

## KEEFEKTIFAN PENGGUNAAN ARANG TULANG BINATANG SEBAGAI MEDIA DONOR ATOM KARBON PADA PROSES KARBURASI TERHADAP BAJA KARBON RENDAH

Oleh:

Wahono

Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

Email: wahono@um.ac.id

**Abstrak:** Arang tulang memiliki kandungan mineral 99% dari total kalsium (Ca) atau 38,71% dan 90% total fosfor (P) tubuh makhluk hidup atau 19,98%. Jika dibakar, tulang dapat menghasilkan dua sumber karbon bebas, yakni C dari arang dan  $\text{CaCO}_3$  yang diprediksi efektif untuk media donor atom C pada proses karburasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui keefektifan penggunaan arang tulang binatang sebagai media donor pada proses karburasi terhadap baja karbon rendah. Hasil penelitian ini menunjukkan, bahwa penggunaan arang tulang binatang sebagai media donor dalam proses karburasi dapat menambah, kadar unsur C sebesar 0,80% dengan ketebalan lapisan karburasi 1,852 milimeter (mm). Bagi pratisi bidang manufaktur disarankan dapat mensubstitusi bahan komponen berbahan baja standar dengan melakukan karburasi baja karbon rendah menggunakan media donor arang tulang binatang, sehingga dapat menekan biaya produksi, terutama biaya material.

**Kata Kunci:** arang tulang, karburasi, baja karbon rendah

Kadar unsur karbon (C) sering dijadikan rujukan umum dalam memilih penggunaan baja untuk keperluan perancangan bidang manufaktur. Kadar unsur C juga lazim dijadikan salah satu penentu tingkat harga baja. Semakin tinggi kadar C dalam, baja semakin tinggi harga baja tersebut. Unsur-unsur paduan lain menjadi pertimbangan berikutnya, jika komponen produk manufaktur menyaratkan sifat-sifat spesifik.

Bagi industri manufaktur, yang mengedepankan produk-produk standar, spesifikasi material merupakan bagian dari kebijakan. Namun bagi industri manufaktur skala kecil dan tidak mengerjakan produk standar, pengadaan material standar sering menjadi kendala. Dengan kondisi tersebut, industri kecil memerlukan solusi untuk memperoleh material yang mampu berperan sebagai substitusi material baku dengan

kualitas 'setara' material standar. Material substitusi tersebut harus tetap mengacu pada persyaratan-persyaratan teknik dan fungsional dari produk manufaktur yang diproduksi. Penyetaraan persyaratan dimaksud adalah dengan memperbaiki sifat-sifat material yang diperlukan.

Bagi industri manufaktur skala kecil, jenis baja yang mudah didapat dan murah sering menjadi pilihan. Baja tersebut sering didapatkan dari pasar loak atau jenis baja *eyser* yang banyak beredar di pasaran. Salah satu acuan bagi industri kecil dalam memilih baja adalah mudah dikerjakan atau memiliki sifat teknologis yang baik. Baja dengan sifat demikian dimiliki oleh baja karbon rendah. Baja jenis ini memiliki kadar C antara 0,02 hingga 0,25% berat, sehingga sifat untuk dimesin (*machinability*), dibentuk (*forming-ability*), dan dilas (*weldingability*) sangat

baik, namun kekuatannya (kekuatan tarik, kekerasan, batas leleh, ketahanan gesek) kurang baik. Keuatan baja tersebut dapat diperbaiki dengan menambahkan unsur karbon dilapisan kulitnya, yakni dengan menerapi perlakuan panas karburasi (*carburising*).

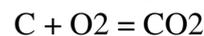
Karburasi adalah metode perlakuan panas untuk memperkaya unsur C di permukaan baja dengan mekanisme difusi atom C ke dalam baja (Zakarov, 1997). Difusi merupakan peristiwa migrasi atom ke material padat dengan aktivasi termal (Vlack, 2007). Karburasi memerlukan dua media, yakni media *donor* sebagai *pen-supply* unsur C dan *acceptor* sebagai penerima unsur C. Benda kerja bertindak sebagai *acceptor*, sedangkan material yang kaya unsur C berfungsi sebagai *donor*.

Ada tiga jenis media donor yang lazim digunakan yakni padat, cair, atau gas. Media donor padat paling populer digunakan oleh praktisi perlakuan panas, karena mudah dilakukan. Arang kayu, tempurung kelapa, dan grafit merupakan jenis media donor padat yang paling populer, karena mudah didapat. Penelitian ini akan mengkaji keefektifan arang tulang binatang sebagai media *donor* untuk proses karburasi dengan media *acceptor* baja karbon rendah.

Menurut Salter (1982) dan Miller (1992), tulang menampung 99% total kalsium (Ca) dan 90% total fosfor (P) tubuh makhluk hidup. Dalam kondisi metabolik Ca dan P membentuk *hydroxyapatite*  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , sedangkan pada kondisi tidak metabolik (mati) unsur utama dalam tulang adalah  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Persentase unsur dalam tulang adalah 38,71% Ca, 19,98%P, dan 41,31% O (Smith, 2004). Pembakaran tulang

menghasilkan  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , dan  $\text{CO}_2$  dalam bentuk gas.

Hasil pembakaran tersebut mengindikasikan, bahwa arang tulang binatang merupakan energiser yang kaya akan unsur C dan fungsinya sama seperti bahan barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) yang oleh masyarakat pandai besi disebut *racun sepuh*. Pada pemanasan temperatur tinggi (sekitar  $900^\circ\text{C}$ ), dekomposisi arang tulang tersebut diperkirakan menjadi:

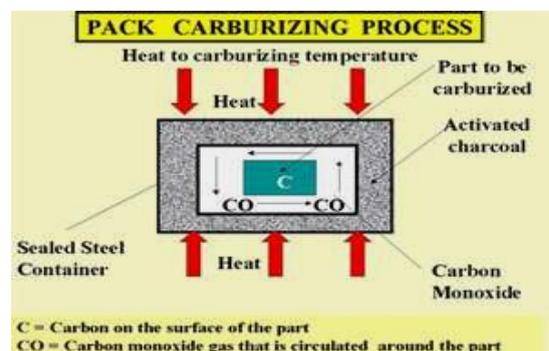


yang akan berdifusi ke media *acceptor*.



yang akan berdifusi ke media *acceptor*.

Mekanisme proses karburasi dimaksud divisualisasikan dalam gambar 1.



Gambar 1 Mekanisme Proses Karburasi

Media donor tulang binatang ini akan diuji keefektifannya dalam penelitian ini. Keefektifan pemanfaatan media donor tulang binatang tersebut akan dikaji dan diukur berdasarkan indikator penambahan unsur C di permukaan benda uji dan kedalaman lapisan karburasi pada baja sebagai efek dari difusi atom C ke dalam baja karbon rendah. Sebagai

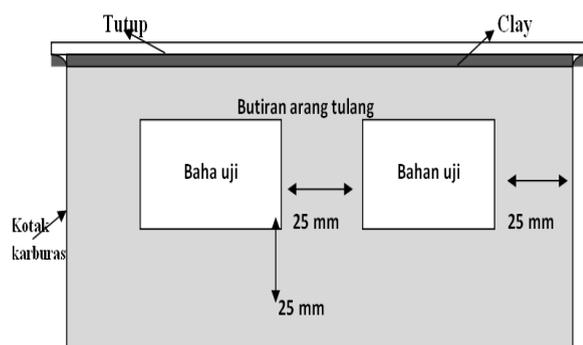
pembandingnya dipilih pemanfaatan media donor tempurung kelapa.

## METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah eksperimental laboratoris dengan rancangan deskriptif. Eksperimen dilakukan di laboratorium Balai Latian Kerja (BLK) Singosari Malang. Objek penelitian ini adalah plat *eyser* dengan ukuran tebal 10mm dan lebar 20mm. Berdasarkan hasil pemeriksaan dengan *emission spectrometer* baja ini mengandung C=0,15%, Mn=0,80%, P=0,24%, S=0,33%, Si=0,19%, Cr=0,094%, Ni=0,12%, Cu=0,33%, dan Sn=0,23% berat atom.

Data kadar karbon di permukaan setelah dan sebelum dikarburasi diperiksa menggunakan *emission spectrometer*. Data ketebalan lapisan karburasi dikumpulkan menggunakan teknik observasi dengan alat ukur mikroskop bermerek Mitutoyo dengan pembesaran 40x dibantu dengan *stand micro* IMD merek Peak dengan pembesaran 25x.

Prosedur eksperimen mengikuti langkah, yakni pemotongan bahan uji, pembersihan mekanik, penyusunan bahan uji dalam kotak karburasi (*carburing pack*) dengan susunan seperti gambar 2 berikut:



**Gambar 2** Muatan dalam kotak karburasi (*Carburing pack*)

Selanjutnya, objek tersebut di karburasi dengan arang tulang bintang dan arang tempurung kelapa sebagai media donor. Objek dipanaskan pada 1000<sup>0</sup> C selama dua jam di dalam tungku pemanas listrik.

Analisis data menggunakan teknik deskriptif, yaitu dengan memaparkan rerata hasil pemeriksaan tambahan unsur C dipermukaan objek dan pengukuran kedalaman lapisan karburasi. Justifikasi tingkat keefektifan dilakukan dengan membandingkan kedalaman lapisan karburasi yang menggunakan media donor arang tulang dengan arang tempurung kelapa.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis data diperoleh rata-rata kadar karbon di permukaan benda uji, dan ketebalan lapisan karburasi yang dihitung secara matematis berdasarkan data empirik disajikan dalam tabel 1 berikut ini.

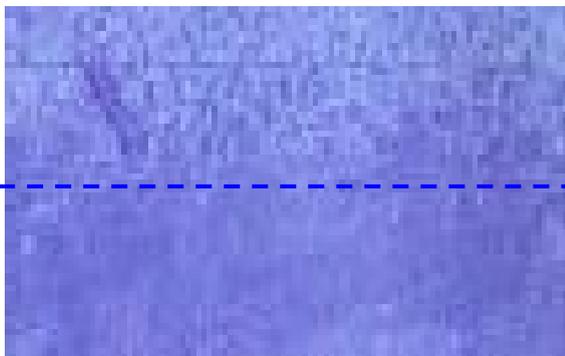
**Tabel 1** Persentase Unsur Karbon di Permukaan Media Donor sebelum dan setelah Dikarburasi dan Kedalaman Lapisan Karburasi

	Sebelum dikarburasi	Setelah dikarburasi dengan arang tempurung kelapa	Setelah dikarburasi dengan arang tempurung kelapa
Persentase unsur C (% berat atom)	0,15	0,79	0,95
Kedalaman lapisan karburasi (mm)	-	1,194	1,832

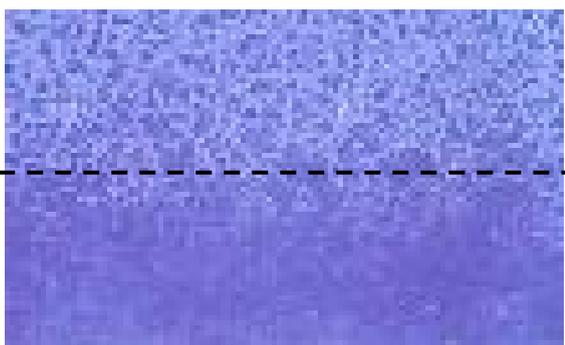
Berdasarkan tabel 1 tersebut dapat ditarik kesimpulan, bahwa baja karbon

rendah yang dikaburasi dengan media donor arang tulang binatang pada temperatur  $950^{\circ}$  C selama 2 jam diperoleh penambahan kadar unsur karbon dari 0,15% menjadi 0,95% berat atom atau meningkat 0,80% dari sebelum dikaburasi. Ketebalan lapisan karburasi yang dihasilkan adalah 1,832mm, diukur dari permukaan terluar ke arah inti. Sebagai pembandingan, baja karbon rendah yang dikaburasi dengan media donor arang tempurung kelapa pada temperatur dan waktu yang sama, diperoleh penambahan kadar unsur karbon dari 0,15% menjadi 0,79% berat atom atau bertambah 0,64% dari sebelum dikaburasi. Ketebalan lapisan karburasi yang dihasilkan mencapai 1,194mm, diukur dari permukaan terluar ke arah inti.

Visualisasi ketebalan lapisan karburasi ditunjukkan pada gambar 3 dan 4.



**Gambar 3** Foto makro lapisan karburasi dengan media donor arang tempurung kelapa dengan pembesaran 50x

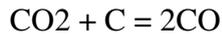
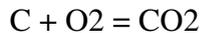


**Gambar 4** Foto makro lapisan karburasi dengan media donor arang tulang dengan pembesaran 50x

Temuan penelitian ini menunjukkan, bahwa ada penambahan atom C di permukaan benda uji setelah diterapi karburasi. Baja karbon rendah yang diterapi karburasi dengan arang tulang binatang pada temperatur  $950^{\circ}$  C selama 2 jam, menambah persentase atom C dari 0,15% menjadi 0,95% berat atom C atau meningkat 0,80%. Baja karbon rendah yang diterapi karburasi dengan arang tempurung kelapa pada temperatur  $950^{\circ}$  C selama 2 jam, menambah persentase atom C dari 0,15% menjadi 0,79% berat atom C atau meningkat 0,64%. Sejalan dengan hasil penelitian Wahono dan kawan-kawan (1998), bahwa baja karbon rendah (0,041% C) yang dikaburasi dengan arang tempurung kelapa pada temperatur  $1100^{\circ}$ C selama 1 jam mampu menambah 0,338% berat atom C atau meningkat 1,89 kali. Penelitian yang sama juga melaporkan, bahwa baja karbon rendah tersebut setelah dikaburasi dengan arang kayu jati pada temperatur dan lama penahanan sama, dapat menambah unsur karbon di permukaan baja menjadi 0,352% berat atom C. Zakarov (1997) mencatat bahwa prestasi karburasi terhadap baja karbon umumnya hanya mencapai maksimal 0,80% sampai dengan 0,90% berat atom C. Pencapaian kadar karbon hingga 1% jarang ditemukan. Dari beberapa hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan, bahwa ditinjau dari media donor, atom C dari arang tulang binatang memiliki keefektifan paling tinggi.

Perbedaan penambahan unsur C ke permukaan baja sampel tersebut diakibatkan oleh perbedaan kadar atom C dalam media donor tersebut. Perbedaan kadar atom C dalam media donor, pada temperatur austenit akan menghasilkan atom bebas

berbeda. Perbedaan tersebut mengikuti oksidasi dan dekarburasi sebagai berikut:



Kuantitas atom C akan dilingkungan baja sampel akan mengakibatkan besaran *flux* atom C ke dalam baja sampel (Vlack, 2002).

Hasil analisis data juga menunjukkan, bahwa baja yang diperlakukan proses karburasi dengan media donor arang tempurung kelapa pada temperatur 950<sup>0</sup> C selama 2 jam, menghasilkan kedalaman karburasi 1,194mm dengan simpangan 0,063 mm. Baja karbon rendah jenis sama, yang dikarburasi dengan arang tulang binatang pada temperatur 950<sup>0</sup> C selama 2 jam, menghasilkan lapisan karburasi dengan ketebalan 1,832mm dengan sandar deviasi 0,018 mm (Zakarov, 1997). Hasil penelitian ini menunjukkan, bahwa karburasi dengan media donor donor arang tulang binatang lebih efektif dibanding menggunakan arang tempurung kelapa.

Perbedaan kedalaman lapisan karburasi antara baja yang diakrburasi dengan arang tulang binatang dibanding arang tempurung kelapa tersebut disebabkan oleh perbedaan kuantitas atom C dalam kedua media donor tersebut pada temperatur austenit. Perbedaan tersebut akan mengakibatkan perbedaan defusitas. Menurut Fick dalam Vlack (1991), dapat dihitung dengan rumus:

$$D = D_0 \cdot C^{-E/K.T}$$

Dimana

D : difusitas (m<sup>2</sup>/det,)

D<sub>0</sub> : konstanta difusitas (m<sup>2</sup>/det.)

C : atom karbon

E : energi atom (J/atom)

K : konstana Boltzam (13,8 x 10<sup>-24</sup> J/atom<sup>0</sup>K)

T : temperatur

Difusitas tersebut akan menyebabkan terjadinya aliran atom yang melalui luasan permukaan tertentu dengan gradien konsentrasi tertentu. Aliran atom ini juga dikenal dengan istilah *flux*. Menurut Fick dalam Vlack (1991), *flux* atom dapat dihitung dengan rumus

$$J = -D \left( \frac{C_2 - C_1}{X_1 - X_2} \right)$$

Dimana :

J = flux (ato/m<sup>2</sup> det)

D = difusitas (m<sup>2</sup>/det.)

C<sub>1</sub> = kuantitas atom pada kedalaman 1 (atom/m<sup>3</sup>)

C<sub>2</sub> = kuantitas atom pada kedalaman 2 (atom/m<sup>3</sup>)

X<sub>1</sub> = kedalaman pengamatan 1 (mm)

X<sub>2</sub> = kedalaman pengamatan 2 (mm)

Berdasarkan rumus tersebut, maka diperoleh besaran *flux* atom C ke dalam media aseptor, masing-masing 3,5039 x 10<sup>10</sup> atom/m<sup>2</sup> det. untuk media donor arang tempurung kelapa dan 4,2948 x 10<sup>10</sup> atom/m<sup>2</sup> det. untuk media donor arang tulang binatang.

Ketersediaan atom C pada media arang tulang mungkin dihasilkan oleh dua sumber, yakni arang tulang dan kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>). CaCO<sub>3</sub> dihasilkan dari pembakaran arang yang kaya akan kalsium (Ca). Di lain pihak, sumber atom C dari media donor arang tempurung kelapa hanya

dihasilkan dari satu sumber, yakni arang tempurung tersebut.

Ketersediaan atom C di lingkungan benda uji akan menentukan kuantitas aliran dan jangkauan atom C ke alam media aseptor. Hal ini dibuktikan dalam hasil penelitian ini, bahwa persentase atom di permukaan media aseptor dengan media donor arang tempurung kelapa dan arang tulang. Persentase atom C di permukaan media aseptor dengan media donor arang tempurung kelapa mencapai 0,79%, sedangkan dengan media donor arang tempurung kelapa mencapai 0,95%. Perbedaan konsentrasi atom C di sekitar media aseptor juga mengakibatkan perbedaan jangkauan difusi atom C ke dalam media aseptor.

Kedalaman lapisan karburasi dengan media donor arang tempurung kelapa yang dipanaskan pada 950°C selama 2 jam mencapai 1,194mm. Untuk mencapai kedalaman karburasi, seperti yang dicapai oleh media donor arang tulang binatang, yakni 1,823 mm dapat dihitung dengan persamaan dari Fick dalam Vlack (1991) sebagai berikut:

$$\frac{\sqrt{D \cdot t_1}}{X_1} = \frac{\sqrt{D \cdot t_2}}{X_2}$$

Dimana: D = Difusitas atom C ke dalam baja (m<sup>2</sup>/det.)

t<sub>1</sub> = Waktu yang diperlukan untuk mencapai kedalaman karburasi jika media donor yang digunakan arang tempurung kelapa (detik)

t<sub>2</sub> = Waktu yang diperlukan untuk mencapai kedalaman karburasi jika media donor yang digunakan arang tulang binatang (detik)

X<sub>1</sub> = kedalaman karburasi jika media donor yang digunakan arang tempurung kelapa (mm)

X<sub>2</sub> = kedalaman karburasi jika media donor yang digunakan arang tulang binatang (mm)

Jika besaran-besaran indikator karburasi dengan menggunakan kedua media donor tersebut dimasukkan, maka diperlukan waktu 4,71 jam pada pemanasan dengan tingkat temperatur sama.

Ditinjau dari kuantitas atom C, maka hasil karburasi dari arang tempurung kelapa setara dengan baja jenis JIS S15C, ISI 1015, BS 055MIS, DIN CK 1,5, C 15 dan POCT 15 (ITII, 1990).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan, bahwa (1) baja karbon rendah jenis sama, yang dikarburasi dengan arang tulang binatang pada temperatur 950<sup>0</sup> C selama 2 jam menghasilkan penambahan unsur C di permukaan 0,80% berat atom dengan ketebalan lapisan karburasi 1,832mm, (2) baja karbon rendah jenis sama, yang dikarburasi dengan arang tulang binatang pada temperatur 950<sup>0</sup> C selama 2 jam menghasilkan penambahan unsur C di permukaan 0,64% berat atom dengan ketebalan lapisan karburasi 1,194mm, dan (3) penggunaan media donor arang tulang binatang untuk proses karburasi pada baja karbon rendah lebih efektif dibanding arang tempurung kelapa.

### Saran

Bagi praktisi bidang manufaktur, baja karbon hasil penelitian ini dapat

digunakan untuk komponen-komponen yang memerlukan ketahanan gesek atau aus, karena kandungan unsur C untuk baja ini setara dengan karbon tinggi yakni 0,9% berat atom. Baja hasil penelitian ini juga dapat digunakan untuk mensubstitusi komponen-komponen yang memerlukan material baja dengan standar JIS S15C, ISI 1015, BS 055MIS, DIN CK 1,5, C 15 dan POCT 15 (ITII, 1990). Bagi peneliti berikutnya, yang tertarik untuk melakukan penelitian sejenis, disarankan dapat

mengkaji sifat-sifat mekanik baja hasil penelitian ini, misalnya kekuatan tarik, *fatigue*, *impact*, dan ketahanan korosi. Dengan melanjutkan peneliiian ini, diharapkan diperoleh pemanfaatan baja ini di bidang manufaktur secara spesifik. Pada gilirannya, dapat diperoleh baja substitusi yang lebih murah, sehingga menekan biaya produksi, terutama biaya material material.

#### DAFTAR PUSTAKA

Miller, Mark D. 1992. *Review of Orthopaedics*. Mexico: W.B. Sunder's Company  
 Salter, Robert Bruce. 1982. *Texbook of Disorders and Injuries of Muscolos Katetal System*. Second edition. London: Wiliam & Wilkins  
 Smith, Wiliam. 2004. *Principle of Material Science Engineering*. Ed. 3<sup>rd</sup>. Florida: Mc. Graw Hill.  
 Vlack, Lowerence H. Van. 2007. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Ed. ketujuh. Terjemahan oleh Sriati Djaprie 1986. Jakarta: Erlangga

Vlack, Lowerence H. Van. 2002. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Ed. keempat. Terjemahan oleh Sriati Djaprie 1986. Jakarta: Erlangga.  
 Wahono dan kawan-kawan. 1986. *Penggunaan Beberapa Jenis Karburiser untuk Proses Karburasi terhadap Baja Karbon Rendah*. Hasil penelitian. Malang: Lembaga Penelitian IKIP Malang  
 Zakarov, B. 1997. *Heat Treatment of Metals*. Moscow: Peace Publisher