

PAHAT DARI BAJA KARBON RENDAH YANG DIKARBURISING PADAT (*Tool from Pack Carburized Low Carbon Steel*)

Arianto Leman S., Tiwan, Mujiyono

Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
Jl. Colombo No. 1 Yogyakarta
e-mail: arile_man@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengembangkan pahat alternatif dari baja karbon rendah yang dikarburing padat. Pahat dibuat dari baja karbon rendah dengan kekerasan 111,67 VHN yang dipotong dan diasah. Proses karburing dilakukan dengan variasi suhu 800, 850 dan 900 0C, dan lama difusi 1, 2 dan 3 jam. Pahat langsung dicelup ke air dan minyak setelah proses difusi. Pahat dipakai membubut baja lunak Ø31,75 mm pada mesin bubut EMCO Maximat V-13 pada kecepatan potong 25 m/menit, kecepatan makan 0,112 mm/put dan kedalaman potong 1 mm. Hasil uji coba menunjukkan bahwa pahat yang dikarburing pada suhu 850 0C selama 3 jam dan dicelup air memberikan kekerasan rata-rata maksimal 760,4 VHN dan umur pahat dapat mencapai 425 detik. Ini berarti pahat tidak ekonomis dikembangkan untuk produksi masal.

Kata kunci: pahat, karburing padat, umur pahat

Abstract

The research is aimed at developing alternative tool from pack carburized low carbon steel. The tools were made from low carbon steel of 111,67 VHN using cutting machine and then sharpened. Carburizing process was conducted at temperature vary of 800, 850 and 900 0C for 1, 2 and 3 hours and then quenched into water and oil. The tools were subsequently quenched after diffusion process. The tools was used to cut mild steel of Ø31,75 mm on EMCO Maximat V-13 lathe machine with cutting speed 25m/minutes, feeding 0,112mm/rpm and depth of cut 1 mm. Tools that carburized at 850 0C for 3 hours dan quenched in water gives mean maximum hardness of 760,4 VHN and tool life up to 425 second. It shows that the tool is not economical developed for mass production.

Keywords: tool, pack carburizing, tool life

PENDAHULUAN

Metode *pack carburizing* dikenal juga sebagai karburing padat karena memakai media padat untuk menambah unsur karbon (Rajan, 1997). Metode karburing padat lebih sederhana dibanding metode karburing cair dan gas. Keunggulan metode ini, antara lain: (a) ekonomis, (b) peralatan dan proses sederhana; (c) media padat melimpah, dan (d) relatif aman. Metode ini banyak diterapkan

untuk memperbaiki kualitas komponen-komponen (Tabel 1).

Tabel 1. Penerapan Karburing Padat

Perbaikan Komponen	Referensi
Penyepuhan Pisau	Arbintarso (2003)
Penyepuhan Dies dan <i>Punch</i> proses <i>Stamping</i>	Fahrudin (2005)
Penyepuhan Sprocket Sepeda Motor	Setiamarga (2006)
Alat-alat pertanian	Widiyono (2006)
Alat-alat pertanian	Raharjo (2007)

Soemowidagdo, dkk (2010) menemukan proses karburising padat dapat dilakukan dengan satu kali pemanasan untuk meningkatkan efisiensi. Pengerasan dilakukan dengan cara mengeluarkan komponen dari kotak karburising dan langsung dicelupkan ke media pendingin. Metode ini (*direct quenching method*) menghasilkan kekerasan permukaan sampai 730 VHN, *case depth* setebal 0,5 mm dan struktur martensit pada permukaan benda uji, meski proses difusi hanya berlangsung selama dua jam dengan media padat arang dari pohon bakau ditambah BaCO_3 sebanyak 30% berat.

Pembubutan merupakan satu proses pemesinan dalam suatu proses produksi. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memperbaiki proses pembubutan, antara lain: Hananto, dkk (2003), dan Nurhadiyanto (2002). Pahat adalah alat potong untuk menyayat benda kerja dalam proses pembubutan. Keausan pahat yang rendah akan meningkatkan umur pahat. Keausan adalah perubahan dimensi secara kumulatif yang tidak diinginkan akibat pengikisan secara bertahap dari partikel pada permukaan kontak dalam gerak meluncur (Collins, 1981).

Rumendi dan Purnawarman (2006) menemukan bahwa pahat *insert* bermata tunggal dari baja karbon rendah ST37 yang dikarburising padat dengan arang tempurung kelapa dapat menjadi alat potong alternatif untuk memotong baja, aluminium, kuningan

dan bahan lain yang lebih lunak pada mesin bubut. Namun parameter karburising padat yang optimal belum ditentukan pada penelitian ini. Di sisi lain umur pahat yang ditentukan oleh keausan pahat juga tidak diobservasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pahat bubut dari baja karbon rendah yang dikarburising padat dan *direct quenching* yang layak dibuat untuk produk massal. Parameter-parameter proses karburising padat divariasikan untuk mencapai tujuan penelitian.

METODE PENELITIAN

Media padat yang dipakai untuk karburising padat adalah arang aktif berbentuk granul dicampur Barium Karbonat (BaCO_3) sebanyak 30% berat. Pahat dibuat dari plat baja karbon rendah tebal 4,6 mm. Baja karbon rendah yang digunakan mempunyai komposisi kimia seperti tampak pada Tabel 2 dengan kekerasan 111,67 VHN.

Pahat *insert* dibuat dari plat menggunakan mesin potong plat JORG tipe 40662 kemudian di asah menggunakan tool grinder Great Capitan tipe CG-7 dan diratakan permukaannya dengan *surface grinder* (Gambar 1). Kekerasan permukaan pahat diukur memakai *microhardness vickers* Shimadzu HMV-2 dengan beban 1 kg, sedang struktur mikro diamati memakai mikroskop optik olympus dengan *eyepiece* optilab.

Kotak karburising dibuat dari pipa baja $\varnothing 7,62\text{mm}$ dan tebal dinding 2mm. Tutup

Tabel 2. Komposisi Kimia Plat Baja Karbon Rendah

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S
Komposisi (%berat)	99,576	0,033	0,008	0,236	0,015	0,012

Unsur	Al	Co	N	Ni	Cr	Mo
Komposisi (% berat)	0,027	0,002	0,035	0,016	0,014	0,001

Unsur	Cu	Nb	V	W	Ti	Pb
Komposisi (% berat)	0,007	0,001	0,001	0,003	0,001	0,003

bawah dari plat baja tebal 4 mm yang dilaskan ke pipa. Tutup atas dari plat baja tebal 4 mm. Bagian dalam kotak dilapis keramik agar atom karbon tidak berdifusi ke dinding kotak. Proses karburising dilakukan pada suhu 800, 850 dan 900°C selama 1, 2 dan 3 jam dilanjutkan dengan proses pengerasan dicelup ke dalam air dan minyak.



Gambar 1. Pahat *Insert* dari Baja Karbon Rendah

Pahat dipakai untuk membubut baja karbon lunak ukuran $\text{Ø}31,75 \times 600$ mm. Pembubutan dilakukan pada mesin bubut EMCO Maximat V-13. Parameter-parameter pembubutan dibuat tetap yaitu kecepatan potong 25m/menit, kecepatan pemakanan

0,112mm/put dan kedalaman potong 1mm. Keasuan pahat diamati menggunakan *traveller microscope*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Karburising Padat

Proses karburising dilakukan dengan langkah sebagai berikut: (a) Dapur pemanas disetting pada suhu yang telah ditentukan; (b) Setelah suhu tercapai, enam buah kotak dimasukkan bersamaan ke dalam dapur pemanas. Kotak disusun di dalam dapur dengan tutup menghadap ke bawah; (c) Satu jam kemudian dua buah kotak dikeluarkan dari dapur (Gambar 2). Pahat serta media



Gambar 2. Pengambilan Kotak dari Dapur

Tabel 3. Suhu Media Pendingin Sebelum dan Setelah Pencelupan Pahat

Suhu Proses Karburising Padat	Media Pencelup	Lama proses 1 jam		Lama proses 2 jam		Lama proses 3 jam	
		Suhu media sebelum pencelupan	Suhu media setelah pencelupan	Suhu media sebelum pencelupan	Suhu media setelah pencelupan	Suhu media sebelum pencelupan	Suhu media setelah pencelupan
800°C	Air	28°C	30°C	30°C	32°C	31°C	36°C
	Minyak	27°C	42°C	37°C	50°C	43°C	52°C
850°C	Air	28°C	30°C	29°C	31°C	31°C	34°C
	Minyak	27°C	45°C	31°C	52°C	43°C	55°C
900°C	Air	28°C	32°C	30°C	33°C	32°C	36°C
	Minyak	27°C	42°C	37°C	55°C	44°C	59°C

padat langsung dicelup ke media pendingin, satu dicelup ke air dan yang lain dicelup ke minyak. Kotak diambil kemudian kawat pengikat dipotong sehingga tutup terbuka dan seluruh isi kotak akan masuk tercelup ke dalam media pendingin; (d) Ulangi langkah (c) untuk setiap jam berikutnya. Langkah (a) sampai dengan (d) diulangi lagi untuk suhu proses lainnya.

Dari Tabel 3 tampak bahwa suhu media pencelup setelah dilakukan pencelupan masih di bawah 100°C. Ini berarti bahwa kekerasan permukaan pahat setelah pencelupan akan meningkat. Hal ini terjadi karena pahat mengalami pendinginan secara cepat dari suhu austenit ke suhu kamar tanpa memotong nose pada kurva transformasi

suhu-waktu. Namun dari Tabel 4 tampak bahwa peningkatan suhu minyak setelah pencelupan lebih tinggi dibandingkan air. Suhu air meningkat antara 2–4°C, sedang suhu minyak meningkat antara 10–21°C. Laju pendinginan minyak yang lebih lambat akan berkibat kekerasan permukaan pahat yang lebih rendah.

Terak tidak terbentuk pada permukaan pahat setelah pencelupan. Hal ini menunjukkan tidak terjadi oksidasi akibat reaksi dengan oksigen saat pencelupan. Terak dapat menghalangi laju pendinginan pahat dan akan mengurangi kekerasan permukaan pahat. Pencelupan pada air juga tidak menunjukkan pembentukan terak meskipun air mengandung oksigen. Hal ini terjadi

Tabel 4. Selisih Suhu Media Pencelup Sebelum dan Setelah Pencelupan Pahat

Suhu Proses Karburising Padat	Media Pendingin	Lama proses 1 jam	Lama proses 2 jam	Lama proses 3 jam
800°C	Air	2°C	2°C	5°C
	Minyak	15°C	13°C	10°C
850°C	Air	2°C	2°C	3°C
	Minyak	18°C	21°C	12°C
900°C	Air	4°C	3°C	4°C
	Minyak	15°C	18°C	15°C

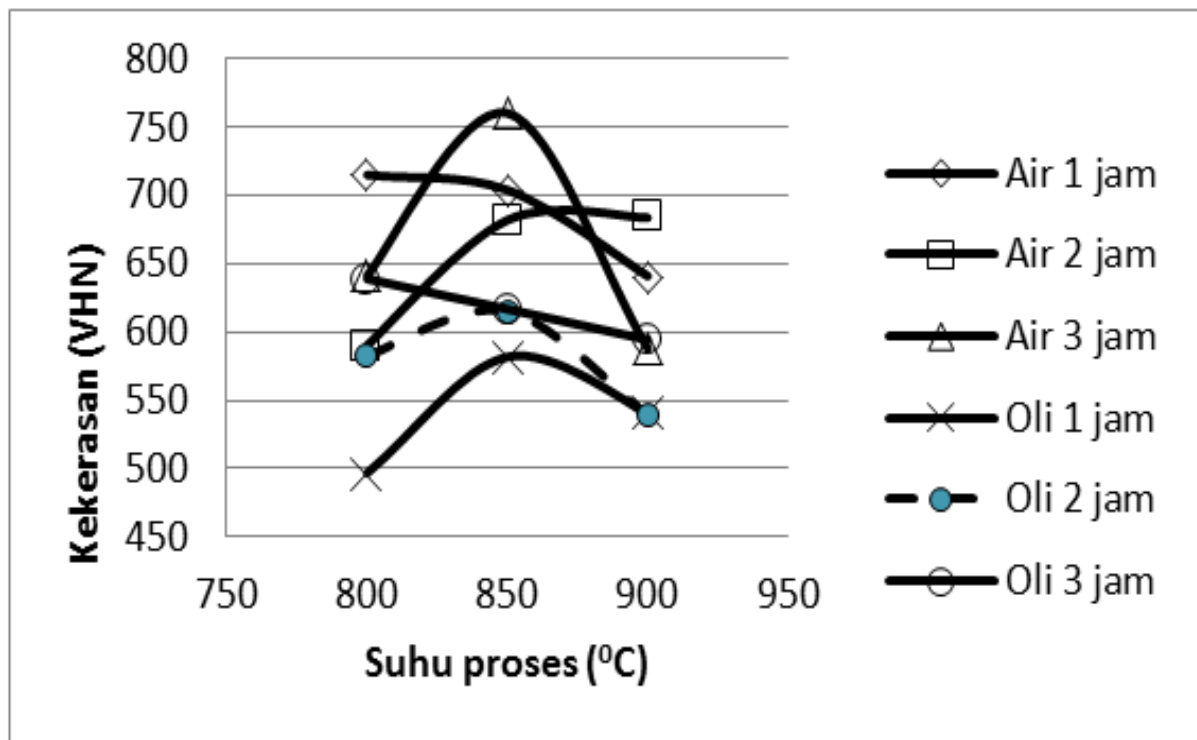
karena oksigen didalam air langsung menguap akibat terpanaskan oleh pahat yang baru saja dikarburising. Selain itu, saat pencelupan pahat-pahat masih terselubung oleh media padat sehingga oksigen didalam air tidak sempat bersentuhan dengan permukaan pahat.

Kekerasan Ujung Pahat

Hasil pengujian kekerasan ujung pahat diplot dalam sebuah kurva pengaruh suhu proses karburising padat terhadap kekerasan ujung pahat (Gambar 3). Dari gambar tersebut tampak bahwa kekerasan optimum diperoleh pada suhu proses karburising padat 850°C, lama proses 3 jam dan media pendingin air. Hal ini sesuai dengan hukum kedua Fick yang menyatakan bahwa semakin lama proses

karburising maka akan semakin banyak atom karbon terdifusi ke permukaan dan semakin dalam pula difusi tersebut (Callister, 2001). Namun demikian, suatu saat proses pergerakan atom berbalik keluar jika atom karbon di permukaan sudah terlalu banyak dan atom karbon pada media padat mulai berkurang yang dikenal sebagai peristiwa dekarburising. Proses karburising umumnya dilakukan sekitar 6–8 jam untuk memperoleh tebal lapisan keras 1-2mm (Rajan, 1997).

Kekerasan pahat meningkat karena muncul struktur martensit pada permukaan pahat. Martensit adalah struktur yang terbentuk akibat *quenching* yang kekerasannya bergantung pada kadar karbon (Callister, 2001). Kekerasan dan kekuatan martensit

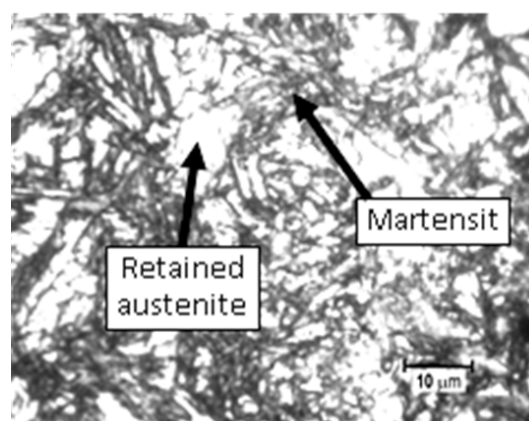


Gambar 3. Pengaruh Suhu Proses Karburing Padat terhadap Kekerasan Ujung Pahat

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 merupakan fungsi jumlah atom karbon yang terdifusi. Semakin banyak atom karbon, maka akan semakin efektif dalam menghalangi pergerakan dislokasi dan semakin sedikit sistem slip pada sel satuan BCT pada struktur martensit.

Pada proses karburising dengan suhu 900°C selama 3 jam, kekerasan ujung pahat lebih rendah dibandingkan proses pada suhu 850°C selama 3 jam. Menurut hukum Fick jumlah atom karbon yang terdifusi ke permukaan baja karbon rendah akan lebih banyak pada proses dengan suhu yang lebih tinggi meskipun lama prosesnya sama. Ini berarti jumlah atom karbon yang terdifusi pada proses dengan suhu 900°C selama 3 jam akan lebih banyak. Bagaimanapun, berdasarkan diagram fasa besi karbon jika kadar karbon semakin tinggi maka garis suhu transformasi Ar3 akan semakin rendah. Sedangkan, berdasarkan diagram transformasi suhu-waktu, proses pengerasan (*quenching*) akan berlangsung baik jika pemanasan baja hanya sedikit di atas garis Ar3 (sekitar 50°C di atas garis Ar3) agar laju pendinginan tidak memotong nose. Namun pada penelitian ini pahat langsung dicelup ke media pendingin

sesaat setelah proses karburising padat selesai. Akibatnya pada proses dengan suhu 900°C, suhu pencelupan menjadi terlalu tinggi di atas garis Ar3 sehingga di dalam pahat tersebut muncul struktur retained austenite (Gambar 4), yaitu austenit yang tidak bertransformasi menjadi martensit selama proses pendinginan cepat berlangsung. Hasilnya adalah kekerasan pahat yang lebih rendah meskipun atom karbon yang berdifusi lebih banyak.



Gambar 4. Struktur Martensit dan Retained austenite

Pengamatan lebih lanjut terhadap Gambar 3, menunjukkan bahwa pada proses karburising padat sangat sulit mengontrol keseragaman atau konsistensi hasil. Kalaupun hasil diasumsikan dapat diterima maka harus diberikan dalam suatu range yang lebar. Secara teknis kondisi ini kurang dapat diterima untuk pembuatan produk dengan konsistensi dan keakuratan yang ketat. Hal ini disebabkan oleh sulitnya menjaga gas CO yang berperan dalam proses difusi agar tidak keluar dari kotak. Gas tersebut terdorong keluar kotak karena

tekanan dalam kotak lebih besar. Kesulitan menjaga kerapatan setiap kotak agar sama merupakan hal yang umum terjadi pada karburising padat.

Pada Gambar 3 tampak pula bahwa media minyak menghasilkan kekerasan ujung pahat yang lebih rendah dibanding media air. Hal ini berkaitan dengan kemampuan minyak memindahkan panas dari pahat. Tabel 4 memperkuat kondisi ini ditandai oleh peningkatan suhu minyak setelah digunakan untuk mencelup pahat dari suhu austenit. Hal ini juga teramati saat pencelupan pahat, minyak terbakar (Gambar 5).



Gambar 5. Api yang Muncul Saat Pencelupan Pahat ke dalam Minyak Setelah Proses Karburising Padat

Kekerasan pahat yang dicelup minyak tercatat di bawah 650 VHN atau di bawah 57 HRC. Kondisi ini akan menyebabkan pahat yang dicelup minyak akan lebih mudah aus saat digunakan untuk membubut yang berarti umur pahat menjadi singkat. Saat lapisan keras hasil proses karburising padat

telah terkikis maka pahat tidak dapat lagi digunakan pada proses pengurangan volume melalui proses pembubutan. Konsekuensi dari keadaan ini adalah pahat yang dicelup ke dalam minyak tidak layak digunakan pada proses pembubutan.

Proses Pembubutan

Pahat diuji untuk membubut baja lunak pada mesin bubut EMCO Maximat V-13. Cutting speed (V) yang digunakan adalah 25m/menit yaitu *cutting speed* untuk pembubutan baja lunak dengan pahat HSS. Parameter pembubutan lainnya adalah feeding (f) 0,112mm/put dan *depth of cut* (a) 1mm. Pahat digunakan untuk membubut baja lunak ukuran $\varnothing 31,75 \times 600$ mm sehingga diameter akhir menjadi 29,75mm. Putaran pada uji coba pembubutan adalah:

Putaran yang tersedia pada mesin yang mendekati hasil perhitungan adalah 260 rpm. Proses pembubutan dilaksanakan tanpa coolant. Pahat-pahat yang dicelup minyak setelah proses karburising padat tidak diuji coba untuk membubut. Waktu yang dibutuhkan untuk membubut sampai pahat aus tampak pada Tabel 5 dan 6.

Tampak bahwa pahat yang dikarburising pada suhu 850°C selama 3 jam dan dicelup air memberi umur rata-rata yang lebih lama. Bagaimanapun, hasil uji coba menunjukkan umur pakai pahat yang bervariasi untuk satu parameter proses karburising padat yang sama. Kondisi ini sejalan dengan hasil uji kekerasan ujung pahat dan memberi

Tabel 5. Lama Pembubutan sampai Aus untuk Pahat yang Dikarburising pada Suhu 850 °C dan Dichelup Air

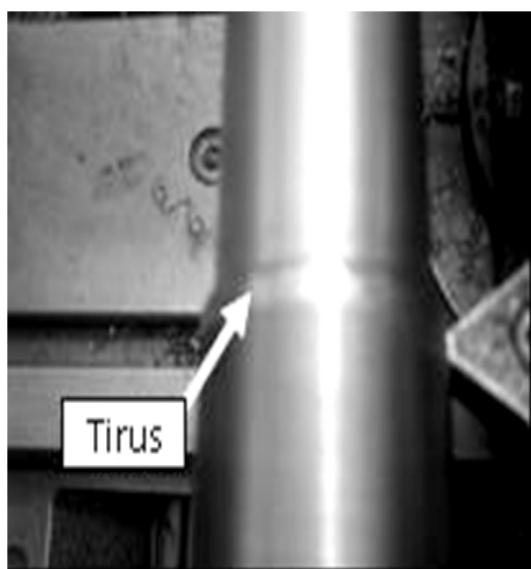
Lama Proses Karburising (jam)	Waktu Pembubutan (detik)										
	Pahat 1	Pahat 2	Pahat 3	Pahat 4	Pahat 5	Pahat 6	Pahat 7	Pahat 8	Pahat 9	Pahat 10	Pahat 11
1	8	42	32	189	38	82	190	11	27	131	127
2	127	8	10	150	41	11	72	11	126	7	41
3	324	180	120	150	314	10	425	134	10	136	23

Tabel 6. Lama Pembubutan sampai Aus untuk Pahat yang Dikarburising selama 3 Jam dan Dichelup Air

Suhu Proses Karburising (°C)	Waktu Pembubutan (detik)										
	Pahat 1	Pahat 2	Pahat 3	Pahat 4	Pahat 5	Pahat 6	Pahat 7	Pahat 8	Pahat 9	Pahat 10	Pahat 11
800	5	10	7	13	200	36	26	31	37	20	4
850	324	180	120	150	314	10	425	134	10	136	23
900	7	22	10	143	13	190	17	82	281	91	110

gambaran sulitnya mengontrol konsistensi hasil karburising padat.

Dari Tabel 5 dan 6 tampak bahwa umur pahat saat digunakan untuk membubut sangatlah singkat ditandai dengan ausnya pahat (Gambar 6). Tercatat umur pahat paling



Gambar 6. Hasil Pembubutan yang Menunjukkan Pahat Sudah Aus

lama di tunjukkan oleh pahat nomor 7 yang diproses karburising padat selama 3 jam pada suhu 850°C dan dicelup air, yaitu 425 detik atau 7 menit 5 detik. Dari kedua tabel tersebut juga tampak beberapa pahat hanya berumur 5 sampai 40 detik. Namun demikian pada pembuatannya, ujung pahat-pahat kurang radius, sehingga pahat tersebut telah dinyatakan aus dan mengalami kegagalan katastropik saat ujungnya terkikis 0,3mm (Boothroyd, 1975). Di sisi lain, ujung pahat mengalami laju pendinginan yang lebih cepat karena volume pada bagian tersebut lebih kecil. Hal ini mengakibatkan bagian ujung pahat menjadi lebih keras dan getas. Implikasi hal ini adalah, saat dipakai untuk membubut, ujung pahat akan mudah sekali terkelupas. Proses temper diperlukan untuk mengurangi kegetasan ujung pahat.

Bagaimanapun, setelah ujung pahat terkelupas, hasil uji coba menunjukkan bahwa pahat masih mampu digunakan untuk membubut. Hasil pembubutan setelah ujung pahat terkikis memperlihatkan bahwa dimensi poros yang dibubut seragam dan toleransinya dapat diterima. Hal ini bahkan tampak pada pahat yang diproses karburising selama 2 jam pada suhu 800°C dan mampu digunakan hingga 60 menit dengan keausan pahat 0,09mm. Fenomena ini menunjukkan bahwa ujung pahat harus di buat radius dan dilakukan proses temper agar pahat mampu digunakan dengan baik. Namun demikian, setelah lapisan keras hasil karburising padat habis terkikis, pahat tidak layak lagi untuk digunakan.

Kelemahan dan Keterbatasan Pahat

Hasil pengujian, pengamatan dan pengukuran memperlihatkan bahwa pahat bubut yang dikembangkan dari baja karbon rendah melalui proses karburising padat memiliki keterbatasan dan kelemahan. Pahat yang dikembangkan tidak layak jika dilanjutkan untuk produk komersial secara masal. Beberapa hal mendasar yang membatasi pengembangan pahat ini adalah a) sulitnya menjaga konsistensi hasil proses karburising padat. Akibatnya jika diproduksi secara masal, keseragaman kualitas pahat sulit dijaga. Konsumen pemakai pahat akan sangat dirugikan dengan kondisi ini disamping kepercayaan konsumen menjadi tidak terjaga, dan b) rata-rata umur pahat yang relatif singkat menjadikan pahat tidak

kompetitif dibandingkan pahat HSS. Meskipun beberapa pahat memiliki umur cukup panjang namun ketidakseragaman umur menjadi kendala tersendiri. Jika pahat sudah aus maka pahat harus diasah dan dikarburising padat lagi. Lamanya proses, biaya dan ketidakseragaman hasil membuat pahat kurang kompetitif secara ekonomis.

KESIMPULAN

Berdasar hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa proses karburising padat pada suhu 850°C selama 3 jam dengan media pencelup air menghasilkan pahat dengan kekerasan rata-rata 760,4 VHN. Umur pahat dapat mencapai 425 detik pada parameter proses karburising padat tersebut. Hasil ini menunjukkan bahwa pahat dari baja karbon rendah yang dikarburising padat kurang ekonomis jika dikembangkan untuk produk komersial.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DIKTI yang telah membiayai penelitian ini. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Ketua Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT UNY yang telah memberi ijin untuk menggunakan fasilitas-fasilitas yang ada di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT UNY.

DAFTAR PUSTAKA

Boothroyd., G. 1975. *Fundamentals of metal machining and machine tools*,

- International student edition*. Tokyo, Japan: McGraw Hill Kogakusha, Ltd.
- Callister, W.D. 2001. *Fundamentals of materials science and engineering*. 5th edition. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Collins, J.A. 1981. *Failure of material in mechanical design, analysis prediction and prevention*. US: John Willey & Son, Inc.
- Fahrudin, E. 2005. Pack carburizing dengan media arang batok pada baja karbon rendah untuk dies dan punch proses stamping profil lingkaran: Studi kasus di Alfa Spare Part Bandung. Laporan Tugas Akhir. <http://abstraksi-ta.fti.itb.ac.id/>, diakses 15 April 2008.
- Hananto, W dan Muhammad N.H. 2003. Analisa rasio pemampatan tebal geram terhadap perubahan bahan material ST 42-ST 70 dan feeding dengan pahat HSS pada mesin bubut. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, FT-Universitas Brawijaya, 210-215.
- Nurhadiyanto, D. 2002. Analisis pengaruh kecepatan potong, kecepatan pemakanan dan kedalaman potong terhadap keausan tepi pahat pada mesin bubut. *Saintek*, Vol. 7 No. 2, 65-81.
- Rajan, T.V., Sharma, C.P., & Sharma, A., 1997. *Heat treatment-principles and techniques*. New Delhi: Prentice Hall of India.
- Rumendi, U. dan Purnawarman., O. 2006. Pahat bubut baja ST 37 sebagai pahat alternatif pengganti pahat bubut HSS melalui proses karburasi arang batok, *Prosiding Seminar on Application and Research in Industrial Technology, SMART 2006*, UGM Yogyakarta, III.57-III.62.
- Setiamarga, B.H., Rumendi, U. & Kurniawati, N. 2006, Pack carburizing pada sprocket sepeda motor dengan material baja karbon rendah. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 21, No. 1, 28-33.
- Soemowidagdo, A.L., Mujiyono, Sutapa, J.P.G., Rumendi, U. 2010. Pengembangan metode karburising padat untuk meningkatkan kekuaran mekanis baja karbon rendah. *Laporan Penelitian*. LPPM UNY.