

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Penelitian Sebelumnya

Primary reformer adalah suatu alat yang digunakan di PT. Pupuk Kaltim, pada flange menggunakan material *carbon steel* dan pada *catalist tube* menggunakan material *stainless steel*. Kedua material tersebut disambung dengan menggunakan las GTAW (*Gas Tungsten arc Welding*) dengan *filler metal* inconel 82. Namun ditemukan kobocoran antara sambungan flange dengan material *carbon steel* dan logam las pada material *filler metal* inconel 82. Diduga telah terjadi salah pemilihan material pada *filler metal*. Penelitian ini membahas tentang perbandingan jenis *filler metal* (ER-308, ER-309 dan Inconel 82) pada metode pengelasan *buttjoint* dan *buttering* terhadap kualitas lasan. Pengujian yang dilakukan meliputi analisis kemampulasan, pengujian struktur mikro dan kekerasan. Kesimpulan yang dicapai dari pengujian ini adalah *filler metal* Inconel 82 paling bagus dibandingkan dua *filler metal* lainnya. Hal ini ditunjukkan dengan tidak ditemukannya *type II grain boundary* dan tipisnya *dark band*. Karena sebagian baja karbon dan baja paduan rendah sesuai standar pengelasan membutuhkan *post-weld heat treatment* (PWHT), struktur mikro pada *weld zone* dan *heat-affected zone* (HAZ) perlu diperhatikan seksama akibat pengaruh PWHT [9].

Pada *tube air preheater* di unit *primary reformer* PT. Pupuk Kaltim menggunakan aplikasi DMW, akan tetapi ditemukan kerusakan pada pipa ini setelah digunakan pada temperatur operasi 550°C dan tekanan 32 bar. Kerusakan terjadi pada batas fusi dan *weldolet* dengan bahan baja paduan rendah serta *filler metal* menggunakan Inconel 82. Pengujian untuk menganalisa penyebab kegagalan ini adalah pengujian kekerasan dengan metode vickers, perhitungan sifat mampu las, pengujian metalografi. Hasil dari analisa diperlihatkan bahwa kegagalan disebabkan oleh fenomena *disbonding* akibat munculnya *dark band* pada batas fusi *weld metal*, yang diprediksikan akibat difusi karbon C yang menyatu dengan kromium Cr sehingga membentuk Krom karbida. Hal ini didukung dengan pengujian kekerasan pada daerah tersebut, dengan nilai kekerasan yang sangat tinggi. Dari hasil perhitungan kepekaan retak juga menunjukkan bahwa dapat terjadi keretakan saat pengelasan, dan diperlukan

perlakuan tambahan seperti *interpas* temperatur dan *post weld heat treatment* (PWHT) [10].

Proses *air preheater* adalah alat untuk menaikkan temperatur udara yang hasil udaranya berfungsi untuk memanaskan gas pada *secondary reformer* dan bekerja pada tekanan 32 bar dengan temperatur 500°C. Konstruksi alat ini terdiri dari *coil tube* dan *weldolet* yang berbentuk pipa dengan komposisi dua material yang berbeda, dimana material tersebut adalah *Duplex Stainless Steel* (*coil tube*) dan *Low Alloy Steel* (*weldolet*). Pada penelitian sebelumnya telah diamati menggunakan mikroskop optik dan ditemukan *dark band* pada batas fusi sambungan baja karbon dan *weld zone*. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi *dark band* yang disinyalir menjadi penyebab kegagalan. Beberapa pengujian yang dilakukan adalah: komposisi kimia (*spectrometry*), kekerasan (mikro vikers), perhitungan *weldability*, struktur mikro (mikroskop optik), dan SEM+EDS. Hasil yang didapat dari perhitungan *weldability* menunjukkan daerah sambungan las ini rentan terhadap terjadinya retakan. Pengujian struktur mikro didapatkan *dark band* pada batas fusi. Nilai kekerasan lebih tinggi dibanding daerah lainnya. Dari hasil SEM+EDS pada daerah *dark band* merupakan peningkatan unsur krom (Cr) terhadap unsur karbon (C) yang membentuk karbida krom (Cr_{23}C_6) yang bersifat keras dan getas [11].

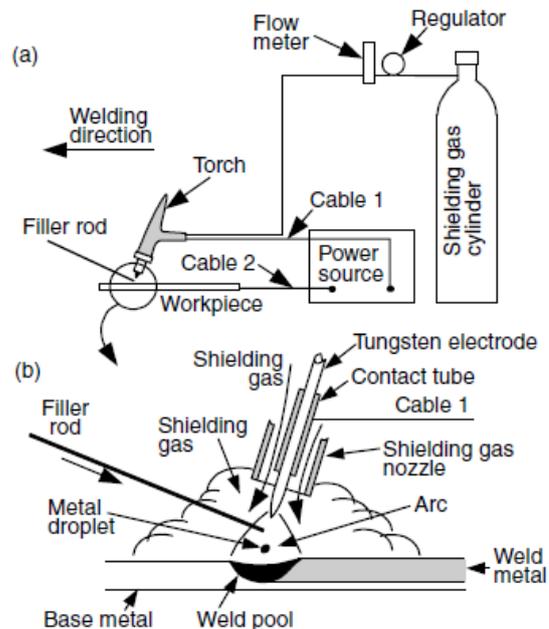
2.2. Dissimilar Metal Welding

Dissimilar Metal Welding (DMW) adalah pengelasan dengan dua logam dasar yang berbeda. DMW sering digunakan untuk menyambung material baja tahan karat dengan material yang lain. Hal tersebut juga sering digunakan karena perubahan sifat mekanik atau performa yang dibutuhkan. Sebagai contoh pada pipa baja tahan karat jenis austenit yang sering digunakan dalam temperatur tinggi atau untuk generator power plant. Diantara temperatur dan tekanan tertentu baja karbon atau baja paduan rendah sudah cukup untuk digunakan, dan tujuan penyambungan baja tahan karat dengan material lain adalah tentang ekonomi (baja karbon atau baja paduan rendah lebih murah dibanding dengan baja tahan karat) [2].

2.2.1 Las GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)

GTAW atau *gas tungsten arc welding* adalah jenis las listrik yang menggunakan bahan tungsten sebagai *filler metal* tidak terkonsumsi. *Filler metal* ini digunakan hanya untuk menghasilkan busur nyala listrik. Bahan penambah berupa batang las (*rod*), yang dicairkan oleh nyala busur tersebut, untuk mencegah oksidasi digunakan gas mulia (seperti argon, helium, Freon) dan CO₂ sebagai gas pelindung.

Temperatur pada cairan logam las mendekati 2500°C (4530°F). Fungsi gas pelindung adalah untuk menghindari terjadinya oksidasi udara luar terhadap cairan logam yang dilas, maka menggunakan gas argon, helium murni atau campuran salah satu sifat dari gas ini adalah bukan merupakan bahan bakar, melainkan sebagai gas pelindung.



Gambar 2.1 Skema parameter GTAW [1]

Torch pemegang *filler metal* tungsten terhubung ke silinder shielding gas serta terminal satu dari sumber listrik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1a. *Filler metal* tungsten biasanya berkontak dengan tabung tembaga berpendingin air, yang disebut tabung kontak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1b, yang terhubung ke kabel las (kabel 1) dari terminal. *Gas-tungsten arc welding* sering digunakan untuk pengelasan baja tahan karat, magnesium, dan *cooper*. Pada prosesnya juga biasa digunakan untuk menyambung karbon dan baja paduan. Pada pengelasan baja karbon,

diutamakan untuk *root-pass welding* dengan aplikasi dapat disisipkan atau teknik *open-root* pada pipa. Material dilas dari jarak terkecil (*inch*) pada beberapa *inch* dalam ketebalan.

2.3 Baja Karbon

Baja karbon adalah panduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,30%, baja karbon sedang mengandung 0,30 sampai 0,45% karbon dan baja karbon tinggi berisi karbon antara 0,45 sampai 1,70%. Bila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun. Klasifikasi dari baja karbon dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja karbon [3]

Jenis	% C	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	Perpanjangan % EL	Kekerasan Brinell HB	Penggunaan
Baja karbon rendah	0.08	18-28	32-36	30-40	95-100	Pelat tipis
	0.08-0.12	20-29	36-42	30-40	80-120	Batang, kawat
	0.12-0.20	22-30	38-48	24-36	100-130	Konstruksi umum
	0.20-0.30	24-36	44-55	22-32	112-145	
Baja karbon sedang dan tinggi	0.30-0.40	30-40	50-60	17-30	140-170	Alat-alat mesin
	0.40-0.50	34-46	58-70	14-26	160-200	Perkakas
	0.50-0.80	36-47	65-100	11-20	180-235	Rel, pegas dan kawat piano

2.3.1 Pengelasan Baja Karbon

2.3.1.1 Pengelasan Baja Karbon Rendah

a) Klasifikasi baja karbon rendah

Baja karbon rendah yang disebut juga baja lunak banyak sekali digunakan untuk konstruksi umum. Baja karbon ini dibagi lagi dalam baja kil, semi-kil dan baja rim, dimana penamaanya didasarkan atas persyaratan deoksidasi, cara pembekuan dan distribusi rongga atau lubang halus didalam.

b) Sifat mampu las dari baja karbon rendah

Faktor – faktor yang sangat mempengaruhi mampu las dari baja karbon rendah adalah kekuatan takik dan kepekaan terhadap retak las. Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan plat tebal atau bila didalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi.

c) Cara pengelasan baja karbon rendah

Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada didalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapan sempurnadan persyaratan dipenuhi. Pada kenyataanya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas.

2.3.1.2 Pengelasan Baja karbon Sedang dan tinggi

Baja karbon sedang dan tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Karena itu daerah pengaruh panas atau HAZ pada baja ini mudah keras bila dibandingkan baja karbon rendah. Sifatnya yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya difusi hydrogen menyebabkan baja ini sangat peka dengan retak las. Disamping itu pengelasan dengan menggunakan *filler metal* yang sama kuat dengan logam lasnya mempunyai perpanjangan yang rendah. Terjadinya retak dapat dihindari dengan pemanasan mula dengan suhu yang sangat tergantung dari pada kadar karbon atau harga ekuivalen karbon.

Tabel 2.2 Suhu pemanasan mula pada pengelasan baja karbon sedang dan tinggi [3]

Kadar Karbon (%)	Suhu pemanasan mula (°C)
0,20 Maks.	90 (maks)
0,20-0,30	90-150
0,3-0,45	150-260
0,45-0,80	260-420

2.3.2 Baja karbon A-106 Grade B

Baja karbon A-106 adalah baja karbon medium yang mempunyai komposisi 0.3% carbon dan komposisi unsur-unsur paduan lainya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.3. Komposisi Baja karbon A-106 [4]

Composition , %			
	Grade A	Grade B	Grade C
Carbon, max ^A	0.25	0.3	0.35
Manganese	0.27-0.93	0.29-1.06	0.29-1.06
Phosphorus, max	0.035	0.035	0.035
Sulfur, max	0.035	0.035	0.035
Silicon, min	0.10	0.10	0.10
Chrome, max ^B	0.40	0.40	0.40
Copper, max ^B	0.40	0.40	0.40
Molybdenum, max ^B	0.15	0.15	0.15
Nickel, max ^B	0.40	0.40	0.40
Vanadium, max ^B	0.08	0.08	0.08

Ket: ^A untuk setiap pengurangan dibawah 0.01% dari maksimum karbon yang ditetapkan, dapat menaikkan 0.06% mangan diatas batas maksimum yang ditetapkan dan diperbolehkan untuk naik sampai batas maksimum 1.35 %.

^B kelima unsur kombinasi ini tidak boleh melebihi 1 %

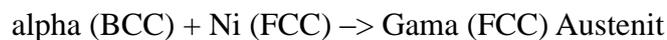
2.4 Baja Tahan Karat (*stainless steel*)

2.4.1 Klasifikasi Baja Tahan Karat

Baja tahan karat termasuk dalam baja paduan tinggi yang tahan terhadap korosi, suhu tinggi dan suhu rendah. Disamping itu juga mempunyai ketangguhan dan sifat mampu potong yang cukup. Karena sifatnya, maka baja ini banyak digunakan dalam reaktor atom, turbin, mesin jet, pesawat terbang, alat rumah tangga dan lain-lainnya. Baja tahan karat termasuk kategori material *ferrous* yang digolongkan berdasarkan % krom (Cr), bukan berdasarkan % karbon (C) seperti jenis *steel* umumnya, untuk mempengaruhi klasifikasi baja tahan karat, kadar minimum % krom (Cr) 12 %.

2.4.2 Baja tahan karat A- 312 TP 304H

Baja tahan karat A-312 TP 304H jenis baja tahan karat *austenitic* yang tidak bersifat magnetis karena pengaruh kandungan unsur Nikel antara 8 -11%. Mekanisme baja tahan karat *austenitic* tidak bersifat magnetik yaitu unsur Nikel yang berkisi FCC mempromote terbentuknya fasa austenit dengan cara merubah fasa *feritic* (BCC) menjadi fasa gama (FCC) austenit.



Tabel 2.4 Komposisi kimia baja tahan karat A-312 TP 304H [2]

TYPE	UNS NO.	COMPOSITION, % ^(A)							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Other
201	S20100	0.15	5.5-7.5	1.00	16.0-18.0	3.5-5.5	0.06	0.03	0.25 N
302	S30200	0.15	2.0	2.0-3.0	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	
304L	S30403	0.03	2.0	1.00	18.0-20.0	8.0-12.0	0.45	0.03	
304	S30400	0.08	2.0	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	
304H	S30409	0.04-0.10	2.0	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	

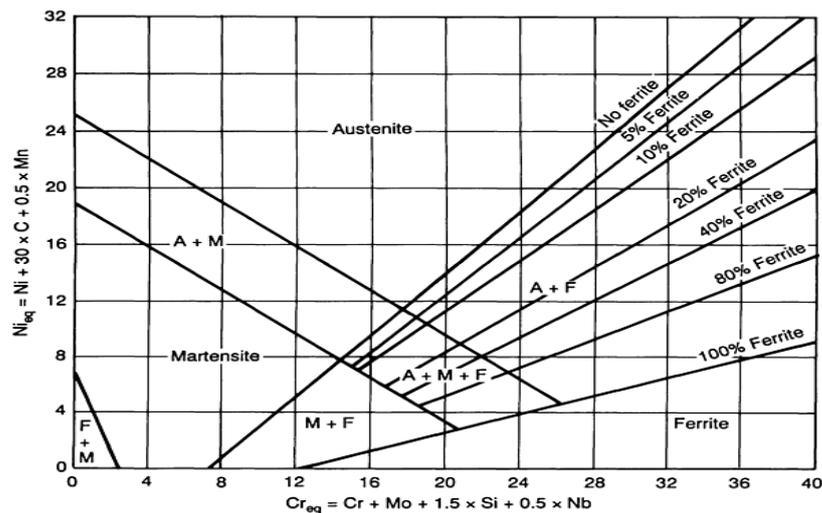
(A) Satu nilai adalah nilai maximal kecuali ditandai sebaliknya

(B) Optimal

2.4.3 Pengelasan Pada Baja Tahan Karat (*stainless steel*)

Pengelasan dengan *elektrode* terbungkus, las MIG dan las TIG adalah cara yang banyak digunakan dalam pengelasan baja tahan karat pada waktu ini. Disamping itu kadang-kadang digunakan juga las busur redam, dan las sinar elektron. Karena baja tahan karat adalah baja paduan tinggi, maka jelas bahwa kualitas sambungan lasnya sangat dipengaruhi oleh panas dan atmosfer pengelasan.

Sifat mekanik dan sifat tahan karat dari logam las sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dan struktur. Hubungan antara komposisi kimia dalam bentuk *equivalent Ni* dan *equivalent Cr* serta struktur mikro yang terjadi ditunjukkan dengan diagram *Scaeffler* dalam gambar di bawah ini:



Gambar 2.2 Diagram *Schaeffler* dari *weld metal* dalam pengelasan baja tahan karat[6].

Karena semua jenis baja tahan karat dalam pengelasan akan mengalami penggetasan dan peretakan, maka harus dijaga agar logam las selalu terletak pada daerah aman. Struktur Austenit akan menjurus pada terbentuknya retak panas, tetapi retak panas ini sangat berkurang apabila austenit mengandung lebih dari 4% ferit. Dengan sifat diatas maka dalam pengelasan baja tahan karat austenit hendaknya: pertama jangan dilakukan pemanasan mula tetapi dihindari terjadinya masukan panas yang tinggi sehingga tidak terjadi pengendapan antar butir dari karbid-khrom; kedua sebaiknya digunakan *elektrode* jenis Nb, Ti atau karbon rendah ($C \leq 0,03\%$) dan ketiga

dipilih *elektrode* yang menghasilkan struktur logam las pada daerah aman dari diagram *Schaeffler*.

2.5. Filler metal

Filler metal yang digunakan pada pengelasan jenis ini adalah *Filler Metal* Inconel 82 dengan diameter 2.4 mm (ErNiCr-3) yang mempunyai komposisi kimia sebagai berikut.

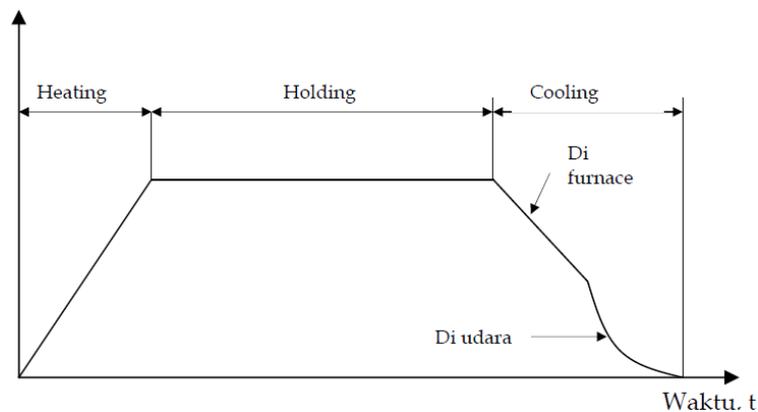
Tabel 2.5 Komposisi *Inconel 82* [Ref: 8]

Komposisi WT %												
Ni	Cu	Mn	Fe	Si	C	S	Cr	Ti	P	Nb	Co	Ta
67	0.5	3	3	0.5	0.1	0.015	20	0.75	0.03	2.5	0.1	0.3

Lapisan *weld metal* oleh *filler metal* Inconel 82 memiliki kekuatan tinggi dan ketahanan korosi yang baik, termasuk ketahanan oksidasi dan kekuatan *creep rupture* pada suhu yang tinggi.

2.6 PWHT (*Post Weld Heat Treatment*)

Sesuai standar pengelasan, *Dissimilar Metal Welding* antara baja karbon dan baja tahan karat memerlukan PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) untuk mengurangi tegangan sisa hasil pengelasan. *Post Weld Heat Treatment* adalah proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, misalnya kekuatan (*strength*), kelunakkan (*softness*), memperhalus ukuran butir.



Gambar 2.3 Siklus Termal *Post Weld Heat Treatment* (PWHT)

Prinsip dasar proses PWHT adalah :

1. *Heating* merupakan proses pemanasan sampai temperatur diatas atau dibawah temperatur kritis suatu material
2. *Holding* adalah menahan material pada temperatur pemanasan untuk memberikan kesempatan adanya perubahan struktur mikro.
3. *Cooling* adalah mendinginkan dengan kecepatan tertentu tergantung pada sifat akhir material yang diinginkan

2.7 Heat Treatment

Heat treatment adalah proses perlakuan panas yang dilakukan terhadap material dengan tujuan tertentu, *heat treatment* terdiri dari dua proses utama, yaitu:

2.7.1 Hardening

Hardening adalah proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat. Untuk proses ini dilakukan dengan input panas dan transfer panas dalam waktu pendek. Tujuan *hardening* untuk merubah struktur baja sedemikian rupa sehingga diperoleh struktur martensit yang keras. Prosesnya adalah baja dipanaskan sampai suhu tertentu antara 770-830° C (tergantung dari kadar karbon) kemudian ditahan pada suhu tersebut, beberapa saat kemudian didinginkan secara mendadak dengan mencelupkan dalam air, oli atau media pendingin yang lain. Dengan pendinginan yang mendadak, tidak ada waktu yang cukup bagi austenit untuk berubah menjadi perlit dan ferit atau perlit dan sementit. Pendinginan yang cepat menyebabkan austenit berubah menjadi martensit.

2.7.2 Softening

Softening merupakan proses *heat treatment* dimana suatu material logam uji dilakukan proses pemanasan atau proses pendinginan pada waktu tertentu yang mempunyai tujuan untuk mendapatkan sifat material yang lunak/proses pelunakan material sehingga mempermudah untuk proses permesinan selanjutnya.

2.7.2.1 Annealing

Annealing adalah proses *heat treatment* dimana bahan mengalami pemanasan sampai temperatur yang sesuai dengan jenis *anealling* yang akan dilakukan kemudian

menahannya pada suhu tersebut (*holding time*) selama satu jam tiap satu inci dengan pendinginan yang perlahan-lahan. Annealing adalah pemanasan pada suhu yang cukup tinggi (antara 50°F di atas A_{c3} dan 15°F dibawah A_{c1}) agar terjadi austenisasi sempurna, menahannya pada temperatur tersebut untuk waktu tertentu, yaitu setiap ketebalan atau diameter 1 inchi selama satu jam, dan didinginkan pada suhu kamar secara perlahan lahan.

Tujuan dari proses ini adalah pelunakkan sehingga baja yang keras dapat dikerjakan melalui proses permesinan atau pengerjaan dingin. Tujuannya adalah:

1. Menghilangkan ketidak homogenan struktur
2. Memperhalus ukuran butir
3. Menghilangkan tegangan sisa

Keuntungan akibat anil berbeda dari jenis bahan yang satu ke bahan lainnya. Pada besi cor, anil mengakibatkan meningkatnya keuletan dan kadang kadang pelunakan (berkurangnya kekerasan) dipersamakan dengan keuletan. Hal ini terjadi pada kuningan, akan tetapi baja anil dan paduan fasa ganda tidak mengalami penurunan kekerasan atau keuletan seperti tersebut diatas, perubahan keuletan ini dapat dihasilkan oleh laku-panas lainnya.

2.7.2.2 Tempering

Tempering adalah pemanasan kembali antara 100-400°C, yang bertujuan untuk menurunkan kekerasan, pendinginan dilakukan di udara. Dalam proses *tempering* atom-atom akan berganti menjadi suatu campuran fasa-fasa ferrit dan sementit yang stabil. Melalui tempering kekuatan tarik akan menurun sedang keuletan dan ketangguhan akan meningkat. Untuk proses quenching setelah *hardening* dilakukan mendadak, sedangkan setelah tempering pendinginan dilakukan dengan udara. Proses pendinginan ini jelas akan berakibat berubahnya struktur logam yang diquench [8].

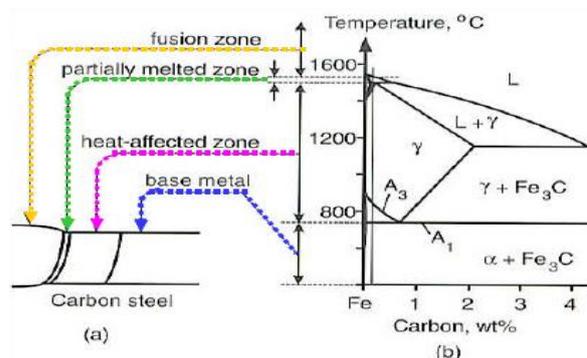
2.8 Metalurgi Las

Karena pengelasan adalah proses penyambungan dengan menggunakan energi panas, karena proses ini maka logam disekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan – perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan – tegangan termal. Hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las, retak dan lain sebagainya yang umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dan konstruksi las. Logam akan mengalami pengaruh pemanasan akibat pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan. Bentuk struktur mikro bergantung pada temperatur tertinggi yang dicapai pada pengelasan, kecepatan pengelasan dan laju pendinginan daerah lasan.

Pada pengelasan terdiri dari tiga bagian:

1. Logam las (*weld metal*) adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku.
2. Logam induk (*base metal*), bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan – perubahan struktur dan sifat.
3. Daerah pengaruh panas disebut HAZ (*Heat Affected Zone*), adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las selama pengelasan mengalami pemanasan dan pendinginan yang cepat

Di samping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las (*fusion line*).



Gambar 2.4 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan [Ref 13]

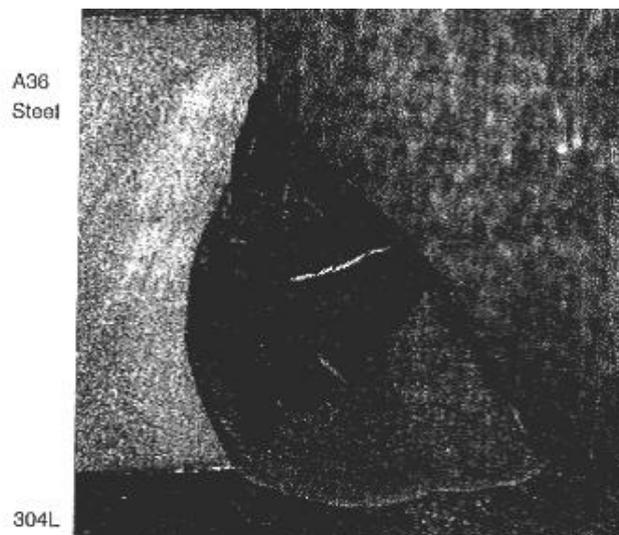
Agar suatu pelaksanaan konstruksi las dikerjakan dengan benar dan berhasil, sehingga aman terhadap hasil yang dikerjakan, maka untuk setiap pekerjaan las harus dimulai dengan pemilihan elektroda las, proses pengelasan dan variabel penting lainnya seperti: bentuk sambungan yang akan dikerjakan, baik dipabrikasi maupun dilapangan, serta perlakuan panas yang akan dilakukan pada awal dan selesainya pengelasan, *Preheat* dan, *PWHT (Post Weld Heat Treatment)*.

2.9. Weldability

Menurut *Hand Book Jhon C. Lippold* [2], terdapat beberapa mekanisme retak pada antara baja karbon dan baja tahan karat yaitu, *solidification cracking*, *clad disbonding* sepanjang *type II boundaries*, dan *creep failure in the HAZ* baja karbon [2].

2.9.1. Solidification Cracking

Solidification cracking banyak terjadi bila *filler metal* berfasa austenit seperti yang banyak digunakan tipe 308L dan 309L. Jika rasio karbonnya banyak mendilusi baja karbon maka akan membeku dalam austenit, karena pada filler metal tidak mengandung ferit. Seperti contoh pada gambar 2.6 yang diperlihatkan *solidification cracking* pada lapisan tengah antara struktur lasan A36 dan baja tahan karat tipe 304L.

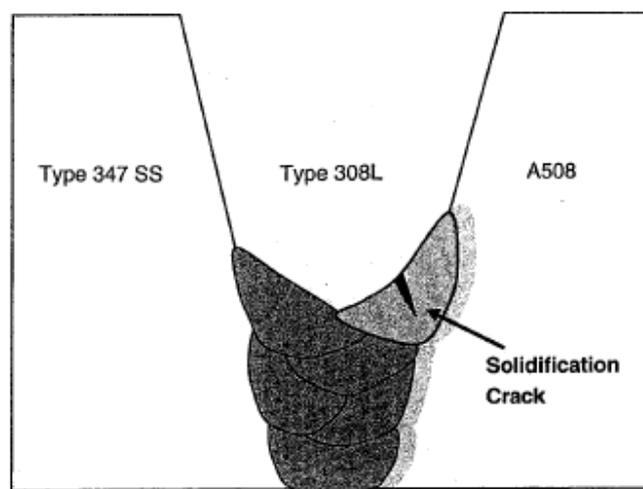


Gambar. 2.5 *Solidification cracking 309L weld metal* [2].

Perbedaan penampilan etsa antara bagian *weld metal* yang bersinggungan dengan 304L versus yang bersinggungan juga dengan baja A36. Hasil etsa berwarna terang

menampilkan pembekuan logam *primary* ferit. Hasil etsa berwarna gelap menampilkan pembekuan logam *primary* austenit. *solidification cracking* terletak disepanjang garis tengah, bukan pada seluruh lasan tetapi pada daerah pemadatan *primary* austenit. Ukuran keseluruhan lasan 0.8 FN (*Ferrite Number*) pada keadaan pencairan yang berlebihan.

Contoh lain skema *solidification cracking dissimilar welding* diperlihatkan pada gambar 2.7. Hal tersebut terletak pada bagian tebal las antara A508 dan SS tipe 347 di *pressure vessel*, menggunakan *filler metal* 308L dengan proses pengelasan GTAW. Sebagian besar pembekuan lasan bermodel FA (*Ferrite Austenite*) dan berisikan ferit sekitar 6 – 8 FN. Pada gambar ditunjukkan pelarutan lebih banyak *base metal* A508, akibatnya pemadatan tersebut membentuk *fully* austenit dan terjadi *solidification cracking* pada *centerline*. Untuk itu lebih baik dilakukan control pada proses pengelasan (posisi pembakaran dan masukan panas) supaya sukses meminimalkan dilusi dan menghindari *solidification cracking*.

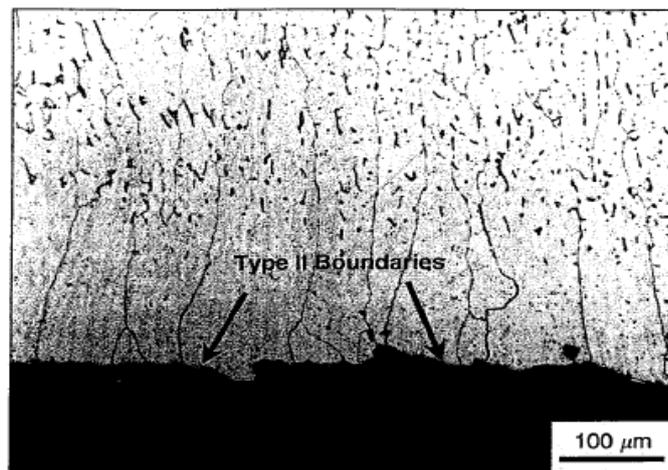


Gambar. 2.6 *Solidification cracking* dalam *dissimilar welding* antara SS tipe 347 dan A508 disambung dengan *filler metal* 308L [2].

2.9.2. *Clad Disbonding*

Clad disbonding biasanya terjadi sepanjang batas *Type II boundaries*. Mekanisme yang tepat untuk jenis kegagalan ini belum diketahui, tetapi mungkin meliputi *precipitation*, *impurity segregation*, arah tegak lurus batas ke arah tegangan utama, *hidrogen-induced cracking* terletak di daerah martensite yang tidak jauh berbeda

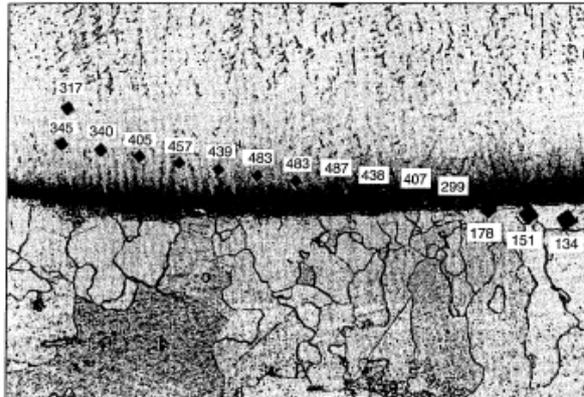
dengan *transition zone* yang terjadi pergeseran komposisi, atau kombinasi dari semuanya. Metalografi pada Gambar 9.8 memperlihatkan profil permukaan retak kegagalan *clad disbonding* tipe 309L pada lapisan atas baja A508. Sisi keretakan A508 tidak bisa dilihat karena masih menempel pada *pressure vessel* 20.000lb. Berdasarkan daerah dan arah keretakan, jelas bahwa kegagalan terjadi disepanjang batas *Type II boundaries* (lihat Gambar 9.8). Meskipun mekanisme yang tepat untuk jenis kegagalan belum diketahui, tetapi jelas bahwa sifat ini mempengaruhi batas dan daerahnya pada pergeseran komposisi dan microstructural di daerah transisi mengarah ke jenis kegagalan. *Weld deposits* yang tidak mengandung batas-batas *Type II boundaries* sulit untuk terjadinya kegagalan.



Gambar. 2.7 *Disbonded cladding* 309L dari baja A508 bejana tekan [2]

2.9.3. *Creep Failure* pada HAZ Baja Karbon atau Baja Paduan Rendah

Kegagalan dalam HAZ baja yang berdekatan dengan batas fusi pada bagian pengelasan telah diamati strukturnya. Terdapat migrasi karbon dari HAZ ke logam las selama pengelasan, dari PWHT, atau hasil dari penggunaannya, ditemukan daerah HAZ yang berstruktur ferit dan lunak. Berdasarkan tegangan sisa dan termal yang dikenakan *Coefitien of Termal Ekspansion* (CTE ketidak sesuaian antara HAZ dan logam las), retak pada *creep* dapat terjadi di sepanjang batas butir ferrit. Sebagai contoh sepanjang mikro batas fusi baja 2.24Cr-Mo dilas dengan *filler metal* tipe 309L ditunjukkan pada gambar dibawah ini, struktur ini telah diberi PWHT pada 720°C selama 10 jam.



Gambar. 2.8 Daerah batas *weld metal* dan HAZ, menggunakan kekerasan metode *vikers* sekala (VHN) [2].

Kekerasan indentasi dalam VHN menunjukkan kekerasan tinggi di band martensit pada batas fusi. Sebaliknya pada HAZ sangat lunak dan terdiri dari butir ferrit besar. Karena baja karbon memiliki CTE lebih rendah, hal ini mengakibatkan tegangan lokal tinggi diluar permukaan. Migrasi karbon mengakibatkan pembentukan daerah feritik sangat lunak diantara logam las dan logam dasar akan menjadi kuat, dan tegangan lokal yang tinggi berkonsentrasi didaerah tersebut.

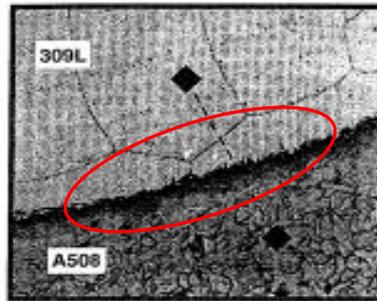
2.10 *Disbonding*

Fenomena lepasnya sambungan las yang terjadi pada pengelasan *dissimilar metal* yang disebabkan oleh *difusi* unsur karbon. Sehingga daerah yang memahami konsentrasi unsur karbon yang tinggi, yang mengakibatkan nilai kekerasan menjadi tinggi. Indikasi difusi karbon dapat terlihat pada daerah batas fusi antara *base metal* dan *weld metal* terdapat *dark band* atau LHZ (*Lord Hard Zone*), hal ini dapat mengakibatkan turunya kualitas sambungan las dan sambungan akan lepas.



Gambar 2.9 Fenomena *Disbonding* [9]

Pada gambar dibawah ditunjukkan fenomena terjadinya *dark band* yang sampai mengakibatkan terjadinya *disbonding* pada sambungan las. Adanya hal tersebut, dilanjutkan penelitian yang mengacu yang mengacu terhadap fenomena *dark band* tetapi yang belum mengalami *disbonding*.



Gambar 2.10 Fenomena *dark band* pada batas las antara *weld metal* dan HAZ [2]

2. 11 Migrasi Karbon

Dalam baja kromium memiliki afinitas yang lebih besar untuk karbon daripada besi. Ketika karbon atau baja paduan rendah dilas dengan logam pengisi yang mengandung sejumlah besar kromium, karbon akan berdifusi dari logam dasar ke logam las pada suhu sekitar 800°F. Tingkat difusi merupakan fungsi dari suhu dan waktu, dan meningkat lebih cepat pada suhu 1100°F dan di atasnya lagi. Karbon migrasi dapat terjadi selama proses perlakuan panas setelah pengelasan pada suhu tinggi.

Baja austenitik memiliki kelarutan yang lebih besar untuk karbon daripada baja feritik. Oleh karena itu, karbon deplesi dalam karbon atau baja paduan rendah dapat lebih besar ketika sebuah baja austenitik di las, digunakan logam pengisi baja feritik. Jika migrasi karbon sangat luas, maka akan ditunjukkan dengan hasil pengetsaan yang gelap, dan karbon rendah daerah berwarna terang pada HAZ baja karbon. Proses perlakuan panas setelah pengelasan serta temperatur servis dapat memperluas migrasi karbon [5].