

PEMANFAATAN NATRIUM KARBONAT UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS ARANG BAKAU PADA PROSES KARBURISING PADAT

Mujiyono dan Arianto Leman Soemowidagdo

Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
JL. Colombo No. 1 Yogyakarta 55281
Email: mujiyonouny@yahoo.com

Abstrak

Upaya peningkatan kualitas arang bakau untuk proses karburising padat telah dilakukan dengan penambahan natrium karbonat (Na_2CO_3). Arang bakau digilas menjadi serbuk dan disaring dengan ukuran mesh 30. Serbuk arang ini dicampur Na_2CO_3 dengan variasi 0, 15, 20, 25 dan 30 % berat. Hasil campuran ini digunakan untuk proses karburising padat pada benda uji baja karbon rendah dengan 98,34% Fe dan 0,156% C pada suhu 850°C selama 4 jam. Benda-benda uji hasil karburising ini dipanaskan kembali pada 850°C selama 5 menit, kemudian dicelupkan ke dalam air 28°C . Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 25% berat Na_2CO_3 menghasilkan *case depth* setebal yaitu $520\ \mu\text{m}$ dan kekerasan permukaan maksimum 683 VHN. Perubahan struktur mikro dari ferrit-perlit ke martensit setelah proses pencelupan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan unsur karbon pada permukaan benda uji baja ini hingga kedalaman $520\ \mu\text{m}$.

Kata kunci: arang bakau, karburising padat, natrium karbonat

Abstract

Improvement of bakau's charcoal on pack carburizing using natrium carbonate (Na_2CO_3) has been investigated. Bakau's charcoal was pulverized and then sifted on 30 mesh sieve. Na_2CO_3 was added into bakau's charcoal with composition of 0, 15, 20, 25, and 30% of weight. Mild steel specimens with 98,43% Fe dan 0,156% C were pack carburized at 850°C for 4 hours. After carburized, all of the specimens were reheated at 850°C , hold it for 5 minutes, and then they were quenched into water at 28°C . The results show that adding of 25 % of weight natrium carbonate gives optimum case depth and surface hardness of $520\ \mu\text{m}$ and 683 VHN respectively. Microstructure changes on all specimens surface from ferrite-pearlite to martensite after quenched, indicate that atoms carbon on the surface were increase.

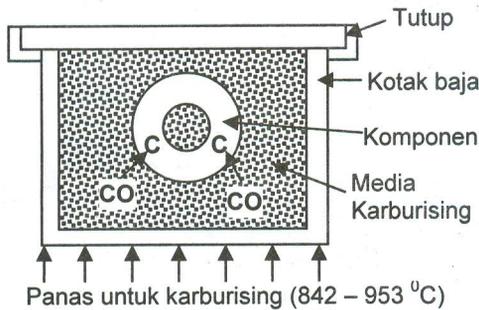
Keywords: bakau's charcoal, pack carburizing, natrium karbonat

PENDAHULUAN

Karburising merupakan proses difusi untuk meningkatkan kadar karbon pada permukaan baja karbon rendah. Berdasarkan medianya, karburising dibedakan menjadi: *pack*, *liquid* dan *gas carburizing*. *Pack-carburizing* disebut juga sebagai karburising padat, karena menggunakan media padat

untuk menambah unsur karbon (Rajan, 1997). Gambar 1 memperlihatkan proses karburising padat. Baja karbon rendah diletakkan di dalam sebuah kotak berisi media padat dan dipanaskan pada temperatur $842\text{--}953^\circ\text{C}$ (Budinski dan Budinski, 1999). Arang merupakan media padat yang umum digunakan pada proses karburising padat.

Arang adalah hasil proses pirolisis primer yang mengaktivasi karbon menjadi media padat yang kaya karbon.



Gambar 1. Proses Karburising Padat (Budinski dan Budinski, 1999)

Saat proses karburising, media padat yang terpanaskan akan mengalami pirolisis sekunder. Karbon yang dihasilkan bereaksi dengan oksigen membentuk gas CO. Selanjutnya, gas CO akan terurai di permukaan baja karbon rendah menjadi gas CO₂ dan C_{atom}. Keaktifan tinggi yang dimiliki C_{atom}, membuatnya mudah terdifusi ke dalam besi gamma membentuk sementit (Fe₃C) di permukaan baja karbon (Prabudev, 1995). Gas CO₂ akan bereaksi kembali dengan C dari media padat membentuk gas CO.



Difusi adalah gerak spontan atom atau molekul di dalam bahan yang cenderung

membentuk komposisi seragam (Budinski dan Budinski, 1999). Gaya pendorong proses ini adalah gradien konsentrasi, yaitu perbandingan jumlah atom/molekul di sekitar komponen terhadap jumlah atom/molekul di dalam komponen. Hal ini berarti bahwa hasil proses difusi sangat bergantung pada kualitas media padatnya. Mekanisme difusi dapat dijelaskan melalui hukum pertama dan kedua Fick. Hukum pertama Fick menyatakan bahwa laju difusi merupakan fungsi koefisien difusi dan gradien konsentrasi, sedang hukum kedua Fick menyatakan difusi atom merupakan fungsi konsentrasi atom dan waktu. Proses karburising padat umumnya membutuhkan waktu antara 6–8 jam dan lapisan keras (*case depth*) yang diperoleh bervariasi dari 1-2 mm (Rajan, 1997).

Hukum pertama Fick

$$J = -D \left(\frac{dC}{dx} \right) \quad (5)$$

Hukum kedua Fick

$$\frac{C_x - C_o}{C_s - C_o} = 1 - \operatorname{erf} \left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right] \quad (6)$$

dengan:

J = fluks atau aliran atom (jumlah atom/satuan waktu/satuan luas)

D = koefisien difusi (satuan luas/satuan waktu)

dC/dx = gradien konsentrasi (C =jumlah atom/volume)

C_s = konsentrasi atom dipermukaan

C_o = konsentrasi awal pada baja

- C_x = konsentrasi pada jarak x dari permukaan setelah t
 t = lamanya proses difusi
 x = jarak dari permukaan
 erf = *error function* (integral dari kurva Gaussian)

Bahan pengaktif dipakai untuk mempercepat difusi atom karbon ke permukaan baja karbon rendah melalui pembentukan gas CO. Beberapa penelitian tentang karburising padat yang memanfaatkan bahan pengaktif antara lain: Suryanto (2003) dan Tiwan (2005) menambahkan barium karbonat ($BaCO_3$); Sudarsono (2003) dan Mujiyono (2005) menambahkan natrium karbonat (Na_2CO_3) serta Soemowidagdo (2006) yang memanfaatkan kalsium karbonat ($CaCO_3$). Natrium karbonat pada suhu tinggi akan terurai (persamaan 7) (Rajan, 1997). Gas CO_2 yang dihasilkan akan bereaksi dengan karbon dari media padat membentuk gas CO, kemudian terurai dipermukaan baja karbon rendah dan membentuk sementit.



Kedalaman difusi atom karbon ke dalam baja karbon rendah akibat proses karburising (*case depth*) dapat ditentukan dengan metode pengukuran kekerasan mikro. Kekerasan paling tinggi pada permukaan, menunjukkan atom karbon paling banyak terdifusi dan makin berkurang pada bagian

dalam (Budinski dan Budinski, 1999). Metode pengukuran kekerasan *case depth* hanya dapat dilakukan jika komponen dikeraskan setelah proses difusi melalui proses celup dingin (*quenching*) sehingga terbentuk martensit. Kekerasan ini menggambarkan jumlah atom karbon yang terdifusi selama proses karburising, karena kekerasan martensit merupakan fungsi kadar karbon. Semakin naik kadar karbon maka kekerasan martensit yang terbentuk juga semakin naik. Namun, kenaikan kekerasan martensit ini merupakan kurva logaritmis dan pada kadar karbon di atas 0,8% kenaikannya tidak signifikan (Callister, 2001).

Rhizophora mucronata adalah jenis pohon bakau yang banyak tumbuh di pesisir pantai Ayah, Cilacap, Jawa Tengah. Hutan bakau menyediakan berbagai jenis sumber daya sebagai bahan baku industri dan berbagai komoditas perdagangan yang bernilai ekonomis tinggi (Melana, 2000 dan Hikmawan, 2008). Secara garis besar, manfaat ekonomis hutan bakau berupa hasil kayu: kayu konstruksi, tiang/pancang, kayu bakar, arang, serpihan kayu (*chips*) untuk bubur kayu, hasil bukan kayu berupa hasil hutan ikutan: tannin, madu, alkohol, makanan, obat-obatan dan jasa lingkungan (ekowisata).

Soemowidagdo (2007) yang memanfaatkan arang bakau untuk proses karburising

padat pada baja karbon rendah menemukan bahwa batang pohon bakau bagian atas, tengah maupun bawah tidak berpengaruh terhadap hasil. Arang bakau meningkatkan kekerasan permukaan baja karbon rendah sebesar 160%, dari 152 VHN menjadi 389 VHN pada proses karburising 2 jam. Proses karburising 6 jam menghasilkan *case depth* 260 μm dan kekerasan permukaan 555 VHN.

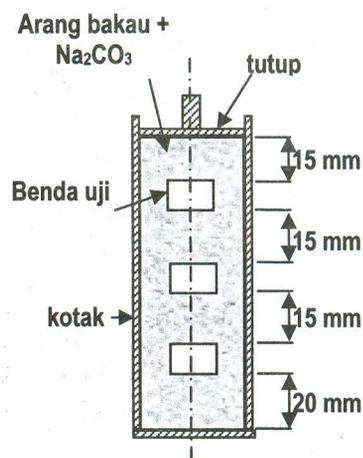
Soemowidagdo (2009) juga menelaah pemakaian BaCO_3 untuk meningkatkan efektivitas pohon bakau pada proses karburising padat terhadap baja karbon rendah. Meskipun proses hanya dilakukan selama 2 jam, BaCO_3 efektif memperbaiki kualitas arang pohon bakau sebagai media padat pada proses karburising padat. Penambahan 20, 25 dan 30% berat BaCO_3 berturut-turut memberikan *case depth* 190 μm , 250 μm dan 325 μm .

Penelitian ini merupakan kelanjutan kedua penelitian di atas untuk meningkatkan efektivitas arang pohon bakau pada proses karburising padat baja karbon rendah. Variasi penambahan Na_2CO_3 pada arang bakau akan ditelaah pengaruhnya. Peningkatan kekerasan permukaan, *case depth*, dan perubahan struktur mikro menjadi indikator peningkatan efektivitas. Peningkatan kemanfaatan pohon bakau diharapkan akan memacu pengelolaan pohon bakau sebagai salah satu sumber daya alam yang menjanjikan.

METODE PENELITIAN

Sampel pohon bakau jenis *rhizophora mucronata* dari pesisir pantai Ayah, Cilacap, Jawa Tengah diambil dari bagian atas bonggol akar hingga di bawah ranting dahan, dibuat menjadi arang di Fakultas Kehutanan UGM, dihancurkan dan diayak lolos saringan mesh 30. Benda uji berukuran $\varnothing 20$ mm dan tebal 10 mm mempunyai komposisi kimia seperti tampak pada Tabel 1.

Na_2CO_3 ditambahkan dengan variasi 0, 15, 20, 25 dan 30% berat. Replikasi benda uji 3 buah untuk setiap variabel. Benda uji diletakkan dalam kotak dari pipa baja berdiameter 50,8 mm dan tebal 2 mm dengan posisi seperti tampak pada Gambar 2.



Gambar 2.
Posisi Benda Uji di dalam Kotak

Permukaan yang akan diuji dan diamati menghadap ke bawah. Bagian bawah dan atas pipa ditutup plat setebal 2 mm.

Tabel 1. 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

Seluruh kotak yang berisi benda uji, dipanaskan dalam dapur pemanas dari suhu kamar ke suhu 850⁰C selama 45 menit dan ditahan selama 4 jam pada suhu 850⁰C. Selanjutnya kotak-kotak dikeluarkan dari dapur, didinginkan di udara terbuka dan benda-benda uji dikeluarkan dari kotak. Pengerasan dilakukan dengan memanaskan kembali seluruh benda uji pada suhu 850⁰C, ditahan selama 5 menit, kemudian dicelup ke dalam air bersuhu 28⁰C secara bersamaan.

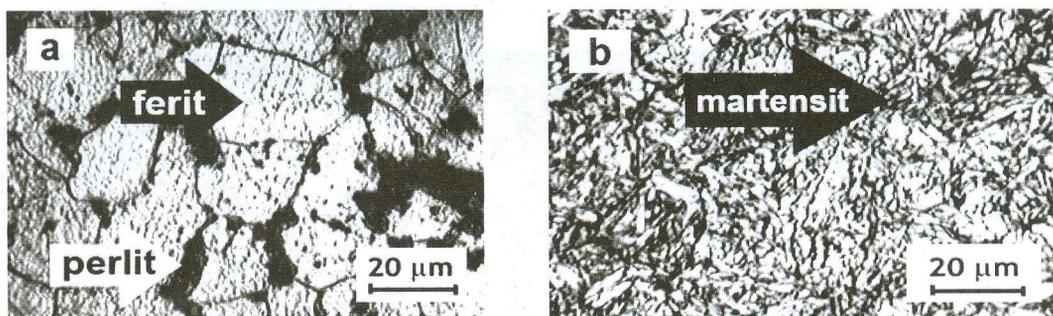
Perubahan struktur mikro yang terjadi diamati menggunakan mikroskop optik Olympus. Perubahan kekerasan permukaan dan *case depth* diukur menggunakan *Micro*

vickers hardness Shimadzu HMV-2 dengan beban penekan 1 kg.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Mikro

Struktur ferit dan perlit yang mendominasi permukaan benda awal baja karbon rendah (Gambar 3a), berubah menjadi struktur martensit pada semua permukaan benda uji setelah proses karburising padat dan *quenching*. Struktur martensit yang muncul dipermukaan benda uji, seperti tampak pada Gambar 3b, membuktikan terjadinya peningkatan kadar karbon pada baja karbon rendah setelah dikarburising.



Gambar 3.

Struktur Mikro Permukaan Benda Uji: (a) Benda Awal; (b) setelah Karburising dengan 25% berat Na₂CO₃ diikuti Proses Pengerasan

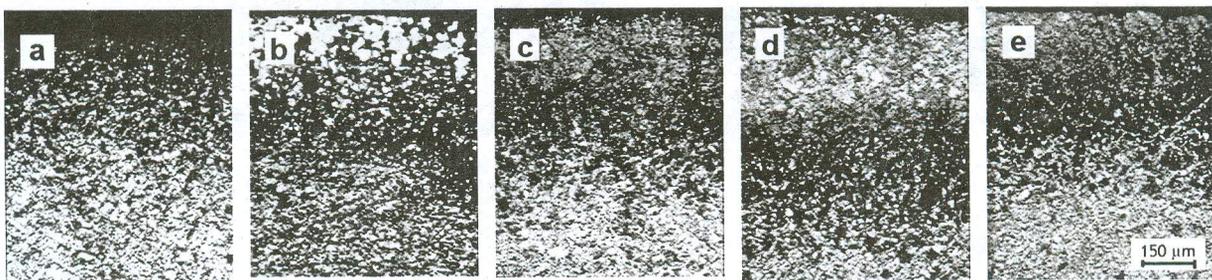
Pada diagram fasa Fe-Fe₃C yang dihubungkan dengan diagram TTT (*Time-Temperature Transformation*) dapat diketahui bahwa jika kadar karbon dalam baja semakin rendah, kurva mulai terjadinya transformasi dari austenit menjadi ferit-perlit akan bergeser ke kiri dan garis mulai terbentuknya fasa martensit (garis M_S) akan bergeser ke atas (Krauss, 1980). Hal ini menyebabkan baja karbon rendah (< 0,25% C) sulit dikeraskan melalui proses *quenching* untuk memperoleh martensit.

Kondisi ini dikarenakan kurva laju pendinginan tidak akan memotong garis M_S tetapi akan memotong kurva transformasi austenit ke ferit-perlit sehingga pasti terbentuk struktur ferit-perlit meskipun dengan ukuran butir yang lebih kecil. Sebaliknya, baja karbon medium dan tinggi lebih mudah membentuk martensit saat *quenching*, karena kurva transformasi austenit ke ferit-perlit bergeser kanan dan garis M_S bergeser ke bawah,

sehingga ketika didinginkan secara cepat kurva laju pendinginan akan lebih mudah memotong garis M_S dan tidak memotong kurva transformasi austenit ke ferit-perlit.

Bagaimanapun, struktur martensit yang tampak pada Gambar 3b merupakan indikasi bahwa karbon pada permukaan benda uji di atas 0,25%, sehingga saat di-*quenching* kurva pendinginan memotong garis M_S. Saat temperatur di atas A₃, ferit (besi- α) dengan sel satuan *body-centered cubic* (BCC) berubah menjadi austenit (besi- γ) dengan sel satuan *face-centered cubic* (FCC). Pendinginan secara cepat terhadap baja dengan karbon di atas 0,25% dari suhu di atas A₃ menyebabkan atom karbon tidak sempat terdifusi keluar dari besi- γ dan membentuk martensit dengan sel satuan *body-centered tetragonal* (BCT).

Pengamatan struktur mikro pada Gambar 4 yang memperlihatkan struktur martensit pada sisi tepi benda uji setelah di-



Gambar 4.
Difusi Karbon pada Penambahan Na₂CO₃:
(a) 0%, (b) 15%, (c) 20%, (d) 25%, dan (e) 30% Berat

quenching dalam air membuktikan bahwa atom-atom karbon telah terdifusi ke dalam baja karbon rendah. Difusi atom karbon semakin tebal dengan bertambahnya jumlah Na_2CO_3 yang dicampurkan ke arang bakau dan mencapai maksimum pada 25% Na_2CO_3 (Gambar 4d). Penambahan Na_2CO_3 meningkatkan gradien konsentrasi atom karbon di sekeliling baja karbon rendah. Lebih jauh, gradien konsentrasi pada penambahan 25% Na_2CO_3 meningkat sangat signifikan, sehingga laju difusi atom karbon menjadi lebih cepat dan menghasilkan lapisan dengan struktur martensit yang cukup tebal. Bagaimanapun juga, laju difusi akan semakin turun seiring dengan bertambahnya kadar karbon di permukaan baja karbon rendah yang menyebabkan turunnya gradien konsentrasi sehingga dicapai satu kondisi setimbang.

Pada penambahan 30% Na_2CO_3 (Gambar 4e), atom-atom karbon yang dihasilkan dengan mengikuti persamaan-persamaan 7, 4, 3 dan 2, meningkatkan gradien konsentrasi secara drastis dan menyebabkan laju difusi atom karbon menjadi sangat cepat, sehingga dalam waktu yang singkat jumlah atom karbon di permukaan baja karbon rendah menjadi lebih banyak

dari pada jumlah atom karbon di sekeliling baja karbon rendah. Hal ini mengakibatkan berbaliknya arah perpindahan atom karbon sehingga bergerak keluar dari permukaan benda uji menuju ke sekitarnya yang disebut dengan peristiwa dekarburisasi.

Gambar 4e menunjukkan bahwa difusi atom karbon lebih dangkal daripada Gambar 4d. Hal ini berarti bahwa pada penambahan 30% berat Na_2CO_3 , konsentrasi atom karbon dipermukaan baja lebih rendah dibanding pada penambahan 25% berat Na_2CO_3 . Penambahan 30% berat Na_2CO_3 memicu pembentukan gas CO dan CO_2 yang sangat banyak. Kondisi ini menyebabkan tutup kotak agak sedikit terbuka terdorong oleh tekanan gas yang sangat besar di dalam kotak karburising, sehingga gas CO dan CO_2 keluar dari kotak. Akibatnya, media padat di dalam kotak mengalami proses pembakaran sempurna dan menjadi abu. Hal ini memberikan andil cukup signifikan terhadap turunnya gradien konsentrasi atom karbon di permukaan benda uji.

Atom karbon yang terdifusi ke baja karbon rendah semakin dalam akan semakin berkurang sehingga semakin ke dalam struktur martensit juga semakin sulit terbentuk. Zona transisi yang ditandai

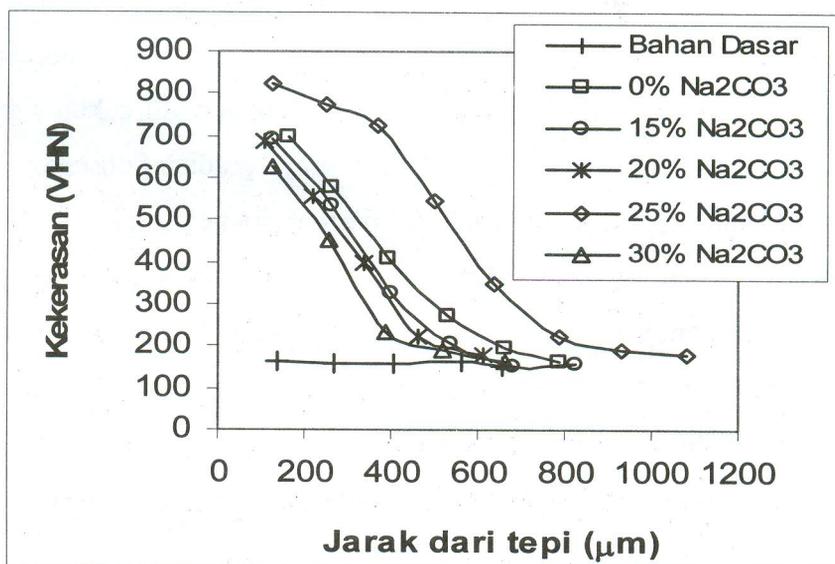
dengan mulai berkurangnya jumlah ferit-perlit merupakan batas difusi atom karbon di dalam baja karbon rendah.

Case Depth

Kurva *case depth* hasil porses karburising padat dan *quenching* yang diperoleh dengan metode pengukuran kekerasan ditunjukkan pada Gambar 5. Tebal lapisan *case depth* ditentukan dari kekerasan 50 HRC atau 513 VHN (Budinski dan Budinski, 1999: 306). Tampak bahwa penambahan Na_2CO_3 25% berat memberikan *case depth* maksimum sedalam 520 μm dan hal ini sesuai dengan Gambar 4d.

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 (Callister, 2001). Implikasi dari hal ini adalah struktur martensit yang muncul setelah *quenching* tidak dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan jumlah atom karbon yang terdifusi. Meskipun demikian, jumlah atom karbon yang terdifusi dapat diperkirakan melalui pengujian kekerasan *case depth*, karena kekerasan martensit merupakan fungsi jumlah atom karbon yang terdifusi. Semakin tinggi jumlah atom karbon, maka akan semakin efektif menghalangi pergerakan dislokasi dan semakin sedikit sistem slip pada sel satuan BCT pada struktur martensit.



Gambar 5. Case Depth Pengaruh Penambahan Na_2CO_3 pada Arang Bakau

Hasil pengujian kekerasan pada Gambar 5, memperlihatkan bahwa penambahan 25% berat Na_2CO_3 memberikan *case depth* paling tebal. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan 25% berat Na_2CO_3 signifikan meningkatkan efektivitas arang bakau pada proses karburising padat, yaitu dengan meningkatnya laju difusi atom karbon.

Hasil pengujian kekerasan pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa penambahan 25% berat Na_2CO_3 memberikan *case depth* paling tebal. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan 25% berat Na_2CO_3 signifikan meningkatkan efektivitas arang bakau pada proses karburising padat yaitu dengan meningkatnya laju difusi atom karbon. Peningkatan jumlah gas CO akibat penambahan 25% berat Na_2CO_3 akan meningkatkan gradien konsentrasi atom karbon disekitar benda uji sehingga laju difusipun meningkat sesuai persamaan 1.

Secara umum penambahan 0, 15 dan 20% berat Na_2CO_3 tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Hal ini berarti bahwa pada kondisi tersebut Na_2CO_3 tidak banyak memicu pembentukan gas CO, sehingga gradien konsentrasi karbon antara media padat dan benda uji tidak meningkat signifikan. Sebaliknya pada penambahan 30% berat Na_2CO_3 , *case depth* yang lebih dangkal tampaknya justru disebabkan oleh

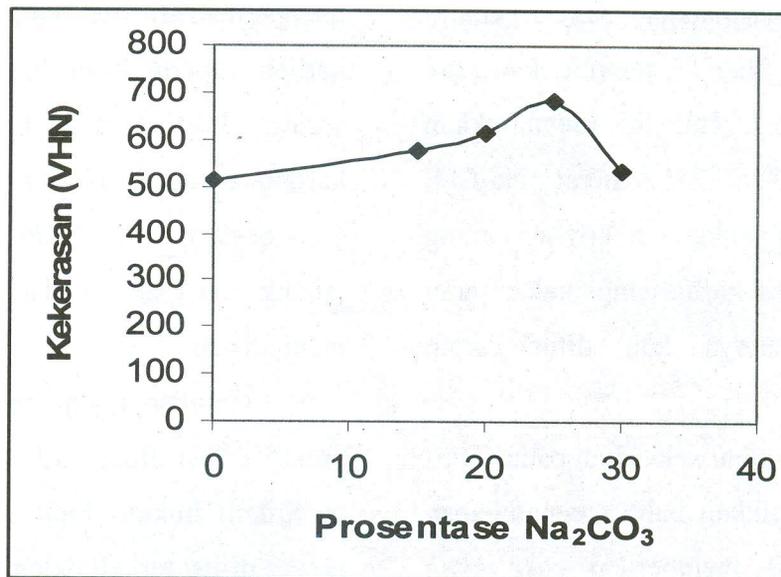
tekanan pembentukan gas CO berlebihan dan mengakibatkan dua hal, yakni: (1) kadar karbon dipermukaan benda uji meningkat secara drastis yang menyebabkan atom karbon bergerak ke luar; (2) tekanan gas yang besar menyebabkan gas CO keluar dari tabung dan media padat terbakar sempurna menjadi abu.

Gambar 5 juga menunjukkan bahwa proses difusi atom karbon dalam benda uji mengikuti hukum Fick kedua yang berarti proses difusi terjadi dalam kondisi tak tunak. Jika diamati kembali Gambar 4, tampak jelas bahwa setelah kekerasan turun di bawah 513 VHN, zona transisi mulai muncul, yang ditandai dengan munculnya struktur ferit-perlit di antara struktur martensit.

Kekerasan Permukaan

Pengujian kekerasan pada permukaan dilakukan sebanyak 3 kali untuk tiap benda uji. Hasil pengujian kemudian diambil reratanya dan dibuat kurva pengaruh Na_2CO_3 terhadap kekerasan permukaan seperti tampak pada Gambar 6.

Kekerasan permukaan yang ditunjukkan pada Gambar 6 bila diamati lebih lanjut ternyata lebih rendah dibanding dengan kekerasan *case depth* (Gambar 5). Hal ini disebabkan oleh metode pengerasan yang digunakan untuk memperoleh struktur martensit, yaitu dengan memanaskan kembali



Gambar 6. Pengaruh Penambahan Na₂CO₃ terhadap Kekerasan Permukaan

benda uji setelah proses karburising padat. Metode ini memiliki kekurangan, yaitu: kekerasan permukaan baja akan sedikit turun (Budinski dan Budinski, 1999), karena sebagian atom karbon berdifusi lebih ke dalam dan sebagian atom di permukaan terluar terlepas.

Pada penelitian ini digunakan dapur pemanas tidak kedap udara (vakum). Hal ini menyebabkan permukaan baja rentan, terhadap reaksi dengan gas-gas seperti: oksigen, uap air, dan karbon dioksida (Rajan, 1997). Ketika dipanaskan, gas-gas tersebut menyebabkan atom-atom karbon di permukaan benda uji akan terlepas akibat oksidasi dan dekarburisasi. Sebagian atom karbon akan terlepas dari permukaan benda uji

akibat oksidasi dan membentuk terak (*scale*), sedang sebagian lagi akan mengalami dekarburisasi dan membentuk gas.

Pemakaian air sebagai media pendingin cepat akan memberikan hasil uji kekerasan permukaan yang menyebar, meskipun pengujian dilakukan untuk satu variasi yang sama. Hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang tidak sama pada setiap benda uji, walaupun pendinginan secara cepat dilakukan secara bersamaan terhadap seluruh benda uji. Air yang berubah menjadi uap air ketika bersentuhan dengan benda uji yang panas (850 °C), dan membentuk lapisan film tipis di sekeliling benda uji sehingga menghalangi laju pelepasan panas dari benda uji.

Namun demikian, Gambar 6 menunjukkan kekerasan maksimum dicapai pada penambahan Na_2CO_3 25%. Kondisi ini sesuai dengan hasil pengamatan struktur mikro (Gambar 4) maupun pengukuran *case depth* (Gambar 5).

KESIMPULAN

Perbaikan kualitas arang pohon bakau pada proses karburising padat dicapai dengan penambahan 25% berat Na_2CO_3 . *Case depth* dan kekerasan permukaan optimum yang dicapai pada penambahan 25% berat Na_2CO_3 berturut-turut adalah 520 μm dan 683 VHN. Struktur martensit yang muncul pada permukaan dan sisi tepi benda uji mengindikasikan kenaikan kadar karbon pada baja karbon rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Budinski, G., dan Budinski, K. (1999). *Engineering materials-properties and selection*, 6th edition. New Jersey: Prentice Hall International, Inc
- Callister Jr., W.D. (2001). *Fundamentals of materials science and engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Hikmawan, R. (2008). *Meraba asa di hutan rawa*. <http://timurlombok.blogspot.com/2008/11/meraba-asa-di-hutan-rawa-28.html>. Diakses tanggal 22 Mei 2009.
- Krauss, G. (1980). *Principles of heat treatment of steel*. Ohio, USA: ASM.
- Melana, D.M., J. Atchue III, C.E. Yao, R. Edwards, E.E. Melana, and H.I. Gonzales. (2000). *Mangrove management handbook*. Departemen of Environment and Natural Resources, Manila, Philippines through the Coastal Resource Management Project, Cebu City, Philippines.
- Mujiyono dan Soemowidagdo, A.L. (2005). Pemanfaatan natrium karbonat sebagai energizer pada proses karburising untuk meningkatkan kekerasan baja karbon rendah. *Laporan Penelitian*. Yogyakarta: FT-UNY.
- 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*. (revised ed). New Delhi: Prentice Hall of India India.
- 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"*, PSIT FT-UGM, 27 Juni 2006, hal BT39-BT44.
- _____. (2007). Pemanfaatan pohon bakau sebagai media karburising untuk meningkatkan sifat mekanis baja karbon rendah. *Media Teknik*, FT UGM, Nomor 1, Th. XXIX, hal: 46-51.
- _____, dan Mujiyono (2009) Meningkatkan efektivitas arang bakau pada proses karburising padat baja karbon rendah menggunakan barium karbonat. *Semesta Teknika*. FT UMY, Vol. 12, No. 2, hal: 124-132.
- Sudarsono., Ferdian, D., dan Soedarsono, J.W. (2003). Pengaruh media celup dan

waktu tahan pada karburasi padat baja AISI SAE 1522. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi*, 18 Oktober 2003, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, hal 166-170.

Suryanto, H., Malau, V., dan Samsudin. (2003) Pengaruh penambahan barium karbonat pada media karburasi terhadap karakteristik kekerasan lapisan karburasi baja karbon rendah. *Proceeding Seminar*

Nasional Teknik Mesin, 11 Oktober 2003, Universitas Brawijaya, Malang, hal: 44-47.

Tiwan dan 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*. FT-UNY, Yogyakarta.