

Analisa Mampu Las Material besi Tuang Memanfaatkan Elektroda Nikel (Studi Kasus komponen *Cylinder Head Pc750se-7* Yang Mengalami *Fretting*)

K. A. Widi, W. Sujana, T. Rahardjo

Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang

Email : aswidi@lecture.itn.ac.id

Abstrak

Tujuan pengembangan metode ini adalah berdasarkan studi kasus dilapangan dimana ditemukan banyak sekali komponen barbahan baku besi tuang yang yang sudah tidak bisa dimanfaatkan lagi. Tidak berfungsinya komponen-komponen tersebut sebagian besar diakibatkan karena terjadi kegagalan produk baik saat diaplikasikan maupun saat proses manufaktur pembuatannya. Dengan demikian, peneliti mencoba mencari solusi terhadap permasalahan tersebut yaitu dengan mencari metode manufaktur yang tepat, efisien dan praktis untuk dikembangkan dalam memperbaiki kegagalan yang umumnya terjadi pada komponen tersebut. Adapun kegagalan yang sering terjadi diantaranya adalah kegagalan akibat retak dan fretting.

Besi cor memiliki kadar karbon yang tinggi (lebih dari 2 wt%) sehingga mempunyai sifat mampu las (weldability) yang kurang baik. Pada penelitian ini akan memanfaatkan komponen cylinder head PC750SE-7 yang terbuat dari besi cor kelabu FC250 yang mengalami kegagalan fretting. Tingkat kegagalan ini akan diamati memanfaatkan pengujian tidak merusak (NDT) dengan metode dye penetrant. Produk gagal tersebut selanjutnya akan dilakukan analisa dengan menerapkan metode pengelasan. Pengamatan akan dilakukan pada sifat mekanis berupa kekerasan pada base metal, HAZ (heat affected zone), PMZ (partially melted zone), weld metal, hasil lasan pada permukaan dan retak las, serta struktur mikro. Proses pengelasan menggunakan SMAW (shielded metal arc welding) dengan elektroda nikel CIN-1 dengan proses perlakuan panas preheat 200⁰C dan PWHT (post weld heat treatment) 600⁰C. Untuk meningkatkan kemampuan las, pada penelitian ini juga memanfaatkan proses normalisasi setelah proses pengelasan. Pengamatan juga akan dilakukan berupa kekerasan dan SEM/EDAX.

Dari pengamatan, kekerasan antara weld metal dan base metal tidak jauh berbeda yaitu 24,36 HRC dan 27,32 HRC. Kekerasan pada PMZ sebesar 769,72 HV. Hasil pada permukaan hasil lasan baik karena tidak adanya indikasi crack/retak dan porositas yang diuji dengan dye penetrant. Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro terlihat matriks yang terbentuk berupa perlit dengan grafit berupa flake (serpih) yang tipis dan panjang. Struktur mikro pada PMZ terbentuk eutektik ledeburit dan pada HAZ terbentuk struktur martensit. Sedangkan struktur mikro pada weld metal terdiri dari matriks austenit dengan persebaran partikel grafit yang merata.

Kata Kunci : Nitriding, Anealing, Normalising, Baja, Besi Tuang, SEM/EDAX

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini sangat mempengaruhi kehidupan manusia yang secara langsung di berbagai bidang, terutama di bidang konstruksi dan pemesinan. Sebagai contoh besi cor, besi cor (*cast iron*) adalah besi-karbon dan silikon dengan kadar C lebih dari 2% (ASM Handbook Vol.1). Besi cor banyak digunakan dikomponen otomotif maupun mesin sebagai contoh *cylinder head*. Oleh karena itu, tak heran dari beberapa *cylinder head* yang mengalami kerusakan seperti *fretting*. *Fretting* adalah sebuah fenomena yang terjadi antara dua permukaan yang saling terhubung, dengan adanya getaran dan menerima beban siklik dari *engine* sehingga menyebabkan objek yang terhubung mengalami pengikisan dan menimbulkan coakan. Salah satu cara perbaikan adalah dengan pengelasan. Besi cor mempunyai sifat mampu las (*weldability*) yang rendah sehingga perlu prosedur pengelasan yang benar. Pengelasan yang digunakan menggunakan metode SMAW dengan menggunakan elektroda nikel dengan perlakuan *preheat* dan PWHT (*Post Weld Heat Treatment*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

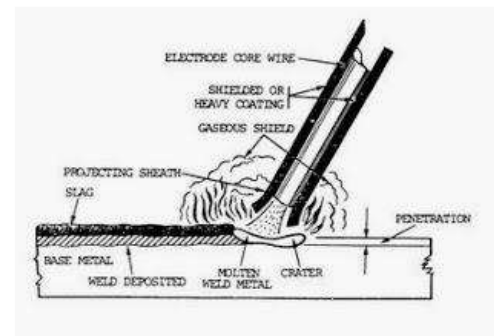
2.1. Pengelasan (*welding*)

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasian pada waktu ini dapat dibagi dalam dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan berdasarkan energi yang digunakan. Diantara kedua klasifikasi tersebut diatas, terlihat klasifikasi berdasarkan cara kerja lebih banyak digunakan. Perincian lebih lanjut dari klasifikasi ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

2.2. Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah proses las busur manual dimana panas pengelasan dihasilkan oleh

busur listrik antara elektroda terumpan berpeling flux dengan benda kerja kerja. Energi panas yang digunakan untuk mencairkan logam berasal dari elektroda mampu mencapai 60000C. Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan flux yang digunakan. Berdasarkan jenis arusnya, pengelasan ini dibagi atas arus AC dan DC, dimana arus DC dibedakan atas *straight polarity* (polaritas lurus) dan *reverse polarity* (polaritas terbalik). Sedangkan mesin lasnya terbagi atas dua jenis yaitu *constant current* (arus tetap) dan *constant voltage* (tegangan tetap).



Gambar 1 Las Busur dengan Elektroda Terbungkus

SMAW adalah proses las busur listrik paling sederhana dan paling serba guna. Karena sederhana dan mudah dalam mengangku peralatan dan perlengkapannya, membuat proses SMAW ini mempunyai aplikasi luas mulai dari perbaikan perpipaan sampai jalur perpipaan, dan lain-lain. SMAW bisa dilakukan pada berbagai posisi atau lokasi yang bisa dijangkau dengan sebatang elektroda. Sambungan-sambungan pada daerah dimana pandangan mata terbatas masih bisa dilas dengan cara membengkokkan elektroda. Proses SMAW digunakan untuk mengelas berbagai macam logam ferrous dan non ferrous, termasuk baja karbon dan baja paduan rendah, baja tahan karat, paduan-paduan nikel, besi cor dan beberapa paduan tembaga.

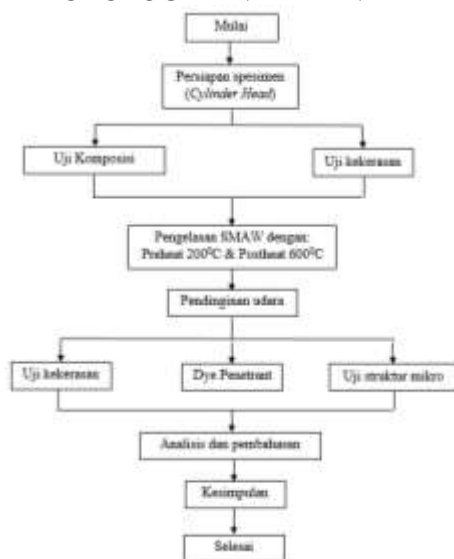
Meskipun SMAW adalah proses pengelasan dengan daya guna tinggi, proses ini mempunyai beberapa karakteristik dimana laju pengisiannya lebih rendah dibandingkan proses pengelasan semi-otomatis atau otomatis. Panjang elektroda

tetap dan pengelasan harus dihentikan setelah sebatang elektroda terbakar habis. Slag atau terak yang terbentuk harus dihilangkan dari lapisan las sebelum lapisan berikutnya didepositkan. Dibutuhkan juru las yang sangat terampil untuk dapat menghasilkan pengelasan berkualitas.

2.3. Besi Cor (Cast Iron)

Pada umumnya besi cor, seperti halnya baja yang pada dasarnya adalah paduan antara besi (Fe) dengan zat arang (C) dengan kadar C lebih dari 2% (ASM Handbook Vol.1). Semakin tinggi kadar karbon yang ada pada besi cor akan menyebabkan besi cor rapuh/getas. Selain itu besi cor juga mengandung silikon (Si), mangan (Mn), fosfor (P), dan sulfur (S). selain itu juga terdapat unsur-unsur lain yang ditambahkan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Dari warna patahannya dapat dibedakan 3 jenis besi cor yaitu besi cor putih yang terdiri dari struktur ledeburit (coran keras), struktur campuran antara perlit dengan ledeburit yang disebut besi cor meliert dan struktur perlit dan ferit serta ledeburit masih terdapat sejumlah unsur karbon dalam bentuk koloni ferit yang disebut besi cor kelabu. Jenis dari ketiga besi cor tersebut sangat tergantung dari kandungan dan komposisi antara C dan Si serta laju pendinginannya dimana laju pendinginan yang tinggi menghasilkan struktur besi cor putih sedangkan laju pendinginan lambat akan menghasilkan pembekuan kelabu.

3. METODOLOGI PENELITIAN



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur pembentuk yang ada pada *cylinder head* PC750SE-7 yang mengalami kerusakan ini. Pengujian ini dilakukan menggunakan *spectrometer*. Pengujian dilakukan di PT. Ispat Indo Surabaya. Dengan diketahuinya kandungan yang terdapat pada material ini bisa berguna untuk mengetahui sifat dan karakteristik material serta prosedur untuk memperbaikinya agar tidak adanya kecacatan pada hasil perbaikan. Berikut data hasil pengujian komposisi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil uji komposisi

C %	Mn %	P %	S %	Si %
3.65	0.477	0.034	0.057	1.95

Sn %	Al %	Cr %	Cu %	Ni %	Nb %
0.036	0.005	0.27	0.75	0.014	0.002

V %	Ca %	Mo %	Co %	B %	W %
0.0031	0.00033	0.22	0.0009	0.00045	0.0053

Dari hasil pengujian komposisi diketahui kandungan karbon yang cukup tinggi yaitu 3.65% C. Hal ini menyebabkan material yang keras dan getas, menyebabkan mampu lasnya menjadi rendah karena sifat material tersebut. Material yang keras dan getas ini rawan mengalami *crack* apabila salah dalam prosedur pengelasan. Karena material yang keras dan getas memiliki konsentrasi tegangan yang tinggi.

Data Hasil Pengujian Kekerasan

Setelah melakukan penelitian, pengamatan, pengukuran serta pengujian pada spesimen dengan menggunakan alat uji kekerasan yaitu *portable hardness tester* dan alat uji kekerasan *micro vickers* pada empat daerah yang berbeda, yaitu daerah logam induk (*base metal*), HAZ (*heat affected zone*),

PMZ(*partially melted zone*), dan logam las (*weld metal*). Pengambilan data pada uji kekerasan dilakukan dengan 5 titik indentasi pada masing-masing bagian kemudian diambil rata-ratanya, maka didapat data pada tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2 kekerasan pada logam induk sebelum dilakukan perlakuan

Titik uji	Cylinder Head (HRC)
1	25,8
2	28,8
3	26,7
4	25,8
5	23,5
Rata"	26,12

(Sumber: Pengujian langsung dengan menggunakan *portable hardness tester*)

Pengujian kekerasan sebelum proses perbaikan adalah untuk mengetahui apakah ada perubahan kekerasan akibat dari operasional kerja mesin selama (± 14.000 jam). Kemudian setelah proses pengujian dilakukan lagi pengujian kekerasan dengan hasil sebagai berikut pada tabel 3.

Tabel 3 tabel kekerasan cylinder head setelah pengelasan

NO	Base metal (HRC)	PMZ (HV)	Weld metal (HRC)
1	26,9	527,5	18,3
2	26,4	913,2	31,5
3	28,2	810,6	23,3
4	28	921,3	21,5
5	27	676,0	27,2
Rata"	27,32	769,72	24,36

(Sumber: Pengujian langsung dengan *micro vickers*)

Analisa Data Hasil Pengujian Kekerasan

Berdasarkan data pengujian yang telah dilakukan di PT. Komatsu Remanufacturing Asia dan Lab. Pengujian Bahan Universitas Brawijaya. Pengujian yang dilakukan dengan mengukur nilai kekerasan pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Nilai kekerasan dapat dilihat pada tabel 2 sebelum perlakuan yaitu **26,12 HRC** kemudian kekerasan meningkat setelah dilakukan perbaikan yaitu yaitu **27,32 HRC**. Nilai kekerasan pada *weld metal* lebih rendah disebabkan logam penggunaan logam pengisi dari paduan nikel yang memiliki keuletan

yang tinggi. Pada daerah matriks austenit dengan persebaran partikel grafit yang merata. Kekerasan pada *weld metal* tetap mempertimbangkan kekerasan *gray cast iron* dan masih masuk dalam kategori kekerasan *gray cast iron*. Logam las ini sengaja digunakan karena bertujuan untuk meredam tegangan thermal yang terjadi selama proses pengelasan dan menghindari struktur yang keras di HAZ ataupun PMZ.. Selain itu elektroda nikel juga baik untuk penahanan korosi ketika *cylinder head* kembali dioperasikan.

Pada daerah *weld metal* nilai kekerasan yang didapat sebesar **24,36 HRC**. Dengan kekerasan sebesar **24,36 HRC** ini apabila dikonversi kedalam satuan BHN maka berkisar **242-252 BHN**. Nilai kekerasan ini apabila dibandingkan dengan nilai kekerasan besi cor FC250 dan data dari ASTM 40 masih masuk dalam range kekerasan *gray cast iron* yaitu **180-302 BHN**. Sehingga target untuk memenuhi syarat kekerasan dengan menggunakan elektroda nikel ini terpenuhi. Struktur pada *weld metal* dapat diperlihatkan pada gambar 25.

Untuk nilai kekerasan pada PMZ dan HAZ belum bisa dibahas dan menjadi acuan karena pada saat pengujian hasil dari alat pengujian tidak relevan.

Data Hasil Pengujian Dengan Dye Penetrant

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui adanya indikasi *crack* atau porositas pada bagian permukaan *cylinder head*. Alat uji yang digunakan adalah *spotcheck dye penetrant* merupakan salah satu pengujian tidak merusak (*Non Destructive Test*). Berikut ditunjukkan pada gambar 20 *cylinder head* sebelum dilakukan pengujian.



Gambar 20 Foto permukaan *cylinder head* setelah proses *cutting*

Dari gambar masih terlihat perbedaan warna antara logam induk (*base*

metal) dengan logam lasnya (*weld metal*) walaupun telah dilakukan proses *cutting* dengan mesin *milling*. Hal ini disebabkan karena perbedaan material antara *base metal* dan *weld metal*nya sehingga untuk penyeragaman warna sulit didapatkan. Yang terpenting adalah permukaan tersebut sudah sangat rata dan diukur dengan dial indikator. Logam las dan logam induk sulit untuk diseragamkan warnanya karena perbedaan material yang digunakan. Sebelum dilakukan penyemprotan dengan penetrant permukaan harus dibersihkan dulu dengan *thinner/cleaner*. Selanjutnya disemprotkan penetrant secukupnya seperti terlihat pada gambar dibawah 21.



Gambar 21 Foto permukaan *cylinder head* setelah diberi penetrant

Diamkan beberapa saat hingga cairan penetrant meresap merata. Kira-kira sekitar ± 15 menit, semakin lama dibiarkan maka semakin bagus karena cairan benar-benar meresap. Tahapan ini sangat penting sebagai penentu keberhasilan pengujian. Selanjutnya pemberian *developer* seperti gambar dibawah 22.



Gambar 22 Foto permukaan *cylinder head* setelah diberi *developer*

Dari gambar 22 terlihat bahwa tidak ada indikasi *crack* pada permukaan *cylinder head*. Hal ini dibuktikan dengan masih mulusnya serbuk *developer* yang berwarna putih menempel di *cylinder head*. Apabila ada indikasi *crack* maka akan muncul garis merah akibat akibat akibat daricairan penetrant tersebut. Dengan kata lain penggunaan elektroda berbasis nikel terbukti efektif untuk mencegah porositas maupun *crack* pada

permukaan *cylinder head* ini. Hanya saja perlu diuji struktur mikro untuk mengetahui hasil sambungan las pada daerah didalamnya.

Pengujian Struktur Mikro

Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur yang terbentuk setelah semua proses yang diberikan. Pengujian struktur mikro terletak pada daerah logam induk (*base metal*), HAZ (*heat affected zone*), logam las (*weld metal*). Dari hasil pengamatan diperoleh data hasil pengujian struktur mikro sebagai berikut:



----- = *fusion line*

Gambar 24 Struktur mikro pada base metal, haz, dan weld metal (Perbesaran 400x)



----- = *fusion line*

Gambar 25 Struktur mikro pada base metal, haz, dan weld metal (Perbesaran 400x)

Analisa Hasil Pengujian Mikro

Pengujian struktur mikro (metalografi) dilakukan di Lab. Pengujian Bahan Universitas Brawijaya Malang. Pengamatan yang dilakukan pada struktur mikro dilakukan dengan pengambilan gambar pada daerah *base metal*, HAZ, PMZ, dan *weld metal* dan daerah batas antara HAZ, PMZ dengan *weld metal (fusion line)*. Berdasarkan jurnal penelitian yang berjudul *on the weldability of grey cast iron using nickel based filler metal* yang setelah dilakukan perbandingan hasilnya hampir sama walaupun ada perbedaan prosedur perbaikannya. Dijelaskan ada 4 bagian yaitu BM(*base metal*), PMZ(*Partially melted zone*), HAZ(*heat affected zone*), dan FZ(*Fusion zone*).

Pada daerah BM(*base metal*) terlihat matriks yang terbentuk berupa perlit dengan grafit Grafit berupa *flake* (serpih) yang tipis dan panjang. Sedangkan matriksnya berupa perlit. Pada daerah *base metal* ini material ikut melebur dan bercampur dengan *filler metal*. Struktur matriks yang terbentuk ini menyebabkan nilai kekerasan yang cukup tinggi pada *base metal*.

Hasil struktur mikro pada PMZ(*partially melted zone*) terbentuk struktur yang terdiri dari eutektik ledeburit (berdasarkan jurnal *on the weldability of grey cast iron using nickel based filler metal*) dan martensit. Struktur dari ledeburit dan martensit ini keras dan memiliki tegangan yang tinggi sehingga rawan akan adanya *crack* (patah) pada daerah ini. Matriks yang terbentuk di PMZ adalah matriks austenit karena hasil transformasi dari matriks perlit selama proses pengelasan.

Berdasarkan pengamatan struktur mikro di HAZ(*heat affected zone*) struktur yang terbentuk didominasi dengan martensit. Menyebabkan HAZ yang keras dan mudah terindikasi *crack* (patah). Seperti dijelaskan pada jurnal selama siklus pemanasan las, HAZ mengalami temperatur yang lebih tinggi dari A1 (temperatur eutektoid didalam diagram fasa Fe-C). oleh karena itu, pada temperatur ini, grafit *flake* mulai terlarut dalam austenit yang menghasilkan karbon dari grafit *flake* kedalam austenit dan menghasilkan transformasi struktur di bagian ini. Kecepatan transformasi grafit ke austenit tergantung dari kecepatan difusi dari karbon. HAZ yang keras ini terjadi karena kecepatan pendinginan yang masih cepat walaupun

telah diberikan preheat dan PWHT menyebabkan struktur yang rapuh.

Hasil pengamatan struktur mikro di FZ(*fusion zone*) atau *weld metal* ini terdiri dari matriks austenit dengan persebaran partikel grafit yang merata. Elektroda nikel dapat mengendapkan karbon, diambil dari *base metal* dan ini adalah bentuk bebas sebagai grafit.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pengamatan, kekerasan antara weld metal dan base metal tidak jauh berbeda yaitu 24,36 HRC dan 27,32 HRC. Kekerasan pada PMZ sebesar 769,72 HV. Hasil pada permukaan hasil lasan baik karena tidak adanya indikasi crack/retak dan porositas yang diuji dengan dye penetrant. Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro terlihat matriks yang terbentuk berupa perlit dengan grafit berupa flake (serpih) yang tipis dan panjang. Struktur mikro pada PMZ terbentuk eutektik ledeburit dan pada HAZ terbentuk struktur martensit. Sedangkan struktur mikro pada weld metal terdiri dari matriks austenit dengan persebaran partikel grafit yang merata.

DAFTAR PUSTAKA

- Anrinal. 2013. *Metalurgi Fisik*. Jakarta: Andi Offset
- Daryanto. 2010. *Proses Pengolahan Besi dan Baja (Ilmu Metalurgi)*. Bandung: Satu Nusa
- Gruber & Schonmetz. 1985. *Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam*. Bandung: Angkasa
- Handbook. *Advanced Welding and Joining Technologies*
- Smallman, R.E. 1991. *Metalurgi Fisik Modern*. Jakarta: Gramedia
- Sujana, W & Widi, I.K.A. 2013 *Metalurgi Fisik*. Malang: Institut Teknologi Nasional Malang
- Suratman & Rochim. 1994. *Panduan Proses Perlakuan Panas*. Bandung: Lembaga Penelitian ITB
- William, S. 1981. *Structure and Properties of Engineering Alloys*. USA: Mc. Graw Hill

- Wiryo Sumarto, H & Okomura, T. 2002. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Balai Pustaka
- _____, ASM Specialty Handbook. *Cast Iron*. ASM Metal Handbook.
- _____, 2005. ASM Metal Handbook Vol.01. *Properties and selection(iron, steel, etc)*. ASM Metal Handbook.
- _____, 2004. ASM Metal Handbook Vol.09. *Metallography and Microstructure*. ASM Metal Handbook.
- _____, ASM Metal Handbook Vol.03. *Alloy Phase Diagrams*. ASM Metal Handbook.
- _____, 2002. ASM Metal Handbook Vol.11. *Failure Analysis and Prevention*. ASM Metal Handbook.
- _____, 2006. American Welding Society D11.2-89. *Guide for Welding Iron Casting*. American Welding Society.