

OPTIMALISASI PEMANFAATAN BAJA KONSTRUKSI DAN KIKIR BEKAS SEBAGAI BAHAN PAHAT BUBUT

Joko Waluyo, Saiful Huda, Hery Mahendra
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas teknologi Industri
Institut Sains & Teknologi AKPRIND
Jalan Kalisahak 28 Yogyakarta 55222, Indonesia
Walyojok@yahoo.co.id

ABSTRACT

Lathe process is a cutting movement between rotational movement of workpiece and translation movement of cutting tool. Good cutting tool should have good property that able to produce good quality of lathe processing, such as : smooth surface, hardly wear of cutting tool and relatively inexpensive.

The aim of this research is to obtain good quality of lathe cutting tool with inexpensive price. The specimens used in this work welded hardening carbon steel surface with electrode NSN 312-16, HV 600, RD 7188, old miser and High Speed Steel (HSS).

It was found that the hardness value for welded hardening construction steel surface with electrode NSN 312-16, HV 600, RD 718, old miser and High Speed Steel (HSS) cutting tool were 40, 55,7,40, 57,8 and 79,2 HRc and wearing rate of cutting speed after aluminium cutting were 0,003, 0,0019, 0,0034, 0,0009 gram respectively. Surface smoothness of work piece were 3,965, 3,093, 3,417, 1,759 and 2,092 μm for welded hardening carbon steel surface with electrode NSN 312-16, HV 600, RD 718, old miser and High Speed steel (HSS) cutting tool respectively. The scrap produced continuous chip for each specimen tool.

For cutting aluminium, the rank based on the quality was HV 600, old miser and then HSS. This is because according to DIN which hardness rank produce for each cutting tool with welding N8, meanwhile for both old miser and HSS were N7.

Keyword, cutting tool material, Electrode NSN 312-16, HV 600, RD 7188, old miser, HSS

INTISARI

Proses bubut terjadi karena gerak potong oleh benda kerja yang berputar sedangkan pahat melakukan gerak makan lurus mendatar, pahat yang baik harus mempunyai sifat-sifat tertentu sehingga menghasilkan kualitas pembubutan yang baik meliputi kerataan pembubutan, tidak mudah aus dan harganya yang murah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kualitas pahat bubut yang baik dan harganya murah metode yang dilakukan adalah menggunakan bahan baja konstruksi dengan pengelasan pada pengerasan permukaan pahat dengan menggunakan elektroda NSN 312-16, HV 600, RD 718, dan dengan menggunakan bahan pahat kikir bekas serta bahan pahat High Speed Steel (HSS)

Hasil penelitian harga kekerasan untuk pahat dengan pengerasan permukaan dengan menggunakan elektroda NSN 312-16, HV600, RD 718, kikir bekas dan HSS besarnya masing-masing 40, 55,7,40, 57,8 dan 79,2 HRc dan besarnya pengurangan material pahat setelah digunakan untuk pembubutan aluminium masing-masing besarnya adalah 0,003, 0,0019, 0,0034, 0,0009 dan 0,0015 gram. Dan besarnya nilai kerataan dari benda kerja dengan menggunakan bahan pahat tersebut masing-masing besarnya adalah 3,965, 3,093, 3,417, 1,759 dan 2,093 μm dan bentuk tatal yang dihasilkan dari kelima bahan pahat tersebut adalah *continuous chip*.

Bahan pahat yang sesuai untuk pembubutan aluminium urutan kualitasnya adalah bahan pahat yang mendapatkan pengelasan permukaan dengan menggunakan elektroda HV 600, kikir bekas dan HSS karena berdasarkan standar DIN kelas kekasaran yang dihasilkan masing – masing pahat adalah N8 sedangkan bahan pahat kikir bekas dan HSS sama yaitu N7.

Kata kunci, bahan pahat, elektroda NSN 312-16, HV600, RD 718, kikir bekas dan HSS

PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur khususnya industri kerajinan aluminium ataupun industri-industri yang lain, mesin bubut mempunyai

peranan yang penting dalam pembuatan atau pembentukan produk, khususnya produk-produk yang mempunyai bentuk silindris. Bagian terpenting dari mesin ini

adalah pahat bubut, pahat yang baik harus mempunyai beberapa sifat-sifat tertentu, sehingga dapat menghasilkan suatu produk yang mempunyai kualitas yang cukup baik, meliputi ketepatan ukuran dan umur pahat yang lama dan diharapkan dengan harga pahat yang murah.

Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan cara menggunakan bahan kikir bekas yang harganya relatif murah dan bahan dari baja konstruksi yang telah mendapatkan pengerasan permukaan atau sering disebut *hardfacing* untuk dijadikan alternatif sebagai bahan pahat yang mana hasilnya dibandingkan dengan bahan pahat dari bahan pahat *High speed steel (HSS)* dan kikir bekas.

Untuk mendapatkan kualitas baja konstruksi sebagai bahan pahat bubut yang mempunyai sifat keras dan tahan aus dilakukan dengan cara pengerasan permukaan yang disebut dengan *hardfacing*. Hasil dari pengerasan permukaan tersebut digunakan untuk pembubutan aluminium hasil dari pembubutan dari bahan pahat *hardfacing* dianalisa untuk dibandingkan dengan hasil pembubutan dari bahan pahat HSS.

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah baja karbon konstruksi yang telah mendapatkan pengerasan permukaan dengan metode pengelasan menggunakan mesin las AC dengan arus 110 A, tegangan 220 Volt, dengan menggunakan elektroda NSN 312-16, HV 600 dan RD 718, bahan pahat dari kikir bekas dan bahan pahat dari HSS (*High Speed Steel*)
2. Analisa kualitas kerataan pada permukaan benda kerja setelah pembubutan.
3. Analisa keausan dengan mengamati besarnya bahan pahat yang hilang setelah pembubutan dengan pengamatan struktur mikro.
4. Analisa sifat mekanik meliputi kekerasan dari masing-masing bahan dari pahat.

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Untuk mengetahui kekerasan bahan dari baja konstruksi sebagai bahan pahat bubut setelah proses pengerasan permukaan, untuk selanjutnya dibandingkan dengan bahan pahat *High Speed Steel (HSS)* dan bahan pahat kikir bekas.

2. Untuk mengetahui keausan pahat dari baja konstruksi yang telah mendapatkan pengerasan permukaan dibandingkan dengan pahat *High Speed Steel (HSS)* dan bahan pahat kikir bekas.
3. Untuk mengetahui kualitas permukaan hasil pembubutan dari bahan aluminium (Di Pola 1998) yang menggunakan bahan pahat baja konstruksi yang telah mendapatkan pengerasan permukaan, pahat *High Speed Steel (HSS)* dan bahan pahat kikir bekas.

Proses Pelaksanaan Hardfacing dengan Pengelasan

Dalam proses *hardfacing* dengan pengelasan digunakan material pengisi berupa elektroda listrik yang habis terpakai (*consumable*).

Elektroda yang langsung habis terpakai terjadi karena adanya loncatan busur nyala listrik akibat adanya jarak yang sengaja dan dijaga ketetapanannya ukuran antara elektroda tersebut dengan benda kerja.

Elektroda yang digunakan dalam pengelasan busur listrik adalah elektroda yang habis terpakai dan berupa batang material pengisi yang mempunyai formula lapisan spesial berupa fluks. Lapisan ini menjaga agar tidak terjadi oksidasi selama elektroda mencair dalam proses pengelasan.

Kecepatan pengelasan, posisi elektroda, dan arus sangat mempengaruhi dalam pengelasan ini. Untuk ukuran diameter elektroda lebih kecil dari 3,5 mm digunakan arus antara 60 sampai dengan 130 A. Sedangkan untuk elektroda yang berdiameter lebih besar dari 6.4 mm digunakan arus 150 sampai 330 A (Okamura, 1998)

Material Alat Potong

Proses pembentukan geram dengan cara permesinan berlangsung dengan cara mempertemukan dua jenis material, yaitu benda kerja dengan pahat. Agar proses pembubutan dapat berlangsung dengan baik maka berbagai aspek-aspek berikut ini harus diperhatikan antara lain :

1. Kekerasan pahat melebihi kekerasan benda kerja tidak saja pada temperatur ruang melainkan pada temperatur tinggi pada saat proses pembentukan geram berlangsung.
2. Keuletan yang cukup besar untuk menahan beban kejutan yang terjadi sewaktu proses pembubutan.

Pahat HSS

Pahat *high speed steels* (HSS) terbuat dari jenis baja paduan tinggi dengan unsur paduan krom (Cr) dan tungsten atau wolfram

(W). Melalui proses penuangan (*Wolfram metallurgi*) kemudian diikuti pengerolan ataupun penempaan. Apabila aus pahat HSS dapat diasah sehingga mata potongnya menjadi tajam kembali.

Kikir

Kikir di bengkel dikenal sebagai kikir mekanik, terbuat dari baja karbon tinggi dengan bentuk bermacam-macam disesuaikan dengan jenis pekerjaan yang dikerjakan, penggunaan kikir bekas sebagai bahan pahat bubut dimaksudkan untuk mendapatkan bahan pahat yang harganya murah sehingga diharapkan ongkos produksinya menjadi lebih rendah.

Kekasaran Permukaan.

Setiap permukaan komponen dari suatu benda mempunyai beberapa bentuk yang bervariasi menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya. Karakteristik permukaan tersebut ada yang bentuknya halus dan berbentuk gelombang (*waviness*).

Kekasaran didefinisikan sebagai ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh permesinan sedangkan penggelombang adalah komponen tekstur dimana kekasaran saling menumpuk. Hal ini disebabkan oleh faktor-faktor seperti penyimpangan mesin, getaran, berbagai penyebab regangan pada bahan dan pengaruh-pengaruh lainnya. Nilai kekasaran dinyatakan dalam *Roughness Average (Ra)*

Pengukuran kekasaran/kehalusan

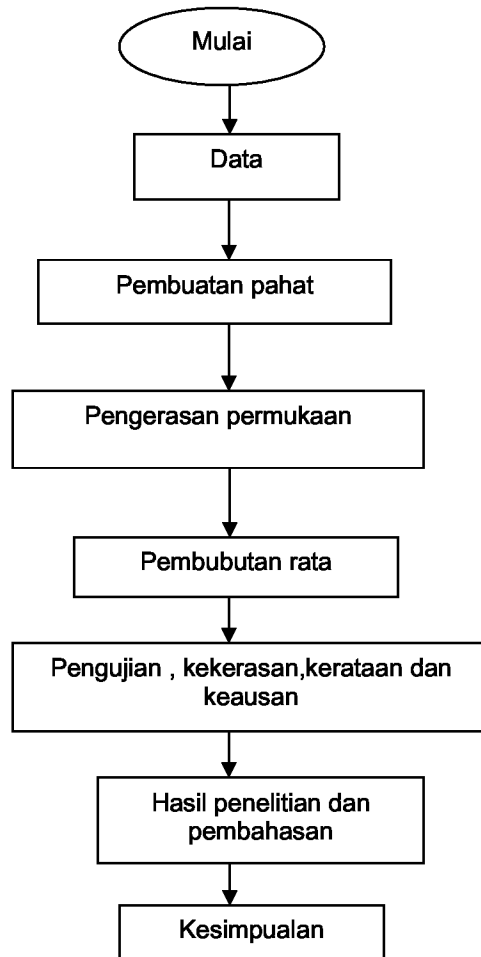
Pengukuran

Pada dasarnya ada dua metode pokok pengukuran yaitu pengukuran langsung dan pengukuran tidak langsung. Pengukuran langsung adalah pengukuran yang dilakukan secara langsung dengan membandingkan sesuatu atau benda dengan besaran atau ukuran standar. Pada pengukuran langsung pada penelitian ini menggunakan alat yang dinamakan *surface tester*. Tingkat kekasaran rata-rata permukaan hasil pengerjaan masing-masing mesin perkakas tidak sama, tergantung proses pengerjaannya. Adapun angka kekasaran menurut DIN 4763 :1981 seperti pada tabel 1

Tabel 1 Angka kekasaran DIN 4763: 1981

z	Kelas Kekasaran	Panjang Sampel (mm)
50	N 12	8
25	N 11	
12,5	N 10	2,5
6,3	N 9	
3,2	N 8	0,8
1,6	N 7	
0,8	N 6	
0,4	N 5	
0,2	N 4	0,25
0,1	N 3	
0,05	N 2	
0,025	N 1	0,08

METODE PENELITIAN

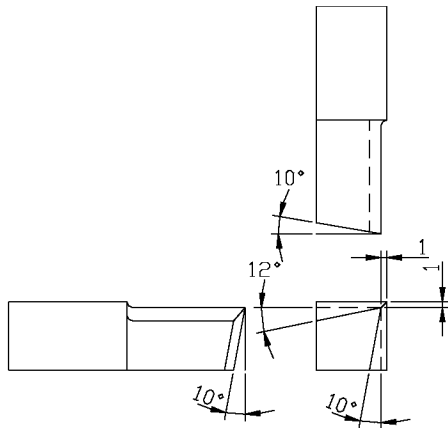


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Bahan pahat

Bahan pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

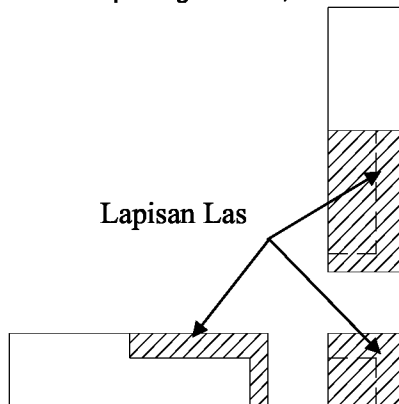
1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja konstruksi sebagai bahan material pahat setelah dilakukan pengerasan permukaan, bahan pahat dari kikir bekas dan HSS. Adapun bentuk pahat yang digunakan di dalam penelitian ini seperti pada gambar 2.



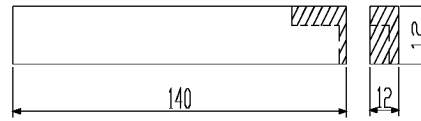
Gambar 2. Bentuk pahat

Pengelasan

Pengelasan dilakukan di dalam penelitian ini menggunakan 3 buah elektroda yang berbeda yaitu NSN 312-16, HV 600 dan RD 718 dari produk Nikko steel di bagian yang digerinda membentuk cekungan dan ditambah pada bagian ujung material pahat setebal 3 mm. Setelah proses pengelasan, hasil lasan diratakan dengan gerinda sehingga akan membentuk material yang sama seperti pada saat material belum digerinda. Akan tetapi mempunyai dimensi panjang yang berbeda. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada gambar 3, 4 dan 5.



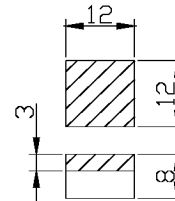
Gambar 3 Ujung bahan yang dilapisi las



Gambar 4 Dimensi bahan setelah pengelasan

Setelah dilakukan proses pengelasan dengan 3 jenis elektroda kemudian dilakukan penggerindaan untuk mendapatkan bentuk pahat seperti pada gambar 2. Adapun sifat komposisi kimia dari bahan elektroda seperti antara lain Cr,C, Ni seperti pada tabel 2.

Sedangkan material yang digunakan untuk pengujian kekerasan dilakukan pengelasan satu sisi saja setebal 3 mm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5 :



Gambar 5. Pengelasan material uji

Pembubutan

Setelah material pahat dari bahan baja perkakas yang telah dikeraskan permukaannya, bahan pahat dari bahan kikir bekas dan HSS setelah selesai dibentuk langkah selanjutnya adalah didokumentasikan dengan foto makro dan dilakukan penimbangan terlebih dahulu. Kemudian material pahat digunakan untuk proses pembubutan rata pada bahan aluminium Adapun parameter yang dipakai dalam proses pembubutan adalah :

Putaran Spindel (n) : 540 rpm

Kedalaman pemakanan (a) : 0,5 mm

Gerak pemakanan (f) : 0.05 mm/put

Panjang pemakanan (L₁) 150 mm

Jumlah pemotongan (i) : 12 kali

Dimensi material yang dibubut adalah :

Bahan: Aluminium

Diameter mula-mula (d₀) : 27 mm

Diameter akhir (d₁) : 15 mm

Tabel 2 Penamaan pahat

Nama Pahat	Jenis Elektroda Pelapis
A	NSN 312-16 C=0,09%,Cr=0,29%,8,75%Ni
B	HV 600 C=0,82%, Cr=3,98%
C	RD 718 C=0,08%,Cr=0,1%,0,1%Ni

Setelah proses pembubutan dilakukan pengujian yang meliputi antara lain pengujian kekerasan, keausan dan kerataan.

Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan ini menggunakan metode pengujian kekerasan menggunakan *rockwell C* (HRc) dengan :

Beban : 150 kg

Waktu : 5 detik

Penetrator : *Diamond Cone*

Pada pengujian kekerasan dilaksanakan lima kali penekanan pada lima tempat yang berbeda. Kemudian dari lima tempat tersebut ditarik hasil rata-rata yang kemudian dijadikan nilai kekerasan material yang diujikan.

Pengujian keausan

Penimbangan yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berat material pahat yang hilang dalam proses pembubutan dengan material kerja Aluminium. Sedangkan foto makro dilakukan guna mengamati lebih jelas perubahan yang terjadi pada ujung pahat seperti pada tabel 5.

Pengujian kerataan

Pengujian kekasaran permukaan menghasilkan data berupa angka (nilai) kekasaran permukaan rata-rata (Ra). Data tersebut diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan alat ukur kekasaran (*surface tester*) terhadap material aluminium hasil pembubutan dari masing-masing pahat. Pengukuran tersebut dilakukan setelah material aluminium tersebut dibubut dengan memakai parameter kecepatan potong (V) 20,35 m/menit, panjang pemakanan (λ_t) 150 mm, kecepatan Pemakanan (v_f) 0,027 m/menit, kedalaman pemakanan (a) 0,5 mm, waktu pemotongan 66 menit pada mesin bubut dengan putaran *spindle* (n) 540 rpm dan media pendingin udara. Hasil pengujian kekasaran permukaan yang didapatkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Hasil penelitian diperoleh data berupa angka (nilai) serta visualisasi dari bahan yang diteliti. Adapun data tersebut antara lain

meliputi perhitungan proses pembubutan, uji kekerasan, penimbangan dan pendokumentasian material pahat dalam bentuk foto makro sebelum dan sesudah pembubutan, uji kerataan permukaan dan bentuk chip yang dihasilkan dari masing-masing pembubutan yang dilaksanakan pada penelitian ini.

Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan dilaksanakan lima kali penekanan pada lima tempat yang berbeda untuk tiap-tiap pahat. Adapun hasil pengujian kekerasan ada pada tabel 3 dan grafik 1

Tabel 3. Hasil pengujian kekerasan

No	Material	Elektroda pelapis	Rata-rata
1	A	NSN 312-16	40
2	B	HV 600	55,7
3	C	RD 718	40
4	HSS	-	79,2
5	kikir	-	57,8

Penimbangan pahat dan foto makro

Penimbangan yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berat material pahat yang hilang dalam proses pembubutan dengan material kerja aluminium. Sedangkan foto makro dilakukan guna mengamati lebih jelas perubahan yang terjadi pada ujung pahat.





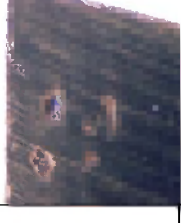
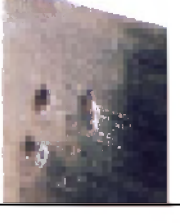

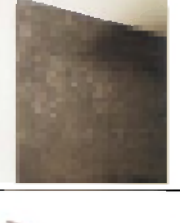


Hasil yang didapatkan dari penimbangan material pahat sebelum digunakan dan setelah digunakan dalam proses pembubutan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil penimbangan material pahat

No	Pahat	Berat Material yang hilang (gr)
1	A	0,0030
2	B	0,0019
3	C	0,0034
4	HSS	0,0009
5	Kikir	0,0015

Sedangkan visualisasi pada ujung material pahat yang didapatkan dari hasil foto makro dengan pembesaran 15 kali dapat dilihat pada gambar dalam Tabel 5.

Tabel 5 Hasil foto makro material pahat

Pa hat	Sebelum Pembubutan	Setelah Pembubutan
A		
B		
C		
HS S		
kiki r		

Pengujian kekasaran

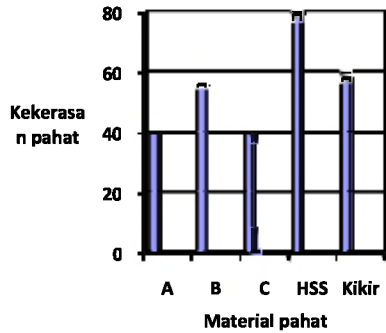
Pengujian kekasaran permukaan menghasilkan data berupa angka (nilai) kekasaran permukaan rata-rata (R_a). Data tersebut diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan alat ukur kekasaran (*surface tester*) terhadap material alumunium hasil pembubutan dari masing-masing pahat. Pengukuran tersebut dilakukan setelah material alumunium tersebut dibubut dengan memakai parameter kecepatan potong (V) 20,35 m/menit, panjang pemakanan (λ_f) 150 mm, kecepatan Pemakanan (v_f) 0,027 m/menit, kedalaman pemakanan (a) 0,5 mm, waktu pemotongan 66 menit pada mesin bubut dengan putaran *spindle* (n) 540 rpm dan media pendingin udara. Hasil pengujian kekasaran permukaan yang didapatkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 6..

Tabel 6. Hasil pengujian kerataan permukaan

No	Pahat	Nilai Kerataan (R_a)
1	A	3,965 μm
2	B	3.093 μm
3	C	3.417 μm
4	HSS	1.759 μm
5	Kikir	2,093 μm

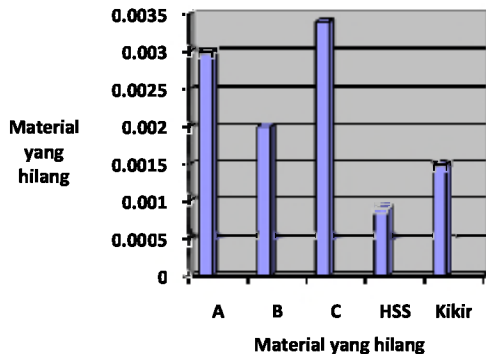
Hasil pengujian kekerasan

Berdasarkan data yang diperoleh seperti pada tabel 3 baja konstruksi yang telah mendapatkan pengerasan permukaan kekerasannya meningkat dari 31 HRc menjadi 40 HRc dengan menggunakan elektroda RD 718 dan elektrode NSN 312-16 meningkat 29%, dan meningkat 80% dengan menggunakan elektroda HV 600 kekerasannya mejadi 55,7 HRc. Adapun bahan pahat kikir bekas kekerasannya 57,8 HRc dan bahan pahat HSS 79 HRc.



Grafik 1 Kekerasan material pahat.

Peningkatan kekerasan ini dipengaruhi oleh komposisi kimia yang terdapat pada elektrode seperti pada tabel 2. Adapun unsur yang mempengaruhi kekerasan ini antara lain unsur C dan Cr yang dapat membentuk karbida pada permukaan pengelasan. Adapun proses pengerasan permukaan yang kekerasannya mendekati bahan pahat HSS adalah proses pengerasan permukaan dengan menggunakan elektrode HV 600 yang mempunyai kekerasan 55,7 HRc yang sama dengan bahan pahat dari kikir bekas yang mempunyai kekerasan 55,8 HRc.



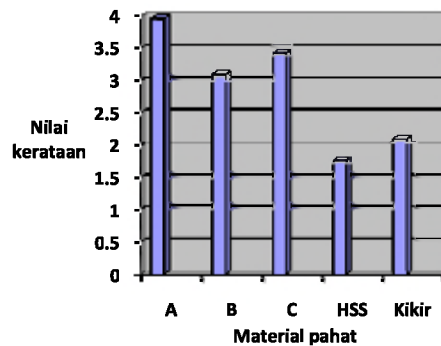
Grafik 2. Material yang hilang

Berdasar data yang diperoleh seperti pada tabel 4 dan grafik 2 material pahat yang hilang setelah digunakan untuk pembubutan tidak sama hal ini disebabkan, karena kekerasan tiap-tiap material pahat juga berbeda dari grafik 2 dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin material pahat keras maka kehilangan material pahat sedikit apabila dibandingkan material pahat yang

lunak, dari grafik 2 tersebut material yang paling sedikit berkurangnya adalah material pahat HSS sebesar 0,0009 gram selanjutnya diikuti oleh material lainnya seperti material kikir bekas 0,0015 gram, material pahat hard facing dengan menggunakan elektroda HV 600 sebesar 0,0019, NSN 312-6 sebesar 0,0030 gram serta RD 718 sebesar 0,0034 gram.

Hasil pengujian kerataan

Hasil pembubutan aluminium dengan pahat hard facing, kikir bekas dan HSS tingkat kerataan permukaan dengan menggunakan alat ukur *surface tester* yang memberikan Ra dalam bentuk nilai, semakin tinggi nilai Ra maka semakin besar tingkat kekasaran suatu bahan seperti terlihat pada grafik 3 di bawah ini:



Grafik 3. Nilai kerataan material pahat

Hasil kerataan permukaan (Ra) untuk pahat hard facing dengan elektroda HV 600, NSN 312-6, RD 718, kikir bekas, dan HSS masing-masing sebesar 3,093 μm , 3,965 μm , 3,417 μm , 2,093 μm dan 1,759 μm . Dari data hasil penelitian kekerasan pahat mempengaruhi hasil penelitian semakin keras material pahat maka hasil pembubutan semakin halus, untuk *hard facing* dengan menggunakan elektrode NSN 312-6, RD 718 dengan kekerasan yang sama tetapi menghasilkan kerataan yang berbeda hal ini disebabkan mata pahat dengan menggunakan elektrode NSN 312-6 mengalami kerusakan saat proses pembubutan hal ini dapat dilihat pada tabel 5 foto makro material pahat. Tingkat kekasaran material pahat dengan proses hard facing menurut ISO mempunyai angka kekasaran N 8 tingkat nilai kisaran Ra 3,2 μm dan untuk material kikir bekas dan HSS angka kekasaran N7 nilai kisaran kekasaran 1,6 μm . Geram merupakan bagian dari material

yang terbangun ketika dilakukan sebuah proses pemrosesan seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Bentuk geram *continuous chip*

Adapun bentuk geram yang dihasilkan pada penelitian ini bervariasi namun dilihat dari panjang pendeknya tatal, semuanya merupakan *continuous chip*.

KESIMPULAN

Dari hasil data dan pembahasannya, kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Bentuk tatal dari pembubutan dengan bahan pahat yang sudah mendapatkan pengerasan permukaan (*hard facing*), bahan pahat dari kikir bekas dan HSS berbentuk *continuous chip*.
2. Bahan pahat dari baja karbon yang telah mendapatkan pengerasan permukaan (*hard facing*) kekerasannya meningkat maksimum terjadi pada *hard facing* dengan elektroda HV 600 terjadi kenaikan 80 % dari kekerasan 31 menjadi 55,7 HRC sehingga paling tepat untuk bahan alternatif untuk pahat.
3. Keausan terendah pada pembubutan aluminium ini pada bahan pahat HSS, kikir bekas dan baja karbon pada *hard facing* dengan elektroda HV 600 masing-

masing besarnya 0,0009 gram, 0,0015 gram dan 0,0019 gram.

4. Angka kekasaran pada pembubutan aluminium dengan bahan pahat HSS dan bahan pahat kikir bekas berdasar angka kekasaran menurut DIN kelas kekasarannya N7 dan bahan pahat dari baja karbon dengan pengerasan permukaan dengan menggunakan elektroda HV 600 angka kekasarannya adalah N8.
5. Bahan pahat dari baja konstruksi setelah proses *hard facing* dengan elektroda HV 600 dan bahan pahat dari bahan kikir bekas dapat digunakan sebagai bahan alternatif pahat bubut untuk pembubutan aluminium.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM *Handbook, Volume 2., 1990, "Properties And Selection : Non Ferrous Alloys And Special Purpose Materials", published by ASM International, Materials Park.*
- ASM *Handbook, Volume 8., 1985, "Mechanical Testing", published by ASM International, Materials Park.*
- ASTM. D 790 – 02 *Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating material.* Philadelphia, PA : *American Society for Testing and Materials.*
- M. Di Pola., 1998, "*Mechanical And Microstructural Characterisation Of An Aluminum Friction Stir-Welded Butt Joint*", *Metallurgical Science And Technology.*
- Okumura T. & Wiryosumarto H., 1996, *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Pramita, Jakarta.