

**BAGAIMANA MEMPERBAIKI CACAT PERMUKAAN
PADA KOMPONEN YANG TERBUAT DARI BESI COR
(How to Repair Surface Defect on Cast Iron Component)**

Muki S. Permana^{*}, Rochim Suratman^{**} dan Bukti Tarigan^{***}

^{*}, ^{***}) Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan
Jl. Dr. Setiabudhi 193, Bandung-40193, email: mkpermana@yahoo.com
Telp/Fax: 022-2019352/2019329

^{**}) Program Studi Teknik Mesin ITB
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, email: ²rochim_suratman@yahoo.com
Telp/Fax: 022-2502265

Abstrak

Komponen-komponen yang terbuat dari besi cor dapat mengalami cacat, baik pada saat pembuatan dengan pengecoran (*casting defects*) maupun pada saat kondisi operasi (*operasional defects*). Cacat yang terjadi akibat proses pengecoran diantaranya adalah cacat rongga, distorsi, erosi, retak, inklusi terak, *blowholes*, dan porositas. Sementara itu, cacat yang mungkin terjadi akibat beban operasi adalah retak, aus, atau patah.

Untuk menghemat biaya produksi, biasanya beberapa jenis cacat masih dapat diperbaiki dengan tanpa mengubah karakteristik mekanik dari komponen tersebut. Metode perbaikan yang sering digunakan umumnya dilakukan secara termal yaitu dengan proses pengelasan atau secara mekanik dengan *metallock & stitching*. 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 (duktilitas rendah terutama besi cor kelabu). Perubahan sifat ini akan mengubah sifat mekanik komponen. Apabila komponen harus menerima beban operasi yang besar dan berfluktuasi maka perubahan sifat di sambungan akan membahayakan komponen itu sendiri bahkan sistem peralatan. Oleh karena itu, penerapan metode, pemberian *preheat* dan *postheat*, serta logam pengisi yang digunakan harus dipilih dan ditentukan dengan seksama.

Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa dipandang dari aspek metalurgi, penggunaan *powder thermal spray* lebih unggul dibandingkan dengan metode lain. Namun demikian, penggunaan logam pengisi pada teknik *powder thermal spray* masih menggunakan logam yang berbeda sehingga kategori penyambungan termasuk kedalam *dissimilar metal*. Oleh sebab itu, masalah penting yang harus dipecahkan adalah bagaimana memperbaiki cacat coran dengan cara mengeliminir kelemahan-kelemahan perbaikan dengan metode-metode yang telah dikembangkan selama ini.

Tulisan ini menguraikan metoda-metoda perbaikan dan mengaitkannya dengan aspek metalurgi yang terjadi. Satu diantaranya telah memenuhi kriteria penyambungan. Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa ikatan metalurgi di sambungan dinilai baik karena letak patahan yang diuji melalui pengujian tarik terjadi di daerah logam pengisi (bukan di sambungan) dengan harga kekuatan tarik sekitar 200 MPa. Melalui pengaturan parameter, metode ini mampu memperbaiki cacat tanpa menghasilkan besi cor putih, martensit, retak dan porositas. Hubungan antara pemilihan metode dengan biaya dan waktu perbaikan merupakan faktor lain yang perlu dipertimbangkan jika komponen yang diperbaiki berskala besar karena akan mempengaruhi biaya total produksi.

Kata kunci : Besi cor, surface defects, logam pengisi, aspek metalurgi, metode TFC

PENDAHULUAN

Sifat teknologi yang paling dominan dari besi cor adalah mempunyai fluiditas yang tinggi. Oleh karena itu, material ini mudah dicor kedalam bentuk yang rumit dan berdimensi besar seperti blok mesin, kepala silinder (*cylinder head*) dan rumah pompa. Keunggulan lain dari besi cor adalah mudah dimesin, mempunyai sifat mampu redam (besi cor kelabu), dan harga yang relatif murah. Berdasarkan kenyataan ini maka menurut data statistik,⁽¹⁾ pemakaian besi cor menempati posisi kedua setelah *rolled steel* (baja profil dan pelat). Sekitar enam puluh prosennya ditempati oleh besi cor kelabu dan sisanya untuk besi cor malleabel, besi cor nodular, dan besi cor yang lain. Komponen-komponen yang terbuat dari besi cor dapat mengalami cacat pada saat pembuatan dengan pengecoran dan saat operasi di lapangan. Mengingat pertimbangan biaya dan waktu (apalagi bila produk impor) maka satu-satunya pilihan agar komponen tetap dapat digunakan adalah “cacat segera diperbaiki”. Namun masalah yang sering muncul jika cacat diperbaiki dengan las adalah di sekitar sambungan menjadi sangat keras dan getas yang diikuti dengan retak rambut (*fissures*).

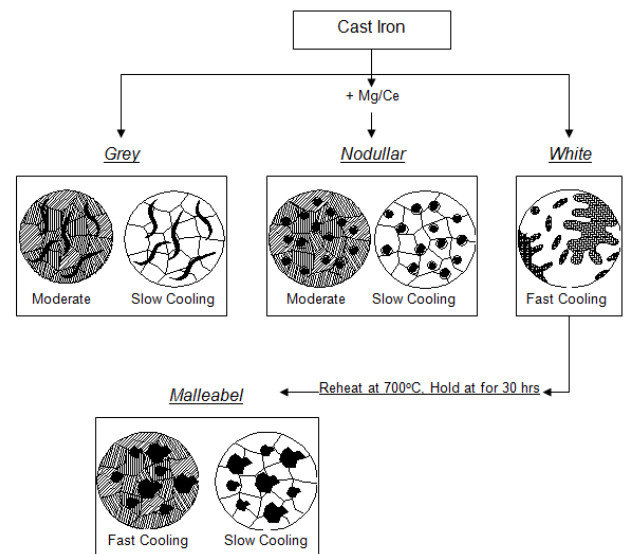
Secara singkat masalah diatas dapat dijelaskan sebagai berikut: pada saat mengelas (*fusion welding*), terjadi dua buah fenomena metalurgi yaitu proses pencairan/pembekuan di logam las dan perlakuan panas di HAZ. Dengan demikian di sekitar sambungan akan mengalami *tegangan termal berupa pemuaian/pengkerutan (shrinkage)*, dan *perubahan sifat secara metalurgi yang dapat menghasilkan tegangan sisa*. Bagi besi cor, kedua fenomena diatas seringkali membahayakan bagi komponen itu sendiri. Bahaya yang sering muncul adalah terjadinya perubahan struktur mikro di sekitar sambungan yang menyebabkan penggetasan yang disertai dengan retak rambut (*fissures*). Terlebih lagi besi cor mempunyai duktilitas yang relatif rendah (terutama besi cor kelabu) dibandingkan dengan baja sehingga adanya *penggetasan, retak rambut (fissures) dan tegangan sisa* menyebabkan retak mudah merambat.

Perubahan struktur mikro diatas mengakibatkan perubahan sifat mekanik. Bila sambungan yang telah menjadi getas tersebut mengalami pembebanan berupa gaya luar atau tekanan (*internal pressure*) saat operasi, akan menimbulkan retak baru. Demikian pula dengan *fissures* yang telah ada pada tahap perbaikan, akan menjalar dengan cepat akibat pembebanan ini. Kondisi beban yang dianggap berbahaya bagi komponen besi cor misalnya kombinasi beban *dynamic internal pressure*, dan *high temperature* yang bekerja pada daerah antara lubang katup komponen *cylinder head*. Akibat kondisi ini maka akumulasi retakan mengarah pada kerusakan

komponen bahkan kegagalan sistem peralatan. Oleh karena itu perubahan struktur mikro harus dikontrol dengan baik dan harus mendapat perhatian utama. Perhatian utama material yang tertumpu pada struktur mikro dan sifat mekanik, sangat terkait dengan pemilihan metode dan prosedur perbaikan yang diterapkan.

BESI COR

Besi cor adalah paduan besi dengan karbon dimana kadar karbon berada diantara 2 – 4.5%. Umumnya, kadar karbon yang digunakan dalam praktek sekitar 3 - 3.5% ditambah dengan unsur silikon 1 - 3% untuk meningkatkan fluiditas dan efek penggrafitan. Jenis dari besi cor adalah *gray cast iron*, *nodular cast iron*, *malleable cast iron*, *white cast iron*, dan besi cor paduan. Pembagian ini dipengaruhi oleh komposisi kimia, laju pendinginan dari keadaan cair dan proses perlakuan panas yang diterapkan. Pembagian ini diperlihatkan pada sketsa struktur mikro berikut.



Gambar 1. Pembagian besi cor berdasarkan struktur mikro, komposisi kimia, laju pendinginan dan perlakuan panas yang diterapkan.

Besi cor kelabu (*gray cast iron*) adalah besi cor yang memiliki karbon bebas berupa grafit serpih bercabang-cabang seperti ranting pohon yang berada pada matriks ferit, perlit, atau campuran keduanya. Sifat mekanik besi cor kelabu sangat ditentukan oleh bentuk, ukuran dan distribusi grafit serta jenis matriks.

Besi cor bergrafit bulat (*nodular cast iron*) terjadi akibat adanya tambahan unsur magnesium sekitar 0.05%. Kadang-kadang dengan suatu perlakuan khusus dapat diperoleh grafit yang berbentuk

“vermikular” yaitu suatu bentuk serpih namun mengelompok mengambil konfigurasi nodular.

Besi cor putih tidak memiliki karbon bebas, kadar karbon yang relatif banyak, terikat dalam bentuk karbida yang keras yaitu sementit (Fe_3C). Apabila besi cor putih ini ditemper untuk jangka waktu yang cukup lama, maka sementit akan terurai menjadi ferit dan grafit. Besi cor hasil penemperan lazim disebut sebagai *besi cor malleable* (besi cor mampu tempa).

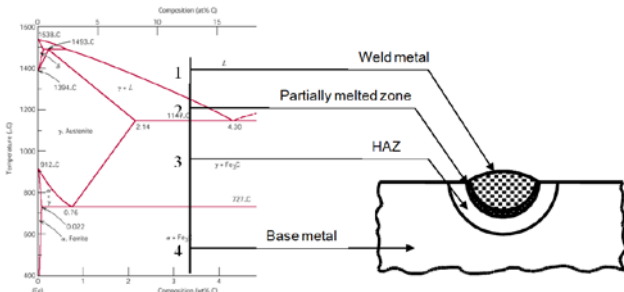
Pengontrolan yang ketat terhadap komposisi kimia dan penerapan jenis proses perlakuan panas menghasilkan variasi sifat mekanik dan fisik yang sangat unik seperti ketahanan panas (*heat resistant*), kekerasan (*hardness*), ketahanan korosi dan harga impact. Salah satu jenis besi cor paduan dimana sifat mekaniknya diperoleh sebagai akibat penerapan proses perlakuan panas yang khusus (yaitu proses austemper) adalah besi cor ADI (*Austempered ductile iron*) yang dewasa ini banyak digunakan untuk membuat komponen otomotif yang sebelumnya lazim dibuat dengan proses tempa (*forging*) misalnya *Connecting Rod*.

ASPEK METALURGI PENGELASAN BESI COR

Pada saat mengelas dengan melibatkan pencairan logam, akan terjadi dua fenomena metalurgi yaitu :

1. Proses pencairan dan pembekuan yang terjadi di daerah logam las (*weld metal*).
2. Fenomena perlakuan panas di daerah yang dipengaruhi panas (HAZ).

Ilustrasi fenomena metalurgi akibat masukan panas pengelasan, diperlihatkan pada gambar 2.

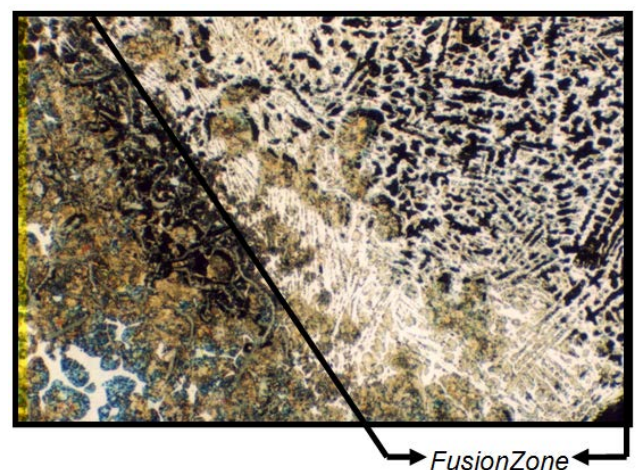


Gambar 2. Diagram fasa Fe-C, distribusi temperatur dan perubahan fasa yang terjadi di HAZ, partially melted zone, dan logam las

Perubahan struktur mikro di daerah sambungan terbagi menjadi tiga bagian yaitu:

- 1) Daerah *weld metal*, campuran logam pengisi dengan sebagian logam induk.
- 2) Daerah *fusion zone (partially melted)*, dimana grafit terekspose ke daerah temperatur 1140°C – 1200°C. Daerah ini berfasa autenit yang mampu melarutkan grafit dan apabila mengalami laju pendinginan yang tinggi akan terbentuk karbida eutektik (sementit).
- 3) Daerah terkena pengaruh panas (HAZ), dimana fasa perlit dari logam induk bertransformasi menjadi fasa austenit pada daerah temperatur 723°C-1140°C. Pada daerah ini bila fasa austenit mengalami laju pendinginan tinggi akan terbentuk martensit yang disertai retak rambut (*fissures*).

Secara ringkas, fenomena metalurgi diatas disampaikan sebagai berikut : pada saat pengelasan berlangsung, akan terbentuk logam cair yang merupakan campuran dari logam pengisi dan sebagian dari logam induk. Sedangkan pada fusion zone (*partially melted*) akan terbentuk suatu daerah yang “sempit” yang berfasa austenitik yang mampu melarutkan grafit dalam jumlah banyak dan dalam waktu yang relatif singkat. Dengan demikian fasa austenit di daerah ini memiliki kadar karbon yang relatif tinggi dan apabila fasa ini mengalami laju pendinginan yang tinggi akan terbentuk martensit dengan karbida eutektik (sementit). Martensit yang terbentuk dari suatu fasa austenit dengan kadar karbon yang tinggi lazimnya diikuti dengan retak rambut (*fissures*). Martensit (*plus fissure*) dan besi cor putih, adalah fasa-fasa yang sangat keras dan getas.



Gambar 3. Besi cor putih di *fusion zone* (dilas dengan menggunakan SMAW)

Bersamaan dengan fenomena metalurgi ketika mengelas, logam akan mengalami pemuaihan (ekspansi) dan pengkerutan (shrinkage). Hal ini berakibat adanya perubahan volume yang ditandai dengan perubahan dimensi (distorsi). Perubahan volume terjadi, baik di logam las maupun di HAZ. Perubahan volume di logam las terjadi ketika logam memuai (saat mengelas) dan membeku (selesai mengelas). Perubahan volume di HAZ terjadi karena adanya transformasi fasa yang kompleks akibat distribusi temperatur yang tidak merata. Perubahan volume ini dapat mengakibatkan tegangan sisa yang dapat mempengaruhi kualitas lasan.

Pada besi cor kelabu, adanya :

1. Tegangan sisa,
2. Besi cor putih,
3. Martensit (*plus fissures*), dan
4. Grafit berbentuk serpih (besi cor kelabu)

dianggap sebagai penyebab timbulnya retak. Grafit berbentuk serpih merupakan *internal notch* atau dapat dianggap sebagai *artificial crack* yang berkonsentrasi tegangan tinggi. Adanya beban tarik yang tegak lurus terhadap serpihan grafit menyebabkan retak mudah merambat dimulai dari ujung *notch* (takikan).

Untuk mengurangi penggetasan dan tegangan sisa di sekitar sambungan, dapat dilakukan hal-hal sebagai berikut :

1. Pemilihan logam pengisi yang dapat melarutkan karbon dalam jumlah besar sehingga kerentanan untuk terjadinya fasa yang keras dan getas dapat dikurangi.
2. *Weld pool design*, dipilih sehingga dapat mengurangi pengkerutan yang terlalu besar.
3. Pemberian *preheat & postheat* (PWHT) untuk mengurangi laju pendinginan.
4. *Multipass welding*,
5. Heat input rendah. Untuk mengurangi lebar HAZ dan menurunkan temperatur logam cair.

Dalam praktek, logam pengisi dipilih yang duktilitasnya tinggi yaitu Nikel atau Nickel-base (Fe-Ni). Namun apabila cara ini yang dipilih maka proses pengelasan seperti itu disebut dengan istilah “mengelas logam tak sejenis” (*Dissimilar Welding*). Permasalahan yang lazim dari suatu *dissimilar welding* adalah masalah fusi. Dari aspek metalurgi, mekanisme fusi adalah difusi. Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi difusi adalah selain koefisien difusifitas adalah juga temperatur dan waktu. Makin tinggi temperatur, proses difusi akan semakin mudah. Dalam suatu proses pengelasan, keberadaan dalam suatu temperatur relatif singkat;

terlebih lagi apabila ukuran *weld pool* relatif kecil dibandingkan dengan ukuran logam yang akan dilas. Sehingga seringkali mengelas dengan logam tak sejenis menghasilkan fusi yang tidak sempurna. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut : perbedaan titik cair dari kedua logam menyebabkan pencampuran tidak sepenuhnya dalam keadaan cair. Ketika logam pertama membeku dan yang kedua masih dalam keadaan cair maka pada kondisi terakhir, berlangsung difusi diantara fasa cair dan padat.

PEMILIHAN METODE PERBAIKAN

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Kiser dan Irving [2], pemilihan metode terhadap jenis besi cor yang akan di-repair harus sesuai. Dalam kaitan ini maka disusun beberapa metode yang biasa diterapkan terhadap besi cor sebagaimana terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Penggunaan las busur listrik dan las gas untuk berbagai jenis besi cor dan pengaruhnya terhadap weldability.[2]

Marika (struktur mikro)	Bentuk Grafit	Elongasi (%)	Weldability			
			Las Gas	Las Busur Listrik		
			OFW	SMAW	GMAW	FCAW
Sementit (besi cor putih)	-	0	-	-	-	-
Martensit	-	0	-	-	-	-
Perlit	Serpih	0	ya	terbatas	-	-
	Bulat	2-4	ya	terbatas	-	-
Perlit/Ferit	Serpih	0	ya	terbatas	terbatas	terbatas
	Rosette	4-6	ya	ya	ya	ya
	Bulat	6-15	ya	ya	ya	ya
Ferit	Serpih	1-2	ya	terbatas	terbatas	terbatas
	Rosette	8-12	ya	ya	ya	ya
	Bulat	18-22	ya	ya	ya	ya

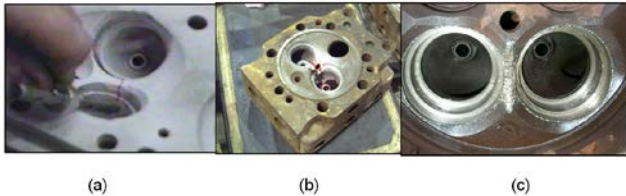
Ket.: OFW = Oxyfuel Welding, SMAW = Shielded Metal Arc Welding, GMAW = Gas Metal Arc Welding, FCAW = Flux Core Arc Welding.

Diantara semua jenis besi cor (kecuali besi cor putih), besi cor kelabu mempunyai mampu las (*weldability*) yang paling rendah karena selain duktilitasnya relatif rendah juga mengandung grafit serpih yang sangat rentan terhadap beban tarik. Dari tabel 1 di atas, terlihat bahwa besi cor kelabu mempunyai *weldability* terendah dibandingkan dengan jenis besi cor yang lain. Hal ini disebabkan karena besi cor kelabu mengandung grafit serpih dan elongasinya terendah sehingga sangat rentan terhadap retak. Dari tabel tersebut, metode perbaikan dengan las busur listrik yang paling populer adalah SMAW dan yang paling baik umumnya dilakukan dengan menggunakan las gas oksiasetylen atau sering disebut

las karbit. Namun las oksiasetilena penggunaannya terbatas hanya untuk cacat yang berukuran relatif kecil.

Las Busur Listrik

Sebagaimana disampaikan diatas bahwa diantara metode pengelasan dengan menggunakan busur listrik, SMAW termasuk yang paling populer. Contoh penggunaan las SMAW dalam memperbaiki komponen ialah *cylinder head* dengan menggunakan elektroda nikel, sebagaimana terlihat pada gambar dibawah ini.



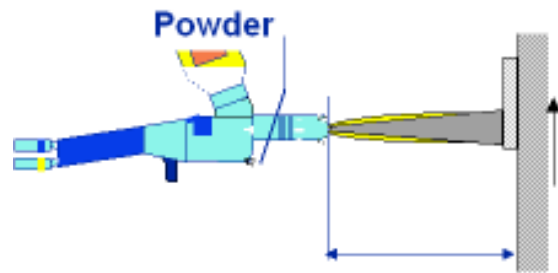
Gambar 4. *Cylinder head* retak akibat kondisi operasi yang diperbaiki dengan las SMAW. (a). Retak, (b) Retak diperbesar, (c) Hasil perbaikan

Las Gas Oksiasetilena

Telah disinggung diatas bahwa penggunaan las oksiasetilena umumnya digunakan untuk memperbaiki cacat yang berukuran kecil. Namun saat ini cacat berukuran besarpun dapat diperbaiki dengan las oksiasetilena asalkan dilakukan modifikasi terhadap *torch*. Modifikasinya terletak pada adanya “kontainer serbuk logam” yang diletakkan pada saluran *torch* setelah “*mixing chamber*”. Kontainer tersebut diisi dengan serbuk logam yang akan ikut mengalir pada saat campuran gas oxy-asetilena mengalir dan pada saat keluar dari mulut *torch*, serbuk logam tersebut akan mencair dan tersemprotkan ke permukaan logam yang akan diperbaiki. Dalam literatur, teknik ini disebut sebagai *Thermal spray welding* atau *Powder flame spray*. Dalam kasus perbaikan komponen yang terbuat dari besi cor kelabu, serbuk logam yang dipilih adalah serbuk nikel atau serbuk besi cor. Tentu saja kondisi yang lain seperti preheat dan oksidasi harus dipertimbangkan. Gambar 5 berikut memperlihatkan sketsa proses *powder flame spray*.

Contoh perbaikan cacat pada komponen *cylinder head* dengan menggunakan metode *powder flame spray*, diperlihatkan pada gambar 6a. Serbuk yang digunakan adalah menggunakan serbuk nikel. Struktur mikro sambungan yang dihasilkan terlihat

seperti pada gambar 6b (tanpa etsa).

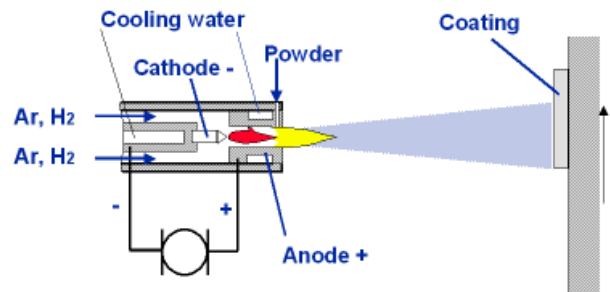


Gambar 5. Sketsa proses perbaikan dengan menggunakan metode *powder flame spray*



Gambar 6. Hasil perbaikan dengan metode *powder flame spray* dan Struktur mikro di *fusion line*. Logam pengisi : serbuk nikel.

Selain *powder flame spray*, dikenal jenis proses spray yang lain yaitu *Plasma Transfer Arc Welding*. Alat ini masih menggunakan serbuk namun serbuk yang digunakan memiliki titik cair yang tinggi misalnya seperti serbuk *stellite*, *keramik* atau serbuk logam khusus untuk melapisi permukaan logam supaya menjadi tahan aus. Sketsa prosesnya diperlihatkan pada gambar 7.

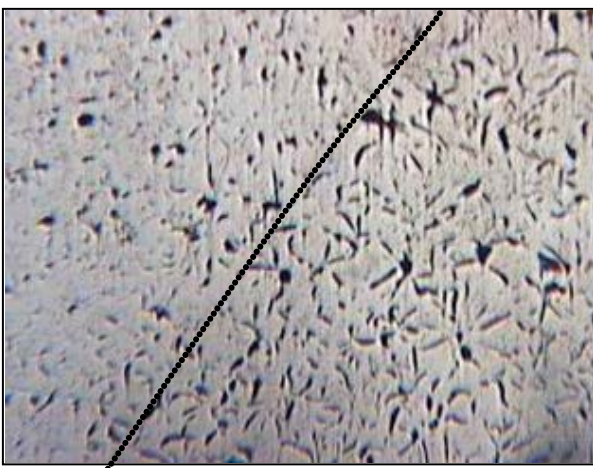


Gambar 7. Sketsa proses perbaikan dengan menggunakan metode *plasma transfer arc welding*.

Burning-in

Pada prinsipnya proses perbaikan dengan *burning-in* adalah menuangkan besi cor sejenis ke permukaan cacat komponen yang sebelumnya telah diberi *preheat*. Masalah yang seringkali timbul dari penerapan cara ini adalah masalah porositas dan bagian yang akan diperbaiki harus senantiasa menghadap ke atas; disamping itu posisinya harus relatif terbuka atau mudah dicapai. Permasalahan yang timbul dengan cara ini adalah pada saat komponen diberi *preheat*, bagian yang akan diperbaiki akan teroksidasi. Jika oksida tersebut tidak dihilangkan; antara logam cair yang dituangkan dan logam induk tidak akan terjadi fusi karena terhalang oleh adanya lapisan oksida.

Saat ini perbaikan dengan metode *burning-in* dilakukan dengan menaburkan serbuk dari besi cor yang sudah dicampur dengan antioksidan, perbandingan 5:1. Dari percobaan yang dilakukan di Laboratorium Logam, Departemen Teknik Mesin ITB, antioksidan yang digunakan adalah boraks. Jadi pada saat komponen dipanaskan ditaburkan borak disusul dengan serbuk besi cor yang juga sudah dicampuri anti oksidan. Serbuk logam tersebut kemudian dicairkan menggunakan las gas. Gambar 8 memperlihatkan struktur mikro besi cor yang diperbaiki dengan metode *burning-in*. Garis terputus-putus mewakili interface antara logam induk dengan logam pengisi. Terlihat bahwa sambungan cukup baik dan logam las maupun logam induk memperlihatkan besi cor yang sama yaitu besi cor kelabu. Namun grafit di logam las lebih halus karena pendinginannya sedikit lebih cepat dibandingkan dengan logam induk.



Gambar 8. Struktur mikro besi cor kelabu (*interface*) yang dilas dengan metode *burning-in*

Metallock & Stitching

Metallock & stitch adalah metode perbaikan komponen besi cor yang dilakukan dengan cara memasukkan *material-insert* umumnya *hardened steel* ke bagian retak. Perbaikan dengan cara *metallock* adalah dengan melubangi bagian retak kemudian setiap lubang diberi ulir seperti membuat ulir dalam dengan menggunakan tap, gambar 9a. Setiap lubang diisi dengan *insert-material* berulir (seperti baut) yang sebelumnya telah diberi cairan khusus mirip gasket. Kemudian setelah retakan terisi penuh oleh semua *insert-material*, selanjutnya logam pengisi tersebut diratakan dengan menggunakan *surface grinding*.



Gambar 9. Perbaikan dengan metode (a). *metallock* dan (b). *stitching*

Proses perbaikan dengan metode *stitching* hampir sama dengan *metallock* hanya retak yang dilubangi dibuat sedemikian rupa sehingga setiap lubang saling beririsan satu sama lain sehingga membentuk sederetan alur. Selanjutnya kedalam lubang yang telah disiapkan tadi, dimasukkan *insert-material* seperti pada gambar 9b. Setelah terisi oleh *insert-material* kemudian permukaan tersebut dipukul-pukul dengan menggunakan *hammer* hingga rata. Perbaikan dengan metode *metallock & stitching* umumnya diterapkan pada komponen yang tidak mengalami beban dinamik yang relatif besar seperti misalnya pada rumah pompa atau *gearbox*.

Contoh perbaikan retak pada *cylinder head* dengan menggunakan metode *metallock* diperlihatkan seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Perbaikan cacat permukaan pada *cylinder head* dengan metode *metallock*

PEMILIHAN ELEKTRODA DAN LOGAM PENGISI

Beberapa logam pengisi dan elektrode yang umum digunakan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Elektroda dan logam pengisi beserta penggunaannya

Jenis logam pengisi/elektroda	Penggunaan
Besi cor	Metode Las oksiasetilen. Diterapkan pada sambungan yang harus mempunyai kesamaan warna antara logam pengisi dan komponen tersebut.
Ni	Penggunaan dengan Las oksiasetilen (serbuk) atau las busur listrik. Logam pengisi ini dapat diterapkan pada sambungan dengan persyaratan dilusi yang besar. Sambungan relatif lunak dan mudah dimesin.
NiFe	Las busur listrik. Perbaikan untuk besi cor noduler, maleabel dan besi cor kelabu kekuatan tinggi.
NiFeMn	Aplikasi sama dengan NiFe tetapi lebih tahan terhadap crack resistant.
NiCu	Las busur listrik. Di sekitar sambungan lunak sehingga bersifat peenable (untuk mengurangi tegangan sisa). Dapat diterapkan pada besi cor kelabu, noduler dan maleabel.
CuSn	Sambungan bersifat good sliding dan anti-seizing properties, misalnya untuk surfacing khususnya besi cor kelabu.

PEMILIHAN TEMPERATUR PREHEAT DAN PWHT

Pemberian temperatur preheat dan postheat (PWHT) yang umum diterapkan pada komponen besi cor, terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pemilihan temperatur preheat dan PWHT

Jenis besi cor	Temperatur Preheat (°C)			
	SMAW	MIG	Gas (fusion)	Gas (powder)
Besi cor kelabu (matriks ferit)	300	300	600	300
Besi cor noduler (matriks ferit)	RT-150	RT-150	600	200
Malleable (matriks ferit)	RT*	RT*	600	200
Besi cor kelabu (matriks perlit)	300-330	300-330	600	350
Besi cor noduler (matriks perlit)	200-330	200-330	600	300
Malleable (matriks perlit)	300-330	300-330	600	300

Ket : RT : Temperatur ruang (room temperature)

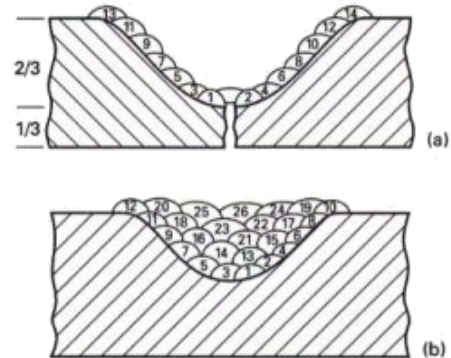
PERSIAPAN PERBAIKAN KOMPONEN BESI COR

- Bersihkan permukaan cacat dari pasir, cat, minyak, lemak, kotoran dan karat. Gunakan grinding, sikat kawat atau dengan larutan pembersih.
- Jika komponen telah telumuri oli untuk waktu yang lama, gosokkan parafin di permukaan cacat kemudian panaskan sekitar ~450°C selama 15 menit.
- Penyiapan kampuh las.
- Jika setelah dilas terdapat porositas, grinding permukaannya kemudian las kembali.
- Lakukan preheat (lihat tabel 3). Untuk komponen berdimensi kecil, lakukan dengan api las oksiasetilen. Jika komponen berdimensi besar lakukan preheat dengan menggunakan kompor atau tungku pemanas (lihat metode preheat).
- Jika ukuran kampuh besar (lihat gambar 11)

lakukan buttering dengan menggunakan diameter elektrode yang kecil (2.4 mm atau 3 mm) dan gunakan las SMAW. Buttering dapat dilakukan dengan menggunakan serbuk nikel dan las oksiasetilen dengan teknik powder flame spray. Selanjutnya isi kampuh sesuai dengan elektrode dan metode las yang dipilih.

- Hilangkan terak di permukaan lasan dan lakukan peening untuk setiap layer.

Berikut contoh buttering dan urutan pengisian kampuh las.



Gambar 11. (a) Buttering permukaan kampuh dan (b) urutan pengisian rongga cacat.

METODE PREHEAT & PWHT

Beberapa metode pemberian preheat yang biasa dilakukan pada komponen besi cor adalah dengan :

- Kompur (Stove)
- Bara arang (Charcoal fire)
- Pemanas gas & minyak (Gas & Oil burner)
- Api las oksiasetilen, untuk komponen berdimensi kecil
- Koil pemanas (Heating coil atau Induction heating)
- Tungku pemanas (Muffle furnace)

Beberapa diantaranya ditunjukkan pada gambar 12.



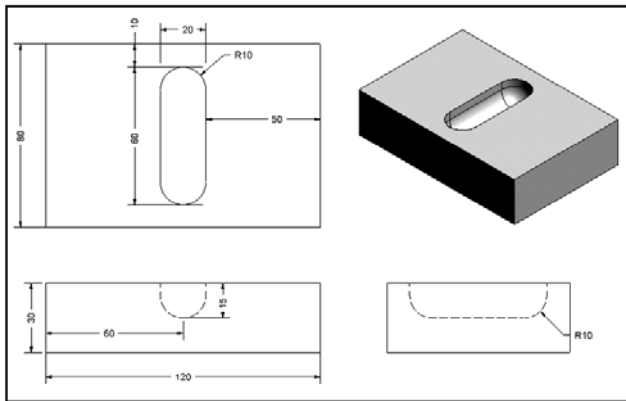
Gambar 12. Pemberian preheat di dalam tungku pemanas, sebelumnya komponen diselubungi asbestos untuk menghindari pendinginan yang terlalu cepat.



Gambar 13. Pemberian *preheat* dengan menggunakan kompor. Sekeliling komponen ditutupi bata tahan api.

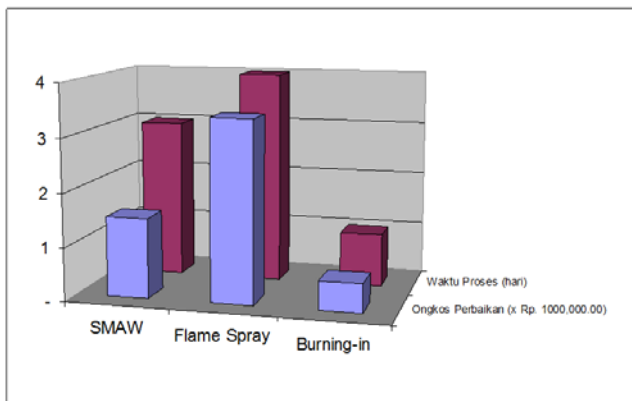
PERBANDINGAN BIAYA & WAKTU PERBAIKAN

Perbaikan dilakukan terhadap spesimen (gambar 14) dengan menggunakan las SMAW, *flame spray*, dan *burning-in*.



Gambar 14. Spesimen besi cor kelabu

Perhitungan biaya dan waktu perbaikan untuk memperbaiki spesimen diatas diperlihatkan seperti pada kurva gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan biaya dan waktu perbaikan

Dari kurva diatas dapat disimpulkan bahwa perbaikan dengan metode *flame spray* menghabiskan biaya yang relatif lebih besar dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan menggunakan las SMAW dan *burning-in*. Namun dilihat dari aspek metalurgi, sambungan yang dihasilkan dengan metode *flame spray* masih lebih baik dibandingkan dengan penggunaan las SMAW. Disisi lain, perbaikan dengan menggunakan *burning-in* relatif lebih murah dan cepat. Namun saat ini perbaikan dengan metode *burning-in* masih memiliki kelemahan karena antioksidan dari jenis boraks banyak terjebak di dalam *weld pool* sehingga berpengaruh terhadap kualitas sambungan. Selain itu, dengan metode *burning-in*, banyak mengandung porositas di sekitar *interface* (antara logam pengisi dengan logam induk). Dengan demikian perbaikan yang masih dianggap lebih baik adalah metode *flame spray*. Sebenarnya jika bagian yang diperbaiki tidak menanggung beban yang relatif besar, perbaikan cukup dilakukan dengan las SMAW sehingga faktor biaya dapat ditekan seminimal mungkin.

KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari uraian ini adalah:

1. Landasan awal yang diperlukan dalam melakukan perbaikan adalah pemahaman kondisi operasi komponen karena hal ini terkait dengan pemilihan metode dan prosedur perbaikan yang akan diterapkan.
2. Pemilihan metode perbaikan, metode *preheat*, dan penentuan logam pengisi atau elektroda sangat menentukan besarnya biaya dan waktu perbaikan.
3. 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 (duktilitas rendah terutama besi cor kelabu).
4. Dipandang dari aspek metalurgi, penggunaan *powder thermal spray* lebih unggul dibandingkan dengan metode lain.

DAFTAR PUSTAKA

1. S. D. Kiser & B. Irving, “Unraveling the Mysteries of Welding Cast Iron”, AWS Welding Journal, pp. 39-44, August 1993.
2. Muki. S. Permana, “Pengaruh Pemilihan Elektroda dan Parameter Proses Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Besi Cor Kelabu Pada Perbaikan Besi Cor Kelabu Dengan Las SMAW”, Universitas Pasundan,

- 2001.
3. G. Cisgewski, "The Mechanical Properties of Joints Welded with Coated Electrodes in Flake and Nodular Graphite Cast Iron, *Welding International*, 10 (11) pp. 853-861, 1996.
 4. Muki. S. Permana, "Kaji Eksperimental Proses Repair Terhadap Permukaan Cacat yang Terbuat Dari Besi Cor Kelabu dengan Menggunakan Las Oksiasetilen", Universitas Pasundan, 2002.
 5. TWI, "Oxyacetylene and Bronze Welding of Cast Iron", World Center for Material Joining Technology, twi website, 2000.
 6. R. A. Martinez & J. A. Sikora, "Pearlitic Nodular Cast Iron: Can it Be Welded", *AWS Welding Journal*, pp. 65-70, March 1995.
 7. Carley, L., "Cast Iron Crack Repair", CarleySoftware.com, Copyright 2000.
 8. J. R. Davis, "Cast Irons", *ASM Specialty Handbook*.
 9. X. Y. Zhang, Z. F. Zhou, S. L. Wu, L. Y. Guan, "Crack Initiation and Propagation in a Pearlitic Nodular Iron Joint Welded with a Nickel-Iron Electrode", *AWS Welding Research Supplement*, pp. 291s-295s, August 1992.
 10. P. Zhu & R. W. Smith, "The Prediction of the Microstructure of Cast Iron using Thermal Analysis", *Materials Science Forum Vols. 215-216*, pp. 503-510, Transtec Publications, Switzerland, 1996.
 11. X. Y. Zhang, Z. F. Zhou, S. L. Wu, L. Y. Guan, "Influence of Nickel-Iron Electrode Properties and Joint Shapes on Welded Joint Strength of Pearlitic Nodular Iron", *AWS Welding Research Supplement*, pp. 280s-284s, September 1996.