

Meningkatkan Efektivitas Arang Bakau Pada Proses Karburising Padat Baja Karbon Rendah Menggunakan Barium Karbonat

(Improving Bakau's Charcoal Effectiveness on Pack Carburizing of Low-Carbon Steel Using Barium Carbonate)

ARIANTO LEMAN SOEMOWIDAGDO, MUJIYONO

ABSTRACT

The effect of BaCO₃ on bakau charcoal effectiveness as a carburizer for pack carburizing process was investigated. Bakau charcoal being produced from bakau trees were sifted on 30 mesh sieve. BaCO₃ was then added into the bakau charcoal sieves with composition of 0, 15, 20, 25, and 30 wt %. The pack carburizing was carried out at 850 °C for 2 hours. Low-carbon steel containing 0.156 %C was used as specimen. After being carburized, all specimens were reheated at 850 °C, hold it for 5 minutes, and subsequently quenched into water at 28 °C. The result shows that BaCO₃ improves bakau charcoal effectiveness as a solid media in pack carburizing proces. By adding of 20, 25 dan 30 wt % of BaCO₃, it produced the case depth of 190 μm, 250 μm dan 325 μm, respectively. Martensite structure that arises on steel surface after being quenched indicates the increase of the amount of carbon atoms.

Keywords: bakau charcoal, pack carburizing, barium carbonate.

PENDAHULUAN

Difusi adalah gerak spontan atom atau molekul di dalam bahan yang cenderung membentuk komposisi yang seragam (Budinski dan Budinski, 1999: 302). Gaya pendorong terjadinya proses difusi adalah gradien konsentrasi yaitu jumlah atom/molekul yang terdapat di sekitar komponen dibandingkan dengan jumlah atom/molekul yang terdapat di dalam komponen. Hukum pertama Fick menyatakan bahwa laju difusi merupakan fungsi koefisien difusi dan gradien konsentrasi. Hukum kedua Fick menyatakan difusi atom pada kedalaman tertentu merupakan fungsi waktu.

Hukum pertama Fick :

$$J = D \left(\frac{dC}{dx} \right) \quad (1)$$

Hukum kedua Fick :

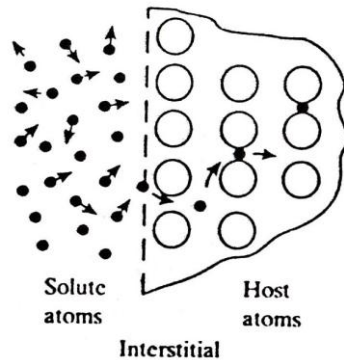
$$\frac{C_x - C_o}{C_s - C_o} = 1 - \operatorname{erf} \left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right] \quad (2)$$

dengan,

J	=	fluks atau aliran atom (jumlah atom/satuan waktu/satuan luas)
D	=	koefisien difusi (satuan luas/satuan waktu)
C _s	=	konsentrasi atom dipermukaan
C _o	=	konsentrasi awal pada baja
C _x	=	konsentrasi pada jarak x dari permukaan pada setelah t
t	=	lamanya proses difusi
x	=	jarak dari permukaan
dC/dx	=	gradien konsentrasi (C=jumlah atom/volume)
erf	=	<i>error function</i> (integral dari kurva Gaussian)

Difusi interstisial (Gambar 1) adalah pergerakan atom ke posisi interstisi yaitu daerah kosong di antara atom-atom substrat. Mekanisme ini dapat ditemui pada pergerakan atom-atom hidrogen, karbon, nitrogen, dan oksigen yang ukurannya cukup kecil sehingga dapat menyisip pada posisi interstisi (Callister, 2001: 129).

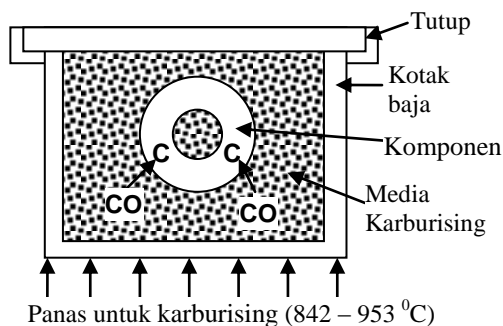
Karburising adalah aplikasi proses difusi pada perlakuan permukaan baja, yaitu dengan menempatkan baja karbon rendah dalam lingkungan yang kaya karbon. Laju difusi tergantung pada jenis baja, atom yang terdifusi, gradien konsentrasi dan temperatur. Proses ini hanya untuk meningkatkan kadar karbon pada baja karbon rendah, sedang untuk mengeraskan, dilakukan proses *quenching*. Berdasarkan medianya, karburising dibedakan menjadi *pack*, *liquid* dan *gas carburizing*.



GAMBAR 1. Pemodelan proses difusi interstisi

SUMBER: Budinski & Budinski, 1999:303

Metode *pack carburizing* dikenal juga sebagai karburising padat, karena menggunakan media padat sebagai penambah unsur karbon (Rajan et al., 1997: 154). Baja karbon rendah diletakkan dalam sebuah kotak yang berisi media padat dan dipanaskan pada temperatur 842 – 953 °C seperti tampak pada Gambar 2 (Budinski dan Budinski, 1999: 304).



GAMBAR 2. Proses karburising padat

SUMBER: Budinski & Budinski, 1999: 305

Media padat yang dipanaskan akan mengalami proses pirolisis sekunder atau pembakaran tidak sempurna tingkat kedua dan menghasilkan gas CO akibat reaksi antara karbon dan oksigen (Persamaan (3)). Gas CO akan terurai di permukaan baja karbon rendah menjadi gas CO₂ dan C_{atom} (Persamaan (4)). C_{atom} yang

mempunyai keaktifan tinggi akan mudah terdifusi ke dalam besi gamma membentuk sementit (Fe₃C) di permukaan baja karbon mengikuti Persamaan (5) (Prabudev, 1995). Gas CO₂ yang dihasilkan pada Persamaan (4), akan bereaksi kembali dengan C dari media padat membentuk gas CO mengikuti Persamaan (6).



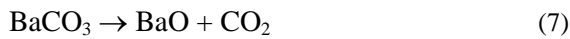
Arang merupakan salah satu contoh media padat yang digunakan pada proses karburising padat. Arang adalah hasil proses pirolisis primer yang mengaktifasi karbon sehingga arang menjadi media padat yang kaya akan karbon. Beberapa penelitian karburising dengan media padat telah dilakukan oleh: Arbintarso (2003) menggunakan arang baterai bekas; Suryanto et al. (2003) memakai arang kayu; Sudarsono et al. (2003), Mujiyono dan Soemowidagdo (2005), Tiwan dan Mujiyono (2005), Soemowidagdo (2006) memanfaatkan arang tempurung kelapa; Setiamarga et al. (2006) menggunakan karbon aktif; Masyrukan (2006) memakai arang pohon jati; Soemowidagdo dan Mujiyono (2007) menelaah arang pohon bakau, serta Soemowidagdo (2009) yang memanfaatkan arang sekam padi.

Karburising padat umumnya dilakukan terhadap baja karbon rendah dengan 0,1–0,25 %C untuk meningkatkan kadar karbon hingga mencapai 0,7–0,9 %C. Waktu yang dibutuhkan untuk proses karburising padat umumnya bervariasi antara 6–8 jam dan lapisan keras (*case depth*) yang diperoleh bervariasi dari 1 – 2 mm (Rajan et al., 1997: 155). Hasil dari proses ini sangat tergantung pada kualitas media padatnya.

Bahan pengaktif (*energizer*) ditambahkan pada media padat untuk mempercepat proses karburising padat. Barium karbonat (BaCO₃), natrium karbonat (Na₂CO₃) dan kalsium karbonat (CaCO₃) memberikan efek berbeda jika ditambahkan pada media padat untuk proses karburising padat. Tabel 1 memperlihatkan pemanfaatan bahan pengaktif pada proses karburising padat.

Bahan pengaktif berfungsi untuk mempercepat pembentukan gas CO yang memegang peranan utama dalam proses difusi atom karbon ke permukaan baja karbon rendah. Barium

karbonat ketika dipanaskan pada suhu tinggi akan terurai mengikuti Persamaan (7).

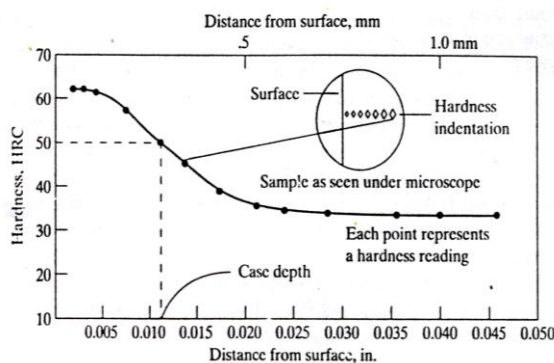


Gas CO_2 hasil Persamaan (7) akan bereaksi dengan karbon dari media padat membentuk gas CO mengikuti Persamaan (6). Gas CO ini akan terurai di permukaan baja karbon rendah mengikuti Persamaan (4) yang selanjutnya membentuk sementit sesuai Persamaan (5).

TABEL 1. Penggunaan bahan pengaktif pada proses karburising padat

No	Bahan Pengaktif	Referensi
1	Barium Karbonat	Suryanto et al. (2003) Tiwon & Mujiyono (2006)
2	Natrium Karbonat	Sudarsono et al. (2003) Mujiyono & Soemowidagdo (2005)
3	Kalsium Karbonat	Soemowidagdo (2006)

Kedalaman difusi atom karbon setelah proses karburising dapat ditentukan menggunakan metode pengukuran *case depth*, yaitu pengukuran lapisan keras yang terbentuk setelah proses *quenching* seperti tampak pada Gambar 3. Batas *case depth* ditandai dengan kekerasan 50 HRC atau 513 VHN.



GAMBAR 3. Penentuan *case depth* dengan pengukuran kekerasan mikro

SUMBER: Budinski & Budinski, 1999: 306

Hutan bakau yang agak luas di Pulau Jawa masih tersisa di sekitar Segara Anakan dekat Cilacap. *Rhizophora mucronata* adalah jenis pohon bakau yang banyak tumbuh di pesisir pantai Ayah, Cilacap, Jawa Tengah. Sesuai perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, hutan bakau menyediakan berbagai jenis sumber daya sebagai bahan baku industri dan berbagai komoditas perdagangan yang bernilai ekonomis tinggi (Hikmawan, 2008). Secara

garis besar, manfaat ekonomis hutan bakau seperti hasil berupa kayu (kayu konstruksi, tiang/pancang, kayu bakar, arang, serpihan kayu (*chips*) untuk bubur kayu), sedangkan hasil bukan kayunya berupa hasil hutan ikutan (tannin, madu, alkohol, makanan, obat-obatan) maupun jasa lingkungan (ekowisata). Melana et al. (2000) juga menyatakan hal yang sama mengenai potensi hutan bakau yang masih perlu di kaji lebih dalam lagi.

Soemowidagdo dan Mujiyono (2007) yang memanfaatkan arang pohon bakau untuk proses karburising padat pada baja karbon rendah menemukan bahwa batang pohon bakau bagian atas, tengah maupun bawah tidak berpengaruh terhadap hasil. Pada proses karburising 2 jam, arang pohon bakau meningkatkan kekerasan permukaan baja karbon rendah sebesar 160% yaitu dari mula-mula 152 VHN menjadi 389 VHN. Proses karburising 6 jam menghasilkan *case depth* 260 μm .

Peningkatan efektivitas arang pohon bakau menggunakan barium karbonat pada proses karburising padat terhadap baja karbon rendah akan diungkap dalam artikel ini. Variasi penambahan barium karbonat pada arang bakau akan ditelaah pengaruhnya pada proses karburising padat. Indikator untuk menyatakan peningkatan efektivitas adalah: peningkatan kekerasan permukaan, *case depth*, dan perubahan struktur mikro.

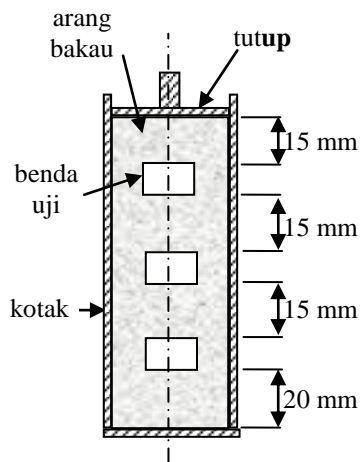
METODE PENELITIAN

Pohon bakau jenis *rhizophora mucronata* diambil dari pesisir pantai Ayah, Cilacap, Jawa Tengah. Batang pohon bakau yang dipakai adalah dari atas bonggol akar hingga di bawah ranting dahan, kemudian dibuat arang di Fakultas Kehutanan UGM, dihancurkan dan diayak lolos saringan mesh 30. Komposisi kimia benda uji dari baja karbon rendah berukuran $\varnothing 20$ mm dan tebal 10 mm tampak pada Tabel 2.

BaCO_3 ditambahkan pada arang pohon bakau dengan variasi 0, 15, 20, 25, dan 30% wt. Replikasi benda uji adalah 3 buah untuk masing-masing variabel. Posisi benda uji di dalam kotak dari pipa baja berdiameter 2 inci dan tebal 2 mm tampak pada Gambar 4. Bagian bawah dan atas pipa ditutup dengan plat setebal 2 mm. Permukaan benda uji yang akan diuji dan diamati menghadap ke bawah, disusun secara vertikal.

Tabel 2. Komposisi kimia baja karbon rendah

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S
Komposisi (%berat)	98,43	0,156	0,034	0,826	0,018	0,027
Unsur	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb	W
Komposisi (%berat)	0,115	0,196	0,024	0,093	0,01	0,07



GAMBAR 4. Posisi benda uji di dalam kotak.

Proses karburising dilakukan dengan langkah sebagai berikut: seluruh kotak dipanaskan dalam dapur pemanas dari suhu kamar ke suhu 850 °C selama 45 menit dan ditahan selama 2 jam pada suhu tersebut. Setelah 2 jam kotak-kotak dikeluarkan dari dalam dapur, didinginkan di udara terbuka dan selanjutnya benda-benda uji dikeluarkan dari kotak. Pengerasan dilakukan dengan memanaskan seluruh benda uji pada suhu 850 °C, ditahan selama 5 menit, kemudian dicelup secara bersamaan ke dalam air bersuhu 28 °C.

Mikroskop optik Olympus digunakan untuk mengamati perubahan struktur mikro, sedang *micro Vickers hardness* Shimadzu HMV-2 dengan beban penekan 1 kg digunakan untuk

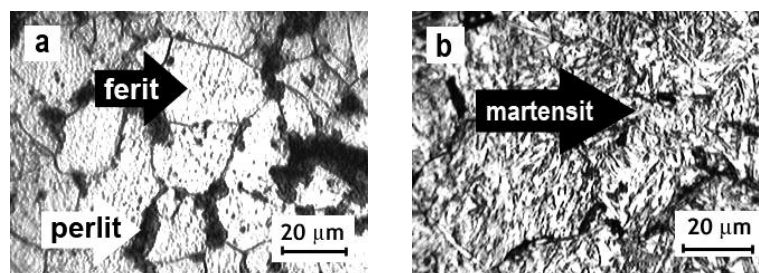
mengukur kekerasan permukaan dan *case depth*.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

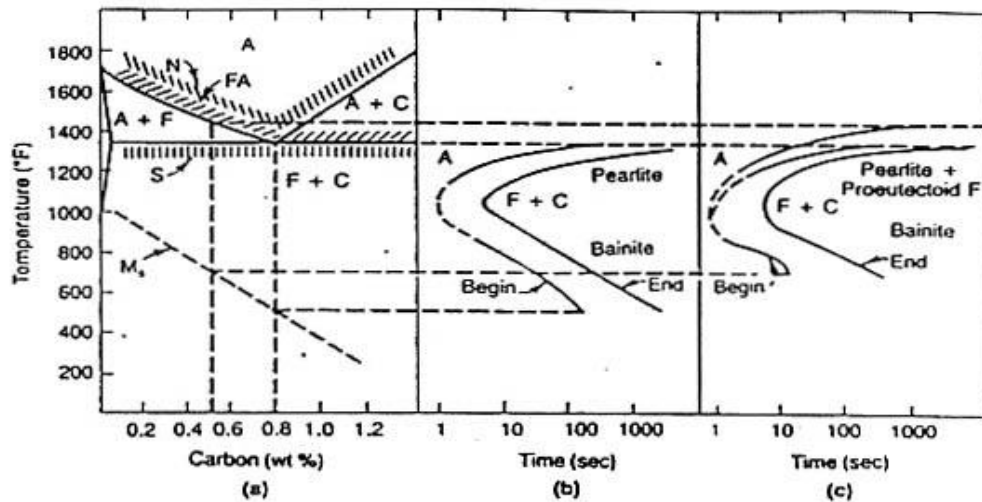
Struktur Mikro

Struktur ferit dan perlit teramati pada permukaan benda uji awal, sedangkan struktur martensit tampak pada semua permukaan benda uji yang dikarburising dan di *quenching* (Gambar 5). Struktur martensit yang tampak pada permukaan benda uji setelah proses *quenching* ini menunjukkan terjadinya peningkatan kadar karbon pada baja karbon rendah.

Gambar 5a menunjukkan bahwa benda uji termasuk dalam kategori baja karbon rendah (Tabel 2), yaitu didominasi oleh struktur ferit dibanding struktur perlit. Baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,25 % sangat sulit dikeraskan melalui *quenching*. Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin rendah karbon dalam baja, suhu transformasi A_3 (suhu transformasi fasa dari ferit menjadi austenit) akan semakin naik, kurva mulai terjadinya transformasi akan bergeser ke kiri dan M_s (mulai terbentuknya struktur martensit) juga akan semakin ke atas. Hal ini menyebabkan baja karbon rendah sulit membentuk martensit ketika di *quenching* karena kurva pendinginannya akan cenderung memotong kurva transformasi austenit menjadi ferit-perlit.



GAMBAR 5. Struktur mikro permukaan benda uji: (a) benda awal; (b) setelah karburising dengan 30% wt BaCO₃ diikuti proses pengerasan.



GAMBAR 6. Hubungan diagram fasa Fe-C (a) dengan diagram TTT baja eutektoid (b) dan diagram TTT baja dengan 0,5% C

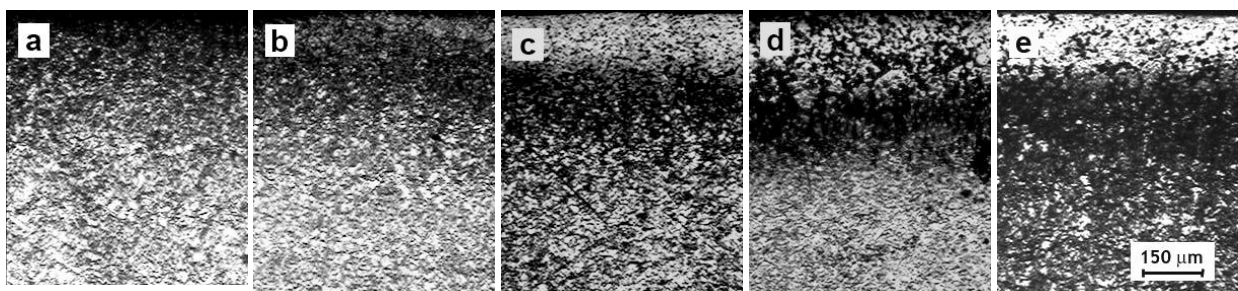
SUMBER: Krauss, 1980: 87

Struktur martensit pada Gambar 5b mengindikasikan bahwa kadar karbon pada permukaan benda uji di atas 0,25%, karena pada saat *quenching* kurva pendinginan tidak memotong kurva transformasi austenit ke ferit-perlit, tapi memotong garis M_s dan M_f . Pada temperatur di atas A_3 dalam diagram fasa Fe-C, ferit dengan sel satuan *body-centered cubic* (BCC) berubah menjadi austenit yang mempunyai sel satuan *face-centered cubic* (FCC). Pendinginan secara cepat terhadap baja dengan karbon di atas 0,25% dari suhu di atas A_3 tidak menghasilkan α -Fe (BCC), tapi γ -Fe (FCC) berubah menjadi martensit dengan sel satuan *body-centered tetragonal* (BCT). Hal ini disebabkan oleh atom karbon yang tidak sempat terdifusi keluar dan terjebak dalam γ -Fe.

Pengamatan struktur mikro pada Gambar 7 menunjukkan bahwa atom-atom karbon terdifusi ke permukaan baja karbon rendah. Difusi ini ditandai dengan terbentuknya struktur martensit pada sisi tepi benda uji setelah *quenching* dalam air. Pada Gambar 7 tampak

bahwa difusi atom karbon semakin dalam dengan bertambahnya jumlah barium karbonat yang dicampurkan ke dalam arang bakau. Barium karbonat yang ditambahkan sebanyak 30% wt tidak dapat dikatakan sebagai kondisi optimal, karena tidak diketahui pengaruh penambahan barium karbonat di atas 30% wt.

Namun demikian, jelas sekali bahwa barium karbonat meningkatkan efektivitas arang bakau pada proses karburising padat ditandai dengan semakin dalamnya difusi atom karbon yang menunjukkan meningkatnya laju difusi atom karbon. Sesuai dengan hukum Fick (Persamaan 1 dan 2), maka semakin ke tengah benda uji, jumlah atom karbon yang terdifusi akan semakin menurun. Hal ini menyebabkan struktur martensit akan semakin sulit terbentuk karena kadar karbon akan semakin rendah. Pada Gambar 7 kondisi ini ditunjukkan dengan munculnya zona transisi dari struktur martensit ke struktur ferit perlit. Zona transisi ini ditandai dengan mulai berkurangnya jumlah struktur martensit dan mulai muncul struktur ferit-perlit.



GAMBAR 7. Difusi karbon pada penambahan barium karbonat: (a) 0%, (b) 15%, (c) 20%, (d) 25%, dan (e) 30%

Case Depth

Gambar 8 menunjukkan kurva *case depth* hasil proses karburising dan *quenching* yang diperoleh dengan metode pengukuran kekerasan. Hasil pengujian kekerasan *case depth* ini sesuai dengan struktur mikro pada Gambar 7. Tebal lapisan *case depth* ditentukan dari kekerasan 50 HRC atau 513 VHN (Budinski dan Budinski, 1999: 306). Tampak bahwa penambahan barium karbonat sebanyak 20, 25 dan 30% wt memberikan *case depth* berturut-turut sedalam 190 μm , 250 μm dan 325 μm . Pada penambahan barium karbonat 15% wt (Gambar 7b), meskipun tidak terbentuk *case depth*, namun atom karbon yang terdifusi pada baja lebih banyak dibanding pada baja yang dikarburising tanpa barium karbonat (Gambar 7a).

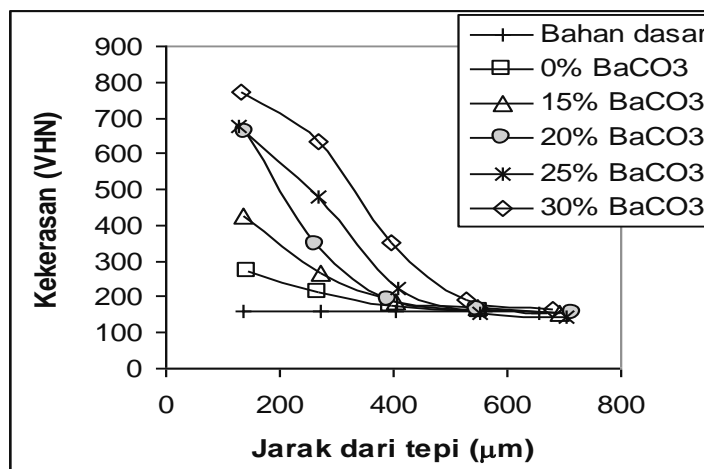
Martensit adalah struktur yang terbentuk akibat *quenching* yang kekerasannya bergantung pada kadar karbon (Callister, 2001: 342). Kekerasan dan kekuatan martensit tidak berkaitan dengan struktur mikro yang terbentuk saat pendinginan cepat, tapi lebih berkaitan dengan efektivitas atom-atom karbon yang terinterstisi dalam menghalangi gerak dislokasi (seperti pada efek larutan padat) dan relatif sedikitnya sistem slip pada sel satuan BCT. Hal ini berarti bahwa kekerasan yang semakin turun pada pengujian kekerasan *case depth* merupakan fungsi jumlah atom karbon yang terdifusi. Semakin tinggi jumlah atom karbon, maka akan semakin efektif

dalam menghalangi pergerakan dislokasi dan semakin sedikit sistem slip pada sel satuan BCT pada struktur martensit.

Hasil pengujian kekerasan *case depth* ini juga membuktikan bahwa barium karbonat meningkatkan efektivitas arang bakau pada proses karburising padat. Persamaan (7) menyatakan bahwa ketika dipanaskan barium karbonat akan melepaskan gas CO_2 . Semakin banyak jumlah barium karbonat yang ditambahkan, akan semakin banyak dilepaskan gas CO_2 yang akan mengikat atom-atom karbon dari arang bakau sehingga sejumlah besar gas CO terbentuk. Hal ini akan meningkatkan gradien konsentrasi yang akan meningkatkan fluks atau aliran atom pada baja sesuai Persamaan (1).

Kekerasan Permukaan

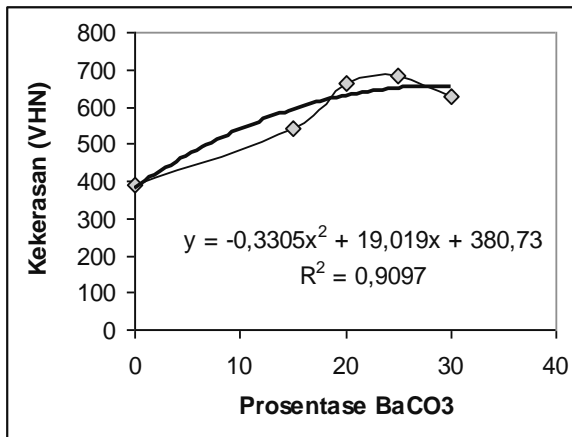
Setiap data dalam Tabel 3 diperoleh dari rata-rata 3 benda uji untuk setiap perlakuan. Pengujian kekerasan permukaan dilakukan pada 3 titik untuk tiap benda uji, sehingga ada 9 data untuk setiap perlakuan. Kekerasan permukaan pada baja dengan 0% wt barium karbonat sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Soemowidagdo dan Mujiyono (2007) yang menelaah pemanfaatan arang bakau sebagai media padat untuk karburising padat.



GAMBAR 8. *Case depth* pengaruh penambahan Barium Karbonat pada arang bakau

Tabel 3. Rata-rata hasil uji kekerasan permukaan

Energizer (% wt)	Kekerasan (VHN)
0% BaCO ₃	388
15% BaCO ₃	544
20% BaCO ₃	661
25% BaCO ₃	684
30% BaCO ₃	592



GAMBAR 9. Pengaruh barium karbonat terhadap kekerasan permukaan.

Gambar 9 adalah kurva pengaruh barium karbonat terhadap kekerasan permukaan hasil plot dari Tabel 3. Pengamatan terhadap data menunjukkan bahwa kekerasan permukaan pada penambahan 30% wt barium karbonat justru turun. Hal ini agak berkebalikan dengan hasil pengamatan struktur mikro dan pengukuran *case depth*.

Karburising padat selalu diikuti dengan *quenching* untuk memperoleh lapisan keras pada permukaan baja. *Quenching* umumnya dilakukan dengan cara sebagai berikut: setelah karburising, baja didinginkan secara perlahan, kemudian dipanaskan kembali sampai di atas A₃, ditahan untuk beberapa saat, sehingga semua α -Fe akan bertransformasi menjadi γ -Fe (austenit), dan selanjutnya baja didinginkan secara cepat ke dalam media pendingin (biasanya air). Metode pemanasan kembali ini memiliki kekurangan, yaitu: kekerasan permukaan baja akan sedikit turun (Budinski dan Budinski, 1999: 305). Kondisi ini disebabkan pemanasan yang mengakibatkan sebagian atom akan berdifusi

lebih ke dalam dan sebagian atom pada bagian permukaan terluar terlepas. Dekarburisasi atau terlepasnya atom karbon dipermukaan baja ini sesuai dengan definisi proses difusi, yaitu atom akan bergerak ke lingkungan dengan konsentrasi atom yang lebih rendah.

Pada penelitian ini benda uji dipanaskan dari suhu kamar sampai 850 °C selama 45 menit dan ditahan pada suhu 850 °C selama 5 menit. Saat pemanasan kembali tersebut, lingkungan sekitar baja adalah ruang pemanas dapur yang tidak kedap udara (vakum) sehingga merupakan lingkungan terbuka dengan konsentrasi atom karbon yang rendah dan akibatnya atom karbon di bagian terluar akan terlepas. Meskipun atom yang terlepas hanya sedikit, tetapi hal ini ternyata menyebabkan kekerasan permukaan baja sedikit lebih rendah, karena kekerasan martensit merupakan fungsi kadar karbon.

Pemanasan di dalam dapur pemanas yang tidak vakum menyebabkan permukaan baja rentan terhadap reaksi dengan gas-gas seperti: oksigen, uap air, dan karbon dioksida (Rajan, 1997: 228). Permukaan baja yang terpanaskan dapat mengalami dua hal akibat adanya gas-gas tersebut, yaitu: oksidasi dan dekarburisasi. Kedua fenomena ini juga menyebabkan sebagian atom karbon di permukaan baja terlepas yang mengakibatkan kekerasan permukaan lebih rendah setelah di *quenching*.

Terak (*scale*) akibat reaksi oksidasi juga timbul pada permukaan baja ketika dipanaskan tidak dalam kondisi vakum. Terak pada permukaan ini akan menghalangi laju pelepasan panas ketika baja di *quenching*. Laju pendinginan yang sedikit lambat, menyebabkan kekerasan permukaan baja tidak maksimal.

Bagaimanapun Gambar 9 tetap dapat digunakan sebagai acuan dalam menganalisis pengaruh penambahan barium karbonat pada arang bakau untuk media padat pada proses karburising padat terhadap baja karbon rendah. Data-data kekerasan permukaan pada Gambar 9, jika dibuat kurva regresi polinomial kuadratis menghasilkan persamaan $y = -0,3305x^2 + 19,019x + 380,73$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,91$. Persamaan polinomial kuadratis ini mempunyai titik balik maksimum, yang berarti penambahan barium karbonat pada arang bakau akan mencapai suatu kondisi maksimum. Namun kondisi

maksimum tersebut tidak muncul dalam penelitian ini, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui penambahan barium karbonat yang optimal pada arang bakau.

KESIMPULAN

1. Barium karbonat meningkatkan efektivitas arang pohon bakau untuk memperbaiki kualitas proses karburising padat baja karbon rendah meskipun kondisi maksimum tidak tercapai.
2. Penambahan barium karbonat sebanyak 20, 25 dan 30 % wt menghasilkan *case depth* berturut-turut 190 μm , 250 μm dan 325 μm , sedang penambahan barium karbonat 15 % wt tidak terbentuk *case depth*, namun atom karbon yang terdifusi pada baja lebih banyak dibanding pada baja yang dikarburising tanpa barium karbonat.
3. Peningkatan kadar karbon ditandai dengan munculnya struktur martensit pada permukaan baja setelah *quenching*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arbintarso, E. (2003). Penggunaan media arang baterai untuk meningkatkan kualitas karbonisasi pada industri pembuatan pisau, *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi*, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta, 60-67.
- Budinski, G. & Budinski., K. (1999). *Engineering materials-properties and selection* (6th ed.). New Jersey: Prentice Hall International.
- Callister Jr., W.D., 2001, *Fundamentals of materials science and engineering*, New York: John Wiley & Sons.
- Hikmawan, R. (2008). *Meraba Asa di Hutan Rawa*. Diakses 22 Mei 2009 dari: http://timurlombok.blogspot.com/2008/11/meraba-asa-di-hutan-rawa_28.html.
- Krauss, G. (1980). *Principles of heat treatment of steel*. Ohio: ASM International.
- Masyrukan (2006). Penelitian sifat fisis dan mekanis baja karbon rendah akibat pengaruh proses pengarbonan dari arang kayu jati, *Media Mesin*, 7(1), 40-46.
- Melana, D.M., Atchue III, J., Yao, C.E., Edwards, R., Melana, E.E. & Gonzales, H.I. (2000). *Mangrove Management Handbook*. Department of Environment and Natural Resources, Manila, Philippines through the Coastal Resource Management Project, Cebu Citu, Philippines.
- Mujiyono & Soemowidagdo, A.L. (2005). *Pemanfaatan natrium karbonat sebagai energizer pada proses karburising untuk meningkatkan kekerasan baja karbon rendah*. Laporan Penelitian, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Prabudev, K.H. (1995). *Handbook of heat treatment of steels*. New Delhi: Mc Graw Hill.
- Rajan, T.V., Sharma, C.P., & Sharma, A. (1997). *Heat treatment—principles and techniques*. New Delhi: Prentice Hall of India.
- Setiamarga, B.H., Rumendi, U. & Kurniawati, N. (2006). *Pack carburizing pada sprocket sepeda motor dengan material baja karbon rendah*. *Jurnal Teknik Mesin*, 21(1), 28-33.
- Soemowidagdo, A.L. (2006). Kalsium karbonat sebagai energizer pada proses karburising untuk meningkatkan kekerasan baja karbon rendah. *Prosiding Seminar Nasional Gabungan Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Material dan Proses ke-2 – Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-12*, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta, BT39-BT44.
- Soemowidagdo, A.L. & Mujiyono (2007). Pemanfaatan pohon bakau sebagai media karburising untuk meningkatkan sifat mekanis baja karbon rendah. *Media Teknik*, 1(XIX), 46-51.
- Soemowidagdo, A.L. (2009). Sekam padi untuk proses pack karburising baja karbon rendah. *Semesta Teknika*, 12(1), 55-66.
- Sudarsono, Ferdian, D. & Soedarsono, J.W. (2003). Pengaruh media celup dan waktu tahan pada karburasi padat baja AISI SAE 1522. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi*, Institut Sains &

Teknologi AKPRIND, Yogyakarta, 166-170.

Suryanto, H., Malau, V. & Samsudin (2003). Pengaruh penambahan barium karbonat pada media karburasi terhadap karakteristik kekerasan lapisan karburasi baja karbon rendah. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, Universitas Brawijaya, Malang, 44 – 47.

Tiwan & Mujiyono (2005). *Pengaruh penambahan barium karbonat ($BaCO_3$), temperatur dan lama pemanasan terhadap peningkatan kekerasan baja karbon rendah pada proses karburising dengan media serbuk tempurung kelapa*. Laporan Penelitian, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

PENULIS:

Arianto Leman Soemowidagdo[✉]

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Negeri Yogyakarta, Karangmalang,
Yogyakarta.

Mujiyono

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Negeri Yogyakarta, Karangmalang,
Yogyakarta.

[✉]E-mail: arile_man@yahoo.com

Diskusi untuk makalah ini dibuka hingga tanggal 1 Oktober 2010 dan akan diterbitkan dalam jurnal edisi November 2010.