

KAJI EKSPERIMEN PERBAIKAN CACAT RONGGA BENDA CORAN MATERIAL FC 250 MELALUI PROSES PENGELASAN BERBASIS ELEKTRODA NIKEL

Reza Yadi Hidayat¹, Antonius Adi Soetopo², Syifa Khairani², Dede Buchori Muslim³, M. Nahrowi⁴

¹ Rekayasa Perancangan Mekanik, Jurusan Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

² Teknologi Manufaktur, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

³ Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

⁴ Teknologi Pengecoran Logam, Jurusan Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung

Jalan Kanayakan No. 21 Dago, Bandung Jawa Barat

ryadihidayat@gmail.com¹

Abstrak

Berdasarkan studi kasus dilapangan ditemukan produk hasil pengecoran yang mengalami cacat permukaan berupa rongga dan kemudian dilakukan perbaikan dengan metoda pengelasan berbasis elektroda nikel. Perbaikan ini dilakukan untuk menutup cacat rongga sehingga didapatkan bentuk benda coran yang sempurna. Material yang telah dilakukan proses pengelasan memiliki kekerasan yang berbeda dengan base materialnya sehingga menyulitkan dalam proses pemesinan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh pengelasan terhadap kemampuan material besi tuang kelabu yang dilakukan pengelasan ditinjau dari aspek keausan *cutting tools* dan *chip formation*. Sampel yang digunakan berbahan besi tuang kelabu yang diberi kampuh las pada permukaannya. Pengelasan menggunakan elektroda nikel CIN-1 dengan metode pengelasan SMAW (*shielded metal arc welding*). Pemotongan dilakukan dengan proses milling konvensional menggunakan *dovetail cutter* HSS. Pengamatan dilakukan melalui pengujian kekerasan pada base material, PMZ (*partially melted zone*), dan *weld metal* yang dilanjutkan dengan pengujian struktur mikro, pengukuran keausan serta *chip* yang terbentuk. Berdasarkan hasil pengamatan material FC 250 yang dilakukan proses pengelasan pada *based material* terlihat struktur mikro yang terbentuk berupa perlit dengan grafit berupa *flake* (serpih) yang tipis dan panjang. Struktur mikro pada PMZ terbentuk martensit dan karbida, sedangkan struktur mikro pada *weld metal* terdiri dari matriks *austenit* dengan persebaran partikel grafit yang merata. Struktur mikro yang terbentuk mempengaruhi nilai kekerasan pada material. Dari pengamatan, kekerasan antara *weld metal* dan *based material* tidak jauh berbeda yaitu 219 HV dan 224 HV. Kekerasan pada PMZ sebesar 385 HV.

Kata kunci : cacat rongga, besi tuang kelabu, hardness, dovetail cutter, uji metalografi.

Abstract

Based on the case study in the field, it was found that the casting product had surface defects in the form of cavities and was then repaired using a nickel electrode-based welding method. This repair was carried out to close the cavity defects so that a perfect casting shape was obtained. The material that has been welded has a different hardness from the base material, making it difficult to machining. This study aims to analyze the effect of welding on the ability of gray cast iron material that has been welded in terms of cutting tool wear and chip formation. The sample used was made of gray cast iron with a weld bead on its surface. Welding used a CIN-1 nickel electrode with the SMAW (shielded metal arc welding) welding method. Cutting was carried out using a conventional milling process using an HSS dovetail cutter. Observations were made through hardness testing on the base material, PMZ (partially melted zone), and weld metal which was continued with microstructure testing, wear measurement and chips formed. Based on the results of observations of FC 250 material that was welded on the base material, the microstructure formed was pearlite with graphite in the form of thin and long flakes. The microstructure in PMZ is formed by martensite and carbide, while the microstructure in weld metal consists of an austenite matrix with even distribution of graphite particles. The microstructure formed affects the hardness value of the material. From the observation, the hardness between weld metal and base material is not much different, namely 219 HV and 224 HV. The hardness in PMZ is 385 HV.

Key words : cavity defects, gray cast iron, hardness, dovetail cutter, metallographic test.

PENDAHULUAN

Proses pemesinan merupakan salah satu tahapan yang ada didalam proses manufaktur yang paling banyak dilakukan untuk menghasilkan suatu produk jadi yang berbahan baku logam. Diperkirakan sekitar 60% sampai 80% dari seluruh proses pembuatan suatu mesin dilakukan dengan proses pemesinan [1]. Proses pemesinan merupakan proses lanjutan dalam pembentukan benda kerja atau mungkin juga merupakan proses akhir setelah pembentukan logam menjadi bahan baku berupa besi tempa atau baja paduan atau dibentuk melalui proses pengecoran yang dipersiapkan dengan bentuk yang mendekati kepada bentuk benda yang sebenarnya.

Penggunaan bahan logam terutama besi cor sudah digunakan dalam lingkup yang luas. Besi tuang kelabu merupakan jenis besi cor yang paling banyak digunakan. Adapun sifat-sifat yang menguntungkan pada besi tuang kelabu antara lain mudah dalam proses pengecoran, tahan aus atau gesekan, faktor redam yang tinggi dan kekuatan tekan (*compressive strength*) yang tinggi, selain keuntungan-keuntungan tersebut, besi tuang kelabu juga mempunyai beberapa kekurangan antara lain mempunyai sifat getas, keuletan rendah, dan kurang mampu menahan tegangan akibat siklus pengelasan [2].

Kekurangan-kekurangan yang ada pada besi tuang kelabu tersebut menyebabkan besi tuang kelabu mempunyai sifat mampu las yang lebih rendah dibandingkan dengan besi cor yang lain. Proses pengelasan besi cor dapat dilakukan dengan menggunakan las busur terlindungi, las gas, las suhu kamar, las busur karbon, las busur gas mulia dan las termit [3]. Proses pengelasan besi cor banyak mempergunakan pengelasan dengan metode las busur listrik dengan elektroda terlindungi (*shielded metal arc welding*). Kajian pengaruh pengelasan besi cor FC 30 dengan metode *preheat* dan *post weld heat treatment* menggunakan elektroda paduan nikel telah dilakukan oleh Darul dan Helmy [4]. Proses perbaikan cacat dengan las dapat menghasilkan retak akibat terbentuknya besi cor putih, martensit yang disertai retak rambut (*fissures*), dan tegangan sisa serta sifat inheren dari besi cor [5].

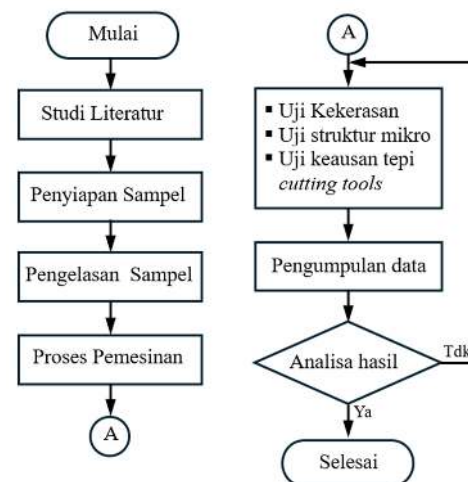
Produk yang terbuat dari logam mempunyai bentuk yang beraneka ragam. Karena bentuknya yang beraneka ragam tersebut maka proses pemesinan yang dilakukannya pun bermacam-macam sesuai dengan bidang yang dihasilkan yaitu silinder atau rata. Dalam proses pemesinan, benda kerja merupakan jenis material dengan sifat mekanis tertentu yang dipotong secara kontinu oleh pahat potong untuk menghasilkan bentuk sesuai keinginan,

oleh sebab itu perlu penyesuaian material pahat. Dalam proses pemesinan *cutting tools* memegang peranan penting.

Pemilihan material yang benar akan memperpanjang umur pahat dan menentukan hasil suatu proses. Proses pembentukan geram dengan cara pemesinan berlangsung dengan mempertemukan dua jenis material. Untuk menjamin kelangsungan proses ini maka jelas diperlukan material *cutting tools* yang lebih unggul daripada material benda kerja. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi pengaruh pengelasan terhadap kekerasan dan mikrostruktur material FC 250 dan perbedaan kekerasan yang terjadi terhadap *machinability* material ragum FC 250 ditinjau dari *cutting tools* dan *chip formation*.

METODE PENELITIAN

Langkah langkah penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut



Gambar 1 Metodologi penelitian

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu besi tuang kelabu FC 250 berjumlah lima set dengan tebal 10 mm. Komposisi kimia dan sifat mekanis dari bahan tersebut merujuk pada [6] dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Komposisi kimia besi tuang kelabu dalam persen

C	Si	Mn	P	S	Cr
3,15	1,52	0,50	0,01	0,06	0,05

Tabel 2 Sifat mekanis besi tuang kelabu FC 250

Sifat Mekanis	Nilai
Kekerasan	170 – 229 HBN
Tegangan tarik (min)	25000 psi [17,5 kg/mm ³]
Tegangan geser (min)	2000 lb [910 kg]
Defleksi (min)	0,17 inch [4,3 mm]

4.1. Proses Pemesinan

Proses pemesinan adalah proses pembentukan geram (*chip*) akibat *tools*, yang dipasangkan pada mesin perkakas yang bergerak relatif terhadap benda kerja yang dicekam pada daerah kerja mesin perkakas. Elemen dasar proses pemesinan yaitu:

a. Kecepatan potong (*cutting speed*) ; v (m/min)

Kecepatan potong (*cutting speed*) ditentukan oleh kombinasi material pisau dan material benda kerja. Adapun rumus kecepatan potong untuk mesin frais yaitu:

$$V = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$$

Dimana,

V = Kecepatan potong [m/min]

D = Diameter *cutter* [mm]

n = Putaran spindle per menit [rpm].

b. Kecepatan makan (*feed rate*) ; vf (mm/min)

Feed rate dalam proses frais ditentukan oleh:

1. Jumlah gigi *cutter*
2. Gerak pemakanan yang bekerja tiap gigi (*feed per tooth*)
3. Putaran spindle

$$Vf = n \times fz \times Z$$

Dimana:

Vf = Kecepatan pemakanan [mm/min]

n = Putaran spindle mesin [rpm]

Fz = Gerak makan per gigi

Z = Jumlah gigi pada *cutter*.

c. Kedalaman potong (*depth of cut*)

Pemodelan Kedalaman potong (*depth of cut*) adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong

d. Kecepatan penghasil geram (*rate of metal removal*) ; Z (cm³/min)

Volume penghasil jumlah geram dalam satu menit.

$$Z = \frac{w \times a \times Vf}{1000}$$

Dimana,

W = Lebar pemotongan [mm]

a = Kedalaman pemotongan [mm]

Vf = Kecepatan makan [mm/min].

4.2. Cutting Tools

Cutting tools yang digunakan pada mesin perkakas untuk melakukan proses pemesinan, merupakan komponen utama. Penggunaan pisau frais tergantung dari jenis pekerjaan yang akan dilakukan pengefraisan.

Keunggulan tersebut dilihat dari segi (Rochim, 1993):

1. Kekerasan
2. Keuletan
3. Ketahanan dan beban kejut termal
4. Sifat adhesi yang rendah
5. Daya larut elemen atau komponen material *cutting tools* yang rendah.

Berikut merupakan urutan *material cutting tools* dari yang paling lunak tetapi ulet sampai paling keras tetapi getas (Rochim, 1993):

- a. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)
- b. HSS (*High Speed Steels; Tool Steels*)
- c. Paduan Cor Nonferro (*Cast Nonferrous Alloys;*)
- d. Karbida (*Cemented Carbides; Hardmetals*)
- e. Keramik (*Ceramics*)
- f. CBN (*Cubic Boron Nitrides*)
- g. Intan (*Sintered Diamonds dan Natural Diamond*)

Elektroda dan Proses Pengelasan

Jenis elektroda (*filler metal*) yang digunakan dalam pengelasan ini adalah AWS A5.15 – ENi- CI (paduan nikel) dengan diameter 3,2 mm. Kandungan tipe logam las dan sifat mekanis dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut:

Tabel 3 Komposisi kimia nikel based filler metal

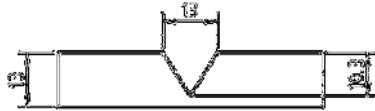
Fe	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu
0,55	1,00	0,01	0,3	0,001	0,01	85 Balance	-

Tabel 4 Sifat mekanis Eni-CI (AWS A5.15)

Sifat Mekanis	Nilai
Tegangan tarik	275 N/mm ²
Pemuluran	8 %
HV	140 - 160

Proses pengelasan yang digunakan yaitu SMAW. Jenis pengelasan ini biasa disebut pengelasan batang atau elektroda berpenutup, yaitu proses pengelasan manual yang menghasilkan busur

antara elektroda habis pakai berpenutup fluks dan benda kerja. Proses ini menggunakan penguraian lapisan fluks untuk menghasilkan gas pelindung dan menyediakan elemen fluks untuk melindungi tetapan logam las cair dan kolam las [7]. Jenis sambungan yang digunakan seperti yang terlihat pada Gambar 2, dengan parameter seperti pada Tabel 5.



Gambar 2 Desain kampuh las

Tabel 5 Parameter pengelasan

Material Benda Kerja	
Bahan	Besi tuang kelabu
Panjang	150 mm
Lebar	100 mm
Tebal	10 mm
Karakteristik Las Spesimen	
Tegangan	21 – 24 volt
Arus	90 – 100 Ampere
Kecepatan Pengelasan	60 – 80 detik
Filler Metal	
Kawat las	CIN-1
Diameter kawat	3,2 mm
Posisi dan Arah Pengelasan	
Arah Pengelasan	Kanan ke kiri
Posisi Pengelasan	Flat position

Proses Permesinan

Proses pemesinan menggunakan mesin frais konvensional dengan *dovetail cutter* HSS Ø 35x600. Parameter proses pemesinan merujuk pada [8] seperti pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6 Parameter proses pemesinan

Parameter Pemesinan	Perhitungan	
Kecepatan potong (Vc)	$V_c = \frac{\pi \times \phi \times n}{1000}$	17 m/min
Kecepatan spindel (Rpm)	$n = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times \phi}$	154,6 rpm
Kecepatan pemakanan	$F = n \times f \times z$	185,5 mm/min
Kedalaman pemakanan	-	1 mm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur yang terbentuk setelah semua proses yang diberikan. Pengujian struktur mikro terletak pada daerah logam induk (*based material*), PMZ

(*partially melted zone*), logam las (*weld metal*). Pengamatan dilakukan dengan perbesaran 100x pada mikroskop optik. Dari hasil pengamatan diperoleh data hasil pengujian struktur mikro. Struktur mikro *base material* perbesaran 100x dengan etsa 2% nital selama dua detik dapat dilihat Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Struktur mikro material dasar

Pada daerah *base material* terlihat matriks yang terbentuk berupa *perlite* dengan grafit berupa *flake* (serpih) yang tipis dan panjang. Sedangkan matriksnya berupa *perlite*. Pada daerah *base material* ini material tidak ikut melebur dan bercampur dengan filler metal. Struktur matriks yang terbentuk ini menyebabkan nilai kekerasan yang tinggi pada *based material*. Struktur mikro *Weld metal* perbesaran 100x dengan etsa 2% nital selama dua detik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Struktur mikro weld metal

Setelah mengetahui besaran putaran yang diinginkan pada *pulley driven* (N_1) yaitu sebesar 100 rpm, maka bisa ditentukan diameter *pulley driven* (D_2) agar mentransmisikan putaran sebesar 50 rpm pada *screw extruder*. Maka Jika N_1 merupakan putaran setelah melalui reducer (100 rpm) dengan diameter *pulley driven* (D_1) 100 mm. Hasil pengamatan struktur mikro di bagian *weld metal* ini terdiri dari matriks *austenit* dengan persebaran partikel grafit yang merata. Elektroda nikel dapat mengendapkan karbon, diambil dari *based material* dan ini adalah bentuk bebas sebagai grafit. Struktur mikro *partially melted zone* dengan etsa 2 % nital selama dua detik dapat dilihat pada Gambar 5. *Partially melted zone* pada lasan merupakan batas antara HAZ dan *weld metal*. Daerah tersebut terjadi karena panas yang terjadi sangat tinggi dan mencapai temperatur cair *based material*. Logam cair pada *partially melted zone* sama dengan cairan pada komposisi *eutektik* pada besi cor, logam cair ini

dapat membeku dengan laju pendinginan yang tinggi sehingga menghasilkan struktur besi cor putih (karbida) yang bersifat keras dan getas. Struktur mikro pada daerah mencair terdiri dari campuran martensit dan karbida. Tingginya nilai kekerasan yang terbentuk berakibat pada rendahnya ketangguhan *partially melted zone* yang berdekatan dengan daerah fusi. Pembentukan struktur keras dihasilkan oleh difusi karbon dari grafit ke daerah matriks disekitarnya. Pada daerah PMZ matriks logam di dekat grafit primer akan meleleh selama proses las. Pada bagian ini sangat kaya karbon oleh karena itu, laju pendinginan yang cepat pada saat pengelasan akan menyebabkan terbentuknya karbida dan *martensit* dari cairan saat logam las dingin.



Gambar 5 Struktur mikro *partially melted zone*

Pengujian Kekerasan

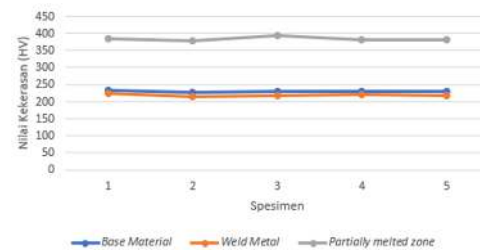
Variasi kekerasan hasil pengujian pada seluruh bagian lasan merupakan salah satu faktor yang sangat penting untuk mengevaluasi spesimen. Pengambilan data pada uji kekerasan dilakukan dengan lima titik indentasi pada masing-masing bagian kemudian diambil rata-ratanya masing bagian kemudian diambil rata-ratanya seperti pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7 Pengujian kekerasan

Spesimen uji	Based material (HV)	Weld metal (HV)	Partially melted zone (HV)
1	229	224	384
2	216	214	380
3	223	219	395
4	223	221	383
5	229	217	383

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, PMZ memiliki nilai kekerasan tertinggi. Hal ini dikaitkan dengan struktur mikro yang terbentuk pada daerah ini terdiri dari sementit dan juga *martensit*. Sementit memiliki kekerasan 65 – 68 HRC. Pada *weld metal* memiliki nilai kekerasan yang sebanding dengan *based material* hal ini disebabkan karena struktur *austenite* yang terbentuk. Pada daerah *weld metal* rata-rata nilai kekerasan yang didapat sebesar

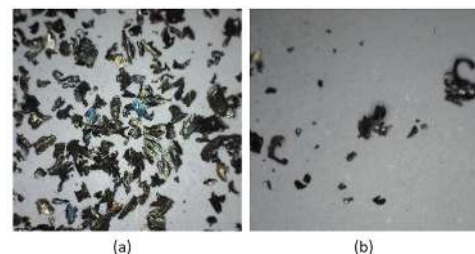
219 HV. Dengan kekerasan sebesar 219 HV apabila dikonversi kedalam satuan HB maka memiliki nilai kekerasan sebesar 212 HB. Nilai kekerasan pada *weld metal* ini apabila dibandingkan dengan nilai kekerasan besi cor FC 250 data dari ASTM 40 masih masuk kedalam range kekerasan *grey cast iron* yaitu 180 – 302 HB. Grafik pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik pengujian kekerasan

Chip Information

Karakteristik *chip* yang dihasilkan dari proses pemesinan *based material* dan hasil lasan adalah sama yaitu *discontinuous chip*. Akan tetapi untuk ukuran dari *chip* yang dihasilkan berbeda, hasil lasan akan menghasilkan *discontinuous chip* yang lebih besar dan panjang dibanding *based material*. Kondisi hasil *chip* besi tuang kelabu dan *nickel filler metal* dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 Kondisi chip hasil pemesinan, (a) besi tuang kelabu, (b) *nickel filler metal*

Cutting Tools

Selama proses pemesinan berlangsung terjadi interaksi antara *cutting tools* dengan benda kerja. Pada saat proses pemesinan terjadi keausan, keausan bukan hanya proses tunggal, tetapi beberapa proses berbeda yang dapat berlangsung secara independen atau bersamaan. Pahat dapat mengalami kegagalan dengan tiga macam cara berbeda, yaitu perpatahan nyata, deformasi plastis dan keausan bertahap. Dua cara pertama mewakili kegagalan dini dari pahat. Keausan bertahap adalah hal yang tidak dapat dicegah dan biasanya telah diperkirakan secara alami pada proses pemotongan logam. Keausan pahat digunakan untuk mengevaluasi kinerja *cutting*

tools. Pada penelitian ini ditemukan fenomena yang menyebabkan keausan pada *cutting tools*.

1. Abrasive Wear

Proses abrasif terjadi karena material benda kerja mengandung matriks dari fase yang keras, dimana kekerasannya lebih besar daripada permukaan material *cutting tools*. Partikel keras pada benda kerja yang menggesek bersama-sama dengan aliran material benda kerja pada bidang geram dan bidang utama *cutting tools* akan menimbulkan abrasif. Pada saat pemesinan menggunakan HSS, mekanisme keausan abrasif yang terjadi pada permukaan cawah (*carter*) secara substansial mirip dengan yang terjadi pada bagian *flank*. Partikel keras yang ada dalam struktur besi tuang kelabu yang berupa karbida akan menyebabkan kerusakan pada permukaan *cutting tools* HSS yang sebagian besar strukturnya terdiri atas martensit atau karbida dengan persentase pengikat cobalt yang cukup besar. Proses abrasif merupakan faktor dominan yang menjadi penyebab keausan pada pahat HSS dengan kecepatan potong yang relatif rendah (sekitar 10 m/min – 20 m/min).

2. Deformasi Plastis

Kekuatan *cutting tools* untuk menahan tegangan tekan (*compressive stress*) merupakan sifat material dari *cutting tools* yang dipengaruhi oleh temperatur. Deformasi plastis disebabkan oleh tekanan dan temperatur yang tinggi pada bidang aktif *cutting tools* dimana kekerasan dan kekuatan material *cutting tools* akan turun bersamaan dengan naiknya temperatur. Deformasi akibat tegangan tekan dimulai pada bagian pojok pahat.

3. Surface Burning

Surface burning pada *cutting tools* ditandai dengan perubahan warna dari permukaan *cutting tools*. Secara visual perubahan warna yang terjadi adalah dari warna coklat cerah berangsur-angsur berubah menjadi lebih gelap hingga menjadi warna biru kehitaman. Perubahan warna ini merupakan indikator bahwa kerusakan termal.

4. Flank Wear dan Carter Wear

Karena bentuk dan letaknya yang spesifik, keausan pada bidang geram disebut dengan keausan kawah (*crater wear*) dan keausan pada bidang utama atau mayor dinamakan keausan tepi (*flank wear*). *Flank* merupakan sisi samping muka *cutting tools* dimana terletak tepi potong utama. Ini merupakan bagian *cutting tools* yang berkontak langsung dengan benda kerja dan menahan gaya pemakanan.

Keausan ini bermula dari tepi potong dan terus melebar.

Pengukuran Keausan Pada Bagian Flank

Dengan menggunakan parameter nilai V_c , Doc , Rpm dan F_z yang sama dengan pemakanan sebanyak 10 kali pada material akan menimbulkan keausan pada *dovetail cutter* sebesar 0,645 mm. Menurut ISO 3685 batas aus sisi atau tepi *cutting tools* adalah 0,3 mm. Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan mesin frais terhadap pemesinan kering besi tuang kelabu yang dilakukan proses pengelasan menggunakan *cutter dovetail* HSS didapat data pada kondisi pemotongan spesimen ketiga sudah melebihi batas aus pahat yaitu 0,345 mm. Kondisi keausan pahat dengan kondisi $V_c=17$ m/min, $rpm = 154$ mm/min, $F_z=185$ mm/min, dan $a = 1$ mm dapat dilihat pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8 Kondisi keausan pahat

Spesimen	Urutan pemakanan	V_b [mm]	Waktu [min]
1	Ke-1	0,081	3,45
	Ke-2	0,134	6,9
2	Ke-3	0,222	10,35
	Ke-4	0,27	13,8
3	Ke-5	0,345	17,25
	Ke-6	0,39	20,7
4	Ke-7	0,461	24,15
	Ke-8	0,516	27,6
5	Ke-9	0,596	31,05
	Ke-10	0,645	34,5

Dapat dilihat pertumbuhan pada batas aus tepi (*flank wear*) terjadi setelah proses pemakanan ke- 5 dengan waktu pemotongan selama 17 menit 25 detik.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Pengelasan pada ragum R125 mengakibatkan terjadinya perbedaan kekerasan pada daerah *weld metal*, *partially melted zone* dan *based material*. Kekerasan tertinggi berada pada daerah *partially melted zone* sebesar 385 HV sedangkan pada daerah *weld metal* memiliki kekerasan yang sebanding dengan *based material* sebesar 219 HV. Mikrostruktur yang terbentuk akibat proses pengelasan yaitu:
 - Pada bagian *weld metal* terbentuk struktur mikro *austenite* dengan sebaran *grafit flake* yang merata.

- b. Pada bagian *partially melted zone* terbentuk mikrostruktur *martensit* dan juga karbida.
- c. Pada bagian *based material* struktur mikro yang terbentuk berupa *grafit flake* dengan sebaran merata.
2. Perbedaan kekerasan yang terjadi akibat proses pengelasan serta kondisi pemotongan dengan kecepatan potong, putaran spindel, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan yang sama berdampak terhadap *cutting tools* yang menyebabkan timbulnya fenomena *abrasive wear* yang mengakibatkan terjadinya keausan pada bidang utama (*flank wear*), keausan pada bidang geram (*crater wear*), deformasi plastis dan terjadi *surface burning* pada *cutting tools*. Perbedaan material benda kerja dan struktur mikro menyebabkan perbedaan karakteristik *chip* yang terbentuk.
- [8] T. Rochim, *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*, 1st ed. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 1993.
- [9] Agus, D., & Purnomo, H. (2018). "Analisis Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Hasil Repair Welding Besi Cor Kelabu FC 250." *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 85-92.
- [10] Suratman, M. (2019). "Teknik Mengelas Logam Besi Cor dengan Las Busur Listrik." Pustaka Grafika, Bandung.
- [11] Suratman, M. (2019). "Teknik Mengelas Logam Besi Cor dengan Las Busur Listrik." Pustaka Grafika, Bandung.
- [12] Suyitno, B., & Pratama, R. (2020). "Optimasi Parameter Pengelasan Repair pada Besi Cor FC 250 Menggunakan Elektroda Nikel." *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 13(2), 71-78.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih atas kerjasama dan kolaborasi dari seluruh staf Laboratorium Pengecoran Logam dan Laboratorium Pemesinan Dasar Politeknik Manufaktur Bandung yang telah mendukung penelitian ini secara maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Rochim, *Klasifikasi Proses Gaya dan Daya Pemesinan*, Buku 1. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2007.
- [2] T. Surdia and S. Saito, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Keempat. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1999. [Online]. Available: <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/86075>.
- [3] H. Wiryosumarto and T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, vol. 8. 2000.
- [4] D. Iman and H. Purwanto, "Pengaruh Pengelasan Besi Cor FC Dengan Metode Preheat dan Post Weld Heat Treatment Menggunakan Elektroda Paduan Nikel," vol. 17, no. 1, pp. 13–17, 2021.
- [5] M. S. Permana, R. Suratman, and B. Tarigan, "Bagaimana Memperbaiki Cacat Permukaan pada Komponen yang Terbuat dari Besi Cor," *Proceeding Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XI*, no. SNTTM XI, pp. 1647–1656, 2012.
- [6] *ASTM A 159-83 (2001) Standar Spesifikasi for Automotive Gray Iron Castings*. 2001.
- [7] D. L. Olson, T. A. Siewert, S. Liu, and G. R. Edwards, *ASM Handbook Volume 6: Welding, Brazing, and Soldering*, vol. 6. 1993.