tabel.1 menunjukkan bahwa baja tersebut memiliki unsur karbon sebesar 0.138% sehingga baja tersebut termasuk baja karbon.

Tabel 1. Komposisi kimia bahan yang diteliti

UNSUR	KOMPOSISI (%)	UNSUR	KOMPOSISI (%)
Fe	98.38	Mo	0.047
C	0.138	Cu	0.147
Si	0.672	Mg	0.000
Mn	0.238	V	0.009
P	0.094	Ti	0.007
S	0.025	Nb	0.016
Ni	0.061	Al	0.046
Cr	0.057	W	0.047

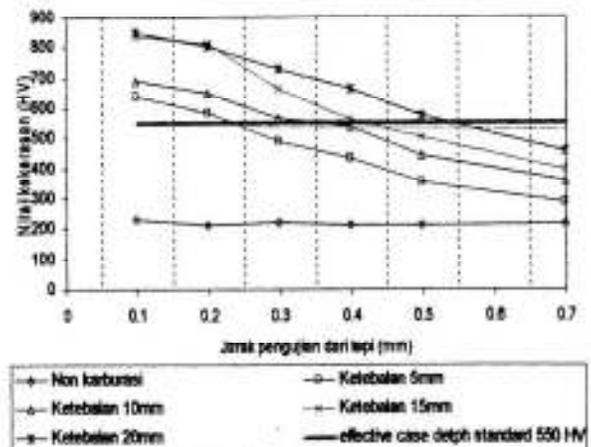
Tabel 2. Nilai kekerasan rata-rata spesimen sebelum proses karburasi.

No.	Jarak dari tepi (mm)	HV Rata-rata
1	0.1	231
2	0.2	213
3	0.3	221
4	0.4	213
5	0.5	211
6	0.7	217
7	1	207
8	7.5	218

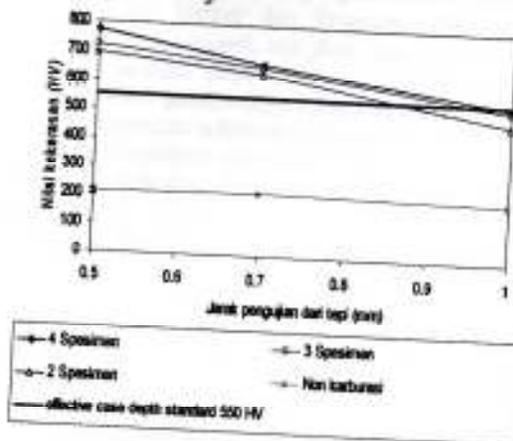
Pengaruh Ketebalan Media Karburasi

Nilai kekerasan rata-rata hasil *pack carburizing* untuk spesimen dengan ketebalan media karburasi sebesar 5 mm, 10 mm, 15 mm, dan 20 mm dari dinding container.

Grafik kedalaman pengerasan dengan variasi ketebalan media karburasi,



Grafik kedalaman pengerasan spesimen dengan variasi jumlah spesimen uji



KESIMPULAN

1. Ketebalan media karburasi berpengaruh pada peningkatan kekerasan permukaan dan kedalaman pengerasan baja karbon rendah. Dimana semakin tebal media karburasi maka nilai kekerasan permukaan dan kedalaman pengerasan semakin tinggi. Pada ketebalan media karburasi 5 mm nilai kekerasan sebesar 636 HV dengan kedalaman pengerasan 0.21 mm, ketebalan media karburasi 10 mm sebesar 691 HV dengan kedalaman pengerasan 0.33 mm, ketebalan media karburasi 15 mm sebesar 834 HV dengan kedalaman pengerasan 0.44 mm, dan ketebalan media karburasi 20mm sebesar 848 HV dengan kedalaman pengerasan 0.48 mm.
2. Dari variasi jumlah spesimen dengan diameter kontainer sebesar 110 mm diketahui bahwa nilai kekerasan dan kedalaman pengerasan berkurang relatif kecil dengan bertambahnya jumlah spesimen yaitu pada jumlah 2 spesimen sebesar 995 HV dengan kedalaman pengerasan 0.98 mm, jumlah 3 spesimen sebesar 983 HV dengan kedalaman pengerasan 0.94 mm, dan pada jumlah 4 spesimen sebesar 936 HV dengan kedalaman pengerasan 0.86 mm.

DAFTAR PUSTAKA

Budinski, K.G., and Budinski, M.K., 1999, *Engineering Materials, 6th Edition*, Prentice - Hall Inc., New Jersey.

Callister, W.D., 1997, *Material Science and Engineering, 4th Edition*, John Wiley and Sons Inc., Canada.

Clark, D.S., Varney W.R., 1962, *Physical Metallurgy for Engineering*, D.Van Nostrand Company, INC.

Djaprie, S., 1983, *Ilmu Dan Teknologi Bahan*, Erlangga, Jakarta.

Dieter, G.E., 1996, *Metalogi Mekanik*, Alih Bahasa: Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.

Eko, J.A., 2006, *Pengaruh Media Karburasi dan Bahan Kimia Aktif Terhadap Kekerasan Cangkul*, Skripsi S1 Teknik Mesin FT, UNS, Surakarta.

Suratman, Rochim, 1994, *Panduan Proses Perlakuan Panas*, Lembaga Penelitian ITB, Bandung.

Suhartono, H.A., 1994, *Pengaruh Karburasi Terhadap Ketahanan Lelah Baja Karbon Dengan Takik*, Majalah BPPT, Jakarta.

Smith, W.F., 1996, *Principles of Material Science and Engineering, 3rd Edition*, McGraw-Hill Inc., New York.

Schonmetz, A., dan Gruber, K., 1995, *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam*, Angkasa, Bandung.

Trapsilo, B., 2007, *Pengaruh Prosentase BaCO3 Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbn Rendah Pada Pack Carburizing*, Skripsi S1 Teknik Mesin FT, UNS, Surakarta.