20.044/H/04

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR

STUDI PENGARUH PERLAKUAN PANAS DAN VARIASI MEDIA PENDINGIN TERHADAP PRESIPITASI KARBIDA KROM PADA PENGELASAN SMAW BAJA TAHAN KARAT AISI 304

Rspe
623.843 2
yas
s-1
2002

PERPUSTAKAAN
ITS

Tgl. Terima	26-3-2004
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	220133

Oleh :

BAMBANG YASMONO
NRP. 4196.100.033

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2002

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGARUH PERLAKUAN PANAS DAN VARIASI MEDIA PENDINGIN TERHADAP PRESIPITASI KARBIDA KROM PADA PENGELASAN SMAW BAJA TAHAN KARAT AISI 304

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Untuk Menyelesaikan Program Sarjana
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Mengetahui / Menyetujui :

Pembimbing

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

Wing Hendro P.A.P, S.T., M.Eng.
NIP 132.133.972

SURABAYA

JANUARI 2002

LEMBAR PENGESAHAN REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR :

STUDI PENGARUH PERLAKUAN PANAS DAN VARIASI MEDIA PENDINGIN TERHADAP PRESIPITASI KARBIDA KROM PADA PENGELASAN SMAW BAJA TAHAN KARAT AISI 304

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

Dikerjakan oleh :

BAMBANG YASMONO
NRP. 4196.100.033

"Telah direvisi sesuai dengan daftar revisi"

Surabaya, Februari 2002

Mengetahui / Menyetujui :

Pembimbing I

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

Wing Hendro P.A.P, S.T., M.Eng.
NIP **132.133.972**

ABSTRACT

Level of corrosion resistance of austenitic stainless steel depends on its cooling rate through welding process and heat treatment. A slower cooling rate in range of sensitization temperature (800°C – 500°C) could provide a precipitation of chromium carbides in or near grain boundaries which susceptible to intergranular corrosion.

In this previous research, the influence of heat treatment and cooling process in relation with an rise of chromium carbides precipitation had been studied. A Temperature of heat treatment had chosen at 1000°C and with holding time at 5 minutes along. During cooling process, water, brine and oil had chosen as cooling medium. In order to well-understanding percentage of chromium carbides that may occur, the use of an Image Treatment Analysis Program and a qualitative visual inspection had made.

The alteration, because of both heat treatment and cooling process that using brine and water as medium, is reducing chromium carbides dissolves at or near grain boundaries. This situation leads to maintain a level of corrosion resistance.

ABSTRAK

Laju pendinginan pada proses pengelasan dan laku panas dari baja tahan karat austenitik sangat berpengaruh terhadap daya tahan korosi dari baja ini. Laju pendinginan yang lambat pada daerah range temperatur sensitis (800° C – 500° C) dapat menyebabkan timbulnya persipitasi karbida krom pada daerah batas butir, sehingga daerah sekitarnya sangat rawan terhadap korosi intergranular.

Pada penelitian ini telah dipelajari pengaruh laku panas dan proses pendinginan terhadap timbulnya persipitasi karbida krom dari hasil pengelasan SMAW baja tahan karat austenitik. Laku panas dikenakan pada temperatur 1000° C dan penahanan selama 5 menit yang dilanjutkan dengan proses pendinginan pada media: air, brine, oli, dan udara. Untuk mengetahui prosentase karbida krom yang terjadi, digunakan program Image Treatment Analysis dan pengamatan visual kualitatif.

Perubahan yang terjadi karena laku panas dan proses pendinginan yang menggunakan brine dan air adalah berkurangnya endapan karbida krom pada batas butirnya, sehingga daya tahan korosi dari baja ini dapat dipertahankan

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah, Tuhan Yang Maha Besar. Puji syukur penulis haturkan kehadirat Allah SWT atas segala karunia, kebesaran, rahmat dan inayah-Nya yang sangat besar sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul:

STUDI PENGARUH PERLAKUAN PANAS DAN VARIASI MEDIA PENDINGIN TERHADAP PRESIPITASI KARBIDA KROM PADA PENGELASAN BAJA TAHAN KARAT AISI 304

Tugas akhir ini salah satu syarat untuk melengkapi kurikulum pendidikan Strata-1 di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Sebagai manusia yang mempunyai fitrah penuh dengan keterbatasan dan kekurangan, maka penulis dengan kerendahan hati mohon maaf sebesar-besarnya atas kekurang sempurnaan dari tugas akhir ini. Besar harapan agar penulis diberikan suatu masukan berupa kritik dan saran untuk menuju kearah perbaikan dan kemajuan.

Semoga Allah Yang Maha Pemurah memberikan kegunaan dan manfaat bagi orang yang membaca dan mempelajarinya serta menjadikan sebagai tabungan amal di hari kemudian.

Akhir kata penulis berharap tugas akhir yang sederhana ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 2 pebuari 2002

Penulis

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucap syukur kepada Allah yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul " Studi Pengaruh Perlakuan Panas dan Variasi Media Pendingin terhadap Persipitasi Karbida Krom pada Pengelasan SMAW Baja tahan karat AISI 304" sebagai salah syarat kelulusan di jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Shalawat serta salam semoga selalu terlimpahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW. yang dengan keberadaannya penulis mampu menghadapi dunia dengan tuntunan dan petunjuk Ilahi yang Beliau bawa. Tidak lupa penulis ingin menyatakan terima kasih yang tulus kepada:

1. Kedua orang tuaku dan saudara-saudaraku HIKMATUL IMAN yang telah memberikan dukungan finansial dan spiritual.
2. Bunga hatiku yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
3. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc. Ph.D., selaku ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
4. Ir I.K.A. Pria Utama, M.Sc. Ph.D., selaku sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan FTK – ITS.
5. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, ST, M.Eng., selaku dosen pembimbing disamping memberikan pengarahan yang mampu menhidupkan diskusi-diskusi.
6. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, ST, M.Eng., selaku kepala Lab Konstruksi dan Kekuatan, atas izin penggunaan fasilitas dan bahan-bahan.
7. Kawan-kawan seperjuangan P-36, yang tanpa lelahnya memberi semangat untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini termasuk dukungan psikologis ketika penulis memasuki masa-masa sulit.
8. Kawan-kawan komunitas lantai 4 yang bersedia menemani penulisan laporan tugas akhir ini.
9. Seseorang yang tidak mau disebut namanya, yang telah dengan begitu teliti memeriksa sebagian besar naskah ini.
10. Pak yanto, Mas Wanto, Pak Didik, terima kasih atas bantuannya.
11. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penyiapan tugas akhir ini.

Akhirnya, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran atas hasil tugas akhir ini, karena sesungguhnya puji-pujian hanya untuk Tuhan.

DAFTAR ISI

ABSTRAK		i
ABSTRACT		ii
KATA PENGANTAR		iii
UCAPAN TERIMA KASIH		iv
DAFTAR ISI		v
DAFTAR GAMBAR		vii
DAFTAR TABEL		viii
DAFTAR LAMPIRAN		ix
BAB I	PENDAHULUAN	
	1.1. LATAR BELAKANG	1
	1.2. PERMASALAHAN	3
	1.3. TUJUAN PENELITIAN	4
	1.4. MANFAAT PENELITIAN	4
	1.5. BATASAN MASALAH	4
BAB II	DASAR TEORI	
	2.1. BAJA TAHAN KARAT	5
	2.2. BAJA TAHAN KARAT FERRITIK	7
	2.3. BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK	9
	2.4. BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK	11
	2.4.1. Ketahanan dan Karakteristik Korosi	12
	2.4.2. Modifikasi Komposisi dan Struktur	14
	2.4.3. Mekanisme Pembentukan Karbida Krom	15
	2.4.4 Proses Sentisasi	18
	2.4.5. Morfologi Karbida Krom	20
	2.5. SHELDED METAL ARC WELDING (SMAW)	22
	2.5.1. Bahan Fluks	24

2.5.2 Busur Las dan Mesin Las 25
2.5.3. Elektroda 27
2.5.4. Parameter Pengelasan 28
2.5.5 Siklus Temal 31
2.5.6. Problematik pada Pengelasan Stainless Steel 33
2.6 METODE OXALIC ETH TEST 35
2.7 PERLAKUAN PANAS 37
2.7.1 Pengaruh PWHT pada baja tahan karat austenitik 37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1. DIAGRAM ALUR PENELITIAN 40
3.2. BAHAN DAN PERALATAN PENELITIAN 41
3.3. PROSES PENGELASAN 41
3.4. PROSES LAKU PANAS 43
3.5. PROSES PENDINGINAN 43
3.6. PENGUJIAN METALOGRAFI 44
3.7. ANALISA KANDUNGAN KARBIDA KROM 45
BAB IV ANALISA
4.1. UJI METALOGRAFI 47
4.2. REKAPITULASI AKHIR 58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1. KESIMPULAN 61
5.2. SARAN 62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram fase Fe-Cr	7
Gambar 2.2	Diagram fase Fe-Cr untuk paduan dengan kandungan karbon 0,2%	8
Gambar 2.3	Diagram pengaruh kandungan Cr terhadap luas daerah austenit	9
Gambar 2.4	Diagram fase Fe-Cr untuk paduan dengan kandungan karbon1%	11
Gambar 2.5	Diagram ternary Fe-Cr-Ni untuk paduan dengan kandungan 18% Cr	12
Gambar 2.6	Karbida krom yang mengendap pada batas butir	17
Gambar 2.7	Diagram kelarutan karbon dalam Fe-18%Cr-8%Ni	18
Gambar 2.8	Endapan karbida krom pada logam hasil las- lasan	18
Gambar 2.9	Diagram pengaruh karbon terhadap lamanya waktu sensitisasi	19
Gambar 2.10	Variasi kandungan krom pada daerah batas butir	20
Gambar 2.11	Korosi intergranular pada baja tahan karat 304	20
Gambar 2.12	Pertumbuhan dendrit dari karbida krom	21
Gambar 2.13	Proses pembentukan karbida krom	21
Gambar 2.14	Las elektroda terbungkus	22
Gambar 2.15	Pemindahan logam cair	23
Gambar 2.16	Skema peralatan las SMAW	24
Gambar 2.17	Siklus termal pada baja tahan karat 304	32
Gambar 2.18	Korosi intergranular pada daerah HAZ baja tahan karat 304	35
Gambar 2.19	Struktur step	36
Gambar 2.20	Struktur dual	37
Gambar 2.21	Struktur ditch	37
Gambar 2.22	Diagram kelarutan karbon dalam paduan Fe-18%Cr-8%Ni	39
Gambar 3.1	Persiapan benda kerja	40
Gambar 3.2	Elektrolisa etching	43
Gambar 3.3	Hasil perhitungan fraksi volume dengan metode areal analisis	40
Gambar 4.1	Daerah pengambilan foto mikro	44
Gambar 4.2	Endapan karbida krom pada batas butir setelah PWHT	60

DAFTAR TABEL

TABEL 2.1	Komposisi kimia baja tahan karat feritik	9
TABEL 2.2	Komposisi kimia baja tahan karat martensit	10
TABEL 2.3	Komposisi kimia baja tahan karat austenit	12
TABEL 2.4	Pengaruh PWHT pada baja tahan karat 304	38
TABEL 3.1	Parameter Pengelasan	40
TABEL 4.1	Hasil perhitungan prosentase karbida krom pada lokasi 1	56
TABEL 4.2	Hasil perhitungan prosentase karbida krom pada lokasi 2	56
TABEL 4.3	Hasil perhitungan prosentase karbida krom pada lokasi 3	57
TABEL 4.4	Rekapitulasi dari perhitungan karbida krom	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Standard pengujian korosi intergranular untuk Baja tahan karat
Lampiran 2	Foto makro hasil pengujian metalografi 2.a Benda kerja 1 Benda kerja 2 2.b Benda kerja 3 Benda kerja 4 2.c Benda kerja 5
Lampiran 3	Contoh tampilan hasil perhitungan program image treatment analisis

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Pada saat ini penggunaan material logam baik ferrous dan non ferrous di bidang kontruksi, transportasi, industri pulp, industri makanan, perkapalan, dan peralatan teknik lainnya sudah tidak asing lagi. Hal ini disebabkan karena Material logam memiliki beberapa kelebihan yang tidak dimilki oleh bahan lainnya. Kelebihan nya terletak pada : kekuatan, kekakuan, kekerasan yang tinggi dan keuletannya. Walaupun demikian bukan berarti material logam tidak memiliki kekurangan, salah satu kekurangannya adalah Material logam mudah sekali mengalami korosi : yaitu penurunan mutu logam akibat dari reaksi kimia dengan lingkungannya. Kerugian yang dapat ditimbulkan akibat korosi antara lain :

1. Berkurangnya kekuatan/ketangguhan sehingga dapat menimbulkan akibat yang lebih serius, misalnya robohnya suatu kontruksi, meledaknya suatu pipa / bejana bertekanan.

2. Terhentinya proses produksi akibat penggantian komponen yang rusak.

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

3. Turunnya mutu produk akibat kontaminasi hasil korosi terhadap bahan-bahan yang digunakan dalam proses produksi.

4. Tingginya biaya bahan bakar dan energi akibat kebocoran uap, bahan bakar, air atau udara mampat dari pipa-pipa yang terkena korosi.

Melihat kerugian-kerugian yang mungkin ditimbulkan oleh korosi ini maka perlu dilakukan penelitian penyebab timbulnya korosi dan bagaimana cara mengatasinya. Salah satu upaya itu adalah dengan dikembangkannya suatu baja paduan (alloy steel) yang mempunyai daya tahan tinggi terhadap korosi. Baja tersebut memilki kandungan chrom yang tinggi dan nikel untuk menambah daya tahan terhadap korosi dan kekuatannya. Di pasaran baja ini dikenal dengan nama Stainless steel atau baja tahan karat.

Baja tahan karat ini banyak digunakan pada kontruksi yang mengalami kontak langsung dengan media yang korosif. Persoalan akan muncul apabila baja tahan karat ini mendapakan input panas akibat perlakuan panas maupun proses pengelasan yang dapat menurunkan sifat tahan korosinya.

Berkurang sifat tahan korosi pada baja tahan karat disebabkan karena adanya endap karbida krom yang mengendap di batas butir yang timbul akibat peristiwa sensitisasi, dimana pada temperatur sensitis (500°C-800°C) dapat memberikan energi yang cukup bagi atom krom untuk berdifusi dari larutan padat Fe-Cr dan berikatan dengan atom karbon membentuk senyawa karbida krom yang

akan mengendap pada daerah batas butir. Sehingga daerah sekitarnya sangat rentan terserang korosi batas butir atau yang lebih dikenal dengan korosi intergranular.

Untuk itu perlu dilakukan suatu penelitian mengenai pengaruh perlakuan panas dan metode pendinginan pada berbagai media pendingin untuk meminimumkan terjadinya presipitasi karbida krom dan mendapatkan sifat mekanik yang menguntungkan.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Korosi intergranular pada baja tahan karat terjadi bila daerah batas butir terserang akibat adanya endapan karbida krom. Karbida krom yang mengendap pada batas butir ini terjadi akibat adanya presipitasi karbida krom pada temperatur sensitis (500°C-800°C).

Presipitasi karbida krom dapat dikurangi dengan perlakuan panas pada hasil pengelasan baja tahan karat yang bertujuan untuk melarutkan kembali karbida krom pada larutan padatnya. Proses perlakuan panas ini harus dilanjutkan dengan pendinginan, dimana laju pendinginannya dipercepat sehingga tidak terlalu lama berada pada temperatur sensitis. Dengan demikian tidak memberikan waktu yang cukup bagi atom krom berdifusi dari larutan padatnya dan berikatan dengan atom karbon membentuk karbida krom.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah mempelajari pengaruh pelaksanaan perlakuan panas dan pendinginan yang dilakukan di berbagai macam media pendinginan terhadap kandungan karbida krom yang terjadi pada hasil pengelasan baja tahan karat AISI 304.

1.4. MANFAAT PENELITIAN

Hasil dari penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan suatu prosedur yang harus dilakukan setelah pengelasan baja tahan karat AISI 304 dan penggunaan media pendingin yang tepat untuk meminimumkan terjadinya presipitasi karbida krom sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya korosi intergranular.

1.5. BATASAN MASALAH

Untuk membatasi permasalahan agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penulisan, maka diberikan batasan permasalahan pada penulisan, yaitu :

a. Material

   Logam induk : Baja tahan karat AISI 304 dengan komponen utama Krom (18%-20%), Nikel (8%-11%), Karbon (0.04%-0.05%) dengan ukuran tebal 12 mm.

   Logam pengisi : E 308 (AWS A5.4-69).

b. Proses pengelasan (SMAW).

c. Proses laku panas

Spesimen dipanaskan sampai temperatur 1000°C dengan waktu penahannan 5 menit dan didinginkan di berbagai media pendingin.

d. Proses pendinginan

Proses pendingin setelah mengalami perlakuan panas dilakukan dengan cara mencelup langsung (quenching) kedalam media pendingin (air, udara, oli, brine).

e. Pada penelitian ini hanya menganalisa terjadinya presipitasi karbida krom pada batas butir dari hasil pengelasan suatu baja tahan karat austenit, sedangkan untuk cacat pengelasan lainnya yang mungkin timbul pada penelitian ini tidak dilakukan suatu analisa.

BAB II

DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

2.1. BAJA TAHAN KARAT

Baja tahan karat (stainless steel) sebenarnya adalah baja paduan dengan kadar paduan tinggi (high alloy steel), berkualitas tinggi dan memiliki beberapa sifat serta karakteristik penting yang tidak dimiliki kelompok paduan besi lainnya seperti :

1. Mempunyai ketahanan korosi yang tinggi pada berbagai lingkungan terutama lingkungan yang mengandung air.
2. Tahan terhadap temperatur tinggi dan rendah.
3. Ketahanan yang baik terhadap oksidasi.
4. Mempunyai kekuatan serta keuletan yang baik pada temperatur yang tinggi.

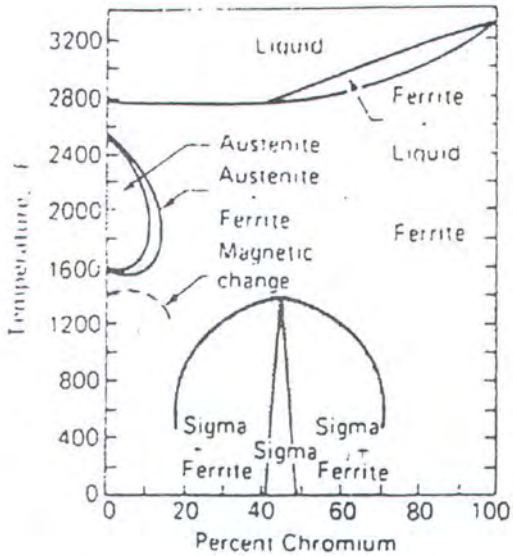
Baja disebut stainless bila :

1. Kadar Cr-nya > 10,5 %.
2. Harus dapat membentuk kondisi pasif (passivity).

Paduan utama penyusun baja tahan karat adalah kromium (Cr) dan Nikel (Ni), beberapa unsur paduan lainnya seperti Mangan (Mg), Silikon (Si) dan Molebdenum (Mo) juga sering ditambahkan sebagai penstabil.

Pada baja tahan karat, kromium merupakan unsur yang menjadikan baja ini memiliki sifat tahan karat. Sifat tahan karat pada Stainless steel sangat tergantung

pada sebuah selaput tipis permukaan pasif kromium oksida transparan, selaput ini melekat kuat pada permukaan baja sehingga melindungi baja ini dari lingkungan korosif. Untuk memperoleh gambaran yang jelas tentang struktur, tranformasi fase yang mungkin dan sifat-sifat dari baja tahan karat. Kita perlu mempelajari diagram fase sistem Fe-Cr yang merupakan dasar dari pembentukan baja tahan karat seperti yang ditunjukkan pada gb. 2.1.



Gambar 2.1 Diagram fase Fe-Cr [Grosvenor. A.W, 1962]

Dari diagram fase sistem Fe-Cr diatas dapat diketahui bahwa fase-fase yang terbentuk antara lain :

- Ferit (BCC).

Pada temperatur kamar akan terbentuk struktur ferit sampai dengan 20%Cr.

- Austenit (FCC).

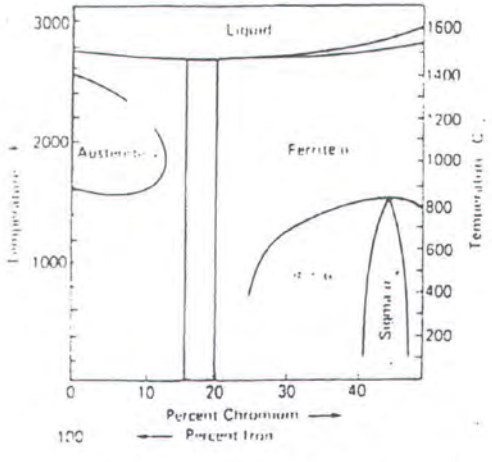
- Sigma.

Sehingga memungkinkan baja tahan karat dapat memiliki struktur ferit, austenit atau dapat dikeraskan membentuk martensit. Berdasarkan komposisi kimia dan struktur mikronya secara umum baja tahan karat dibedakan dalam tiga kelompok yaitu :

- Baja tahan karat Martensitik.
- Baja tahan karat Ferritik.
- Baja tahan karat Austenitik.

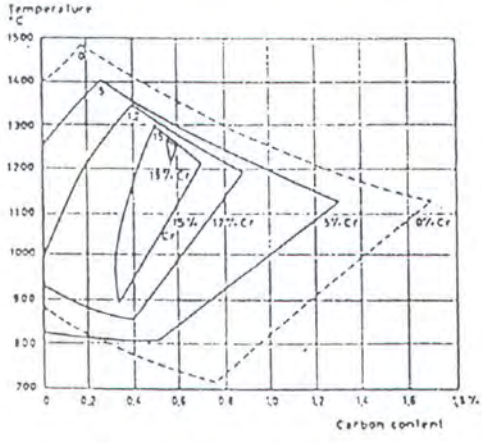
2.2. BAJA TAHAN KARAT FERRITIK

Baja tahan karat ferritik adalah baja krom dengan kandungan krom antara 14 – 27 % dan carbon antara 0,08 – 0,2 %. Baja ini mempunyai struktur mikro berupa ferrite alfa dan struktur latice BCC. Pada baja ini krom merupakan elemen pembentuk ferrite (ferrite former) semakin tinggi kadar krom dalam paduan akan membuat fase ferrite menjadi stabil seperti yang terlihat pada gb. 2.2.



Gambar 2.2 diagram fase iron – chromium untuk paduan dengan kandungan carbon 0,2 % [Zapffe.C.A, 1959]

Pada gambar terlihat bahwa pada kadar krom sebesar 12 % hanya fase ferrite saja yang terjadi hingga temperatur kamar. Kestabilan ferite yang mencapai temperatur kamar membuat baja ini tidak dapat dikeraskan dengan laku panas, tetapi dapat dicold work dan dianneal. Selain itu kadar krom yang tinggi dalam paduan menyebabkan daerah austenit akan menjadi sempit, sebaliknya daerah feririte akan bertambah luas seperti terlihat pada gb. 2.3.



Gambar 2.3 Diagram pengaruh krom terhadap luas daerah austenit [Suherman.W, 1998]

Satu-satunya proses laku panas yang dapat dilakukan pada baja ini adalah annealing yang bertujuan untuk menghilangkan tegangan setelah pengelasan atau cold work guna meningkatkan keuletan serta sifat tahan korosinya. Kelebihan dari baja ini adalah kekuatannya yang relatif tinggi dan tahan terhadap stress corrosion cracking, tetapi mempunyai weldability kurang baik. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan fase pada waktu pengelasan yang mengakibatkan baja ini menjadi getas dan timbulnya endapan karbida.

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja tahan karat ferritik

AISI Type	Composition* (%)			
	Carbon	Chromium	Manganese	Other†
405	0.08	11.5 – 14.5	1.0	0.1 – 0.3 Al
430	0.12	14.0 – 18.0	1.0	–
430F	0.12	14.0 – 18.0	1.25	0.060 P, 0.15 S (min), 0.60 Mo (opt)
430FSe	0.12	14.0 – 18.0	1.25	0.060 P, 0.060 S, 0.15 Se (min)
442	0.20	18.0 – 23.0	1.0	–
446	0.20	23.0 – 27.0	1.5	0.25 N

* Single values denote maximum percentage unless otherwise noted.

† Unless otherwise noted, other elements of all alloys listed include maximum contents of 1.0% Si, 0.040% P, and 0.030% S. Balance is Fe.

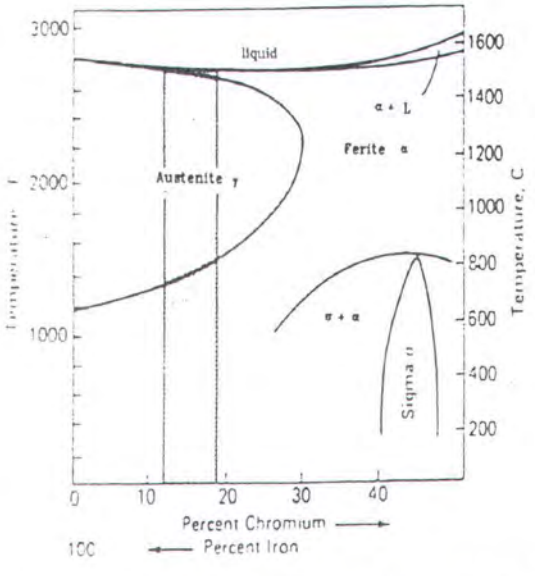
2.3. BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK

Baja tahan karat ini dikembangkan untuk mendapatkan paduan yang mempunyai sifat tahan korosi yang baik dan dapat dikeraskan dengan proses laku panas. Baja ini mempunyai kadar krom antara 11–18 % dan kadar karbon antara 0.15–1.2 %. Kadar karbon yang tinggi pada baja tahan karat ini menyebabkan daerah gamma (austenit) akan bertambah besar, sehingga ketika dipanaskan akan terbentuk fase austenit yang memungkinkan untuk melakukan quench-hardening. Seperti terlihat pada gambar 2.4. Kelompok baja tahan karat ini memiliki beberapa sifat khusus antara lain bersifat magnetik, dapat dihot work, dapat dikeraskan, dicold work, machinability yang baik dan memperlihatkan sifat tahan korosi terhadap cuaca dan beberapa bahan kimia yang cukup baik. Sifat tahan korosinya akan bertambah baik jika baja ini dalam kondisi dikeraskan, tetapi masih belum sebaik sifat tahan korosi dari kelompok ferritik dan austenitik. Yang termasuk

dalam kelompok baja tahan karat ini adalah tipe 403, 410, 416, 420, 440A, 502 dan 501. Yang paling populer dari kelompok ini adalah type 410 dan 416 yang sering digunakan untuk turbine blade dan benda tuangan tahan korosi.

Tabel 2.2 komposisi kimia baja tahan karat martensitik

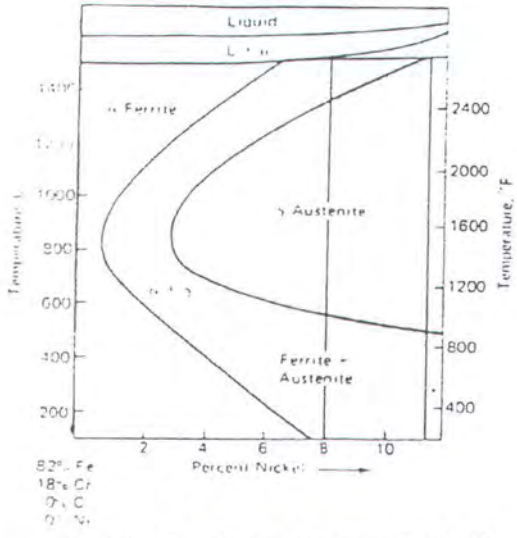
AISI Type	Composition* (%)		
	Carbon	Chromium	Other
403	0.15	11.5 – 13.0	0.5 Si
410	0.15	11.5 – 13.5	–
414	0.15	11.5 – 13.5	1.25 – 2.5 Ni
416	0.15	12.0 – 14.0	1.25 Mn, 0.15 S (min), 0.060P, 0.60 Mo (opt)
416Se	0.15	12.0 – 14.0	1.25 Mn, 0.060 P, 0.15 Se (min)
420	0.15 (min)	12.0 – 14.0	–
431	0.20	15.0 – 17.0	1.25 – 2.5 Ni
440A	0.60 – 0.75	16.0 – 18.0	0.75 Mo
440B	0.75 – 0.95	16.0 – 18.0	0.75 Mo
440C	0.95 – 1.20	16.0 – 18.0	0.75 Mo



Gambar 2.4 Diagram fase iron-cromium untuk paduan dengan kandungan karbon 1% [Zapffe.C.A, 1959]

2.4. BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK

Kelompok ini terdiri dari baja krom – nikel (seri 3xx) dan baja krom nikel – mangan (seri 2xx), dengan jumlah kadar krom dan nikel tidak kurang dari 23%. Berstruktur austenit, non magnetik, non hardenable, mudah dihot work dan agak sulit dicold work. Baja tahan karat ini dihasilkan dengan menambahkan elemen penstabil austenit (austenit stabilizer) seperti nikel atau mangan pada paduan besi kromium seperti yang terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 diagram ternary Fe-Cr-Ni
Untuk panduan dengan kandungan Cr 18% [Zapffe.C.A, 1959]

MILIK PERPUSTAKAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH - NOPEMBER

Pada gambar 2.5 terlihat bila nikel ditambahkan dalam jumlah yang cukup akan menyebabkan daerah austenit akan bertambah luas dan sebaliknya akan menekan pembentukan alfa ferrite. Penambahan nikel minimal 8% memungkinkan terbentuknya struktur austenite yang stabil pada temperatur kamar yang menyebabkan baja ini tidak mengalami tranformasi selama proses perlakuan panas.

Kandungan krom dan nikel yang tinggi pada baja ini menyebabkan baja ini mempunyai daya tahan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan baja tahan karat lainnya.

Tabel 2.3 Komposisi kimia baja tahan karat austenit

AISI Type	Composition* (%)			
	Carbon	Chromium	Nickel	Other†
201	0.15	16.0 – 18.0	3.5 – 5.5	0.25 N, 5.5 – 7.5 Mn, 0.060 P
202	0.15	17.0 – 19.0	4.0 – 6.0	0.25 N, 7.5 – 10.0 Mn, 0.060 P
301	0.15	16.0 – 18.0	6.0 – 8.0	–
302	0.15	17.0 – 19.0	8.0 – 10.0	–
302B	0.15	17.0 – 19.0	8.0 – 10.0	2.0 – 3.0 Si
303	0.15	17.0 – 19.0	8.0 – 10.0	0.20 P, 0.15 S (min), 0.60 Mo (opt)
303Se	0.15	17.0 – 19.0	8.0 – 10.0	0.20 P, 0.06 S, 0.15 Se (min)
304	0.08	18.0 – 20.0	8.0 – 12.0	–
304L	0.03	18.0 – 20.0	8.0 – 12.0	–
305	0.12	17.0 – 19.0	10.0 – 13.0	–
308	0.08	19.0 – 21.0	10.0 – 12.0	–
309	0.20	22.0 – 24.0	12.0 – 15.0	–
309S	0.08	22.0 – 24.0	12.0 – 15.0	–
310	0.25	24.0 – 26.0	19.0 – 22.0	1.5 Si
310S	0.08	24.0 – 26.0	19.0 – 22.0	1.5 Si
314	0.25	23.0 – 26.0	19.0 – 22.0	1.5 – 3.0 Si
316	0.08	16.0 – 18.0	10.0 – 14.0	2.0 – 3.0 Mo
316L	0.03	16.0 – 18.0	10.0 – 14.0	2.0 – 3.0 Mo
317	0.08	18.0 – 20.0	11.0 – 15.0	3.0 – 4.0 Mo
321	0.08	17.0 – 19.0	9.0 – 12.0	Ti (5 x %C min)
347	0.08	17.0 – 19.0	9.0 – 13.0	Cb + Ta (10 x %C min)
348	0.08	17.0 – 19.0	9.0 – 13.0	Cb + Ta (10 x %C min but 0.10 Ta max), 0.20 Co

2.4.1. Ketahanan dan Karakteristik Korosi

Pada baja tahan karat kromium merupakan unsure yang menjadikan baja ini memiliki sifat tahan karat. Sifat tahan karat pada baja ini sangat tergantung pada sebuah selaput tipis permukaan pasif kromium oksida yang melekat kuat pada permukaan baja, sehingga melindungi baja ini dari lingkungan korosif. Lapisan kromium oksida ini diperoleh dari hasil reaksi antara krom dengan oksigen. Reaksi ini dapat terjadi karena dalam deret elektrokimia krom merupakan logam yang kurang mulia jika dibandingkan dengan besi, sehingga krom lebih mudah teroksidasi (bereaksi dengan oksigen) membentuk lapisan pasif kromium oksida.

Untuk mempertahankan keberadaan selaput ini diperlukan krom dengan kandungan sedikitnya 11 persen dalam bahan pengikat. Ketebalan lapisan ini akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Hal ini ditunjukkan oleh perubahan warna yang terjadi pada permukaannya, pada temperatur 350°C-500°C warna lapisan oksida ini berubah dari kuning coklat menjadi biru jingga, bila temperatur semakin meningkat lapisan ini akan tampak sebagai kerak hitam yang melekat pada permukaan baja.

Kandungan karbon yang terlalu tinggi diatas 0,03 persen dapat mengganggu perilaku korosi baja ini. Karena dapat menyebabkan terbentuknya karbida krom pada daerah batas butir, sehingga kandungan krom di beberapa tempat bahan pengikat kurang dari batas minimum untuk mempertahankan keberadaan selaput oksida kromium. Yang menyebabkan ketahanan korosi dari baja ini berkurang.

Dibawah ini adalah beberapa karakteristik korosi dari baja tahan karat :

a. Baja tahan karat mudah mengalami pitting corrosion pada lingkungan tertentu.
b. Mudah terserang crevice corrosion.
c. Mudah terserang korosi bila berada dalam larutan kloride.
d. Beberapa baja tahan karat mudah mengalami strees corrosion cracking bila berada didalam halogen dan lingkungan tertentu.
e. Mudah terserang intergranular corrosion bila mengalami sensitisasi.
f. Mudah mengalami galvanisasi corrosion pada skala mikro, bila strukturnya terdiri dari dua fase.

2.4.2. Modifikasi komposisi dan struktur

Paduan dasar dari baja tahan karat austenitik adalah tipe 302 yang kemudian dikembangkan menjadi tipe lainnya. Tipe 302 merupakan baja tahan karat pertama mengandung 18% Cr, 8% Ni dengan kandungan karbon maksimum 0,15%. Dengan menurunkan batas maksimum kandungan karbon menjadi 0,08% tercipta tipe 304 (tipe yang sangat populer) dengan weldability (sifat mampu las) yang sangat baik.

Diantara modifikasi komposisi yang penting adalah :

1. Penambahan molybdenum untuk ketahanan korosi terhadap pitting corrosion dan crevice corrosion.
2. Menurunkan kandungan karbon (tipe 304L, 309S, 310S) atau menjadikannya stabil dengan menambahkan titanium atau columbium dan tantalum (tipe 321, 347, 348) untuk menekan terjadinya korosi batas butir akibat proses pengelasan.
3. Penambahan nikel dan krom untuk memperbaiki ketahanan oksidasi pada temperatur tinggi dan memperbaiki kekuatannya (tipe 310, 314, 330).
4. Penambahan nikel dan krom untuk memperbaiki ketahanan terhadap korosi tegangan dan digunakan pada pemakaian yang membutuhkan cold formability.
5. Penambahan silikon pada (tipe 302B) akan meningkatkan ketahanan oksidasi pada temperatur tinggi.

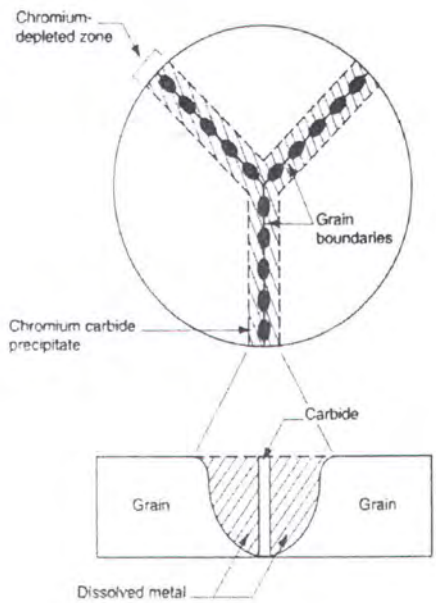
6. Penambahan nitrogen pada (tipe 304N) untuk meningkatkan kekuatannya.
7. Penambahan sulfur dan selenium pada (tipe 303, 303Se) untuk mempermudah machining dan mendapatkan permukaan yang bagus setelah proses finishing.

2.4.3. Mekanisme pembentukan karbida krom

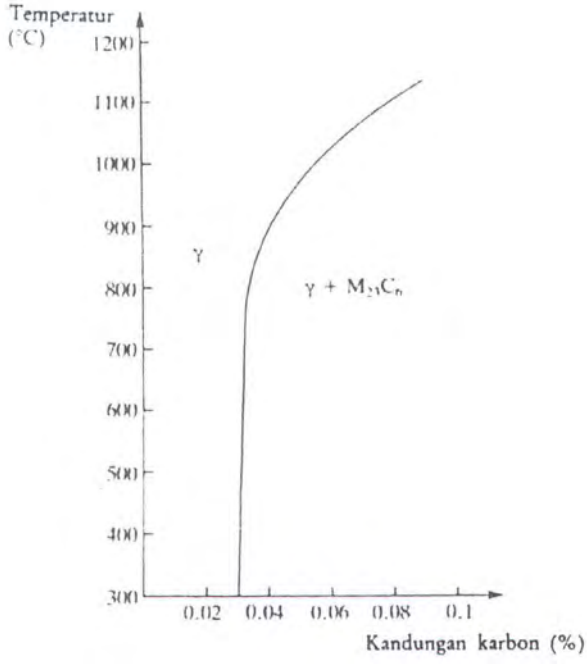
Unsur karbon dan krom merupakan unsur yang sangat berpengaruh terhadap sifat tahan karat dari austenitik stainless steel. Berkurangnya sifat tahan karat pada baja ini disebabkan oleh berkurang unsur krom pada daerah di sekitar batas butir. Pemiskinan krom ini terjadi akibat adanya peristiwa Sensitisasi, dimana pada temperatur sensitis (500°C-850°C) memberikan energi yang cukup pada atom krom berpresipitasi dengan cara berdifusi dari larutan padatnya menuju batas butir dan berikatan dengan unsur karbon membentuk senyawa karbida krom ($M_{23}C_6$) dan mengendap pada batas butir, ditunjukkan pada gambar 2.6. Hal ini bisa terjadi karena daerah batas butir merupakan daerah dengan energi tinggi dimana atom-atom didaerah ini tidak terikat dalam suatu ikatan rapat sehingga akan mempermudah terjadinya pembentukan fase-fase baru.

Untuk memahami terjadinya presipitasi karbida krom akan lebih jelas dengan mempelajari hubungan kesetimbangan dan kelarutan karbon seperti terlihat pada gambar 2.7. Pada gambar tersebut terlihat apabila kandungan karbon kurang dari 0.03 % maka hanya fase γ saja yang fase kesetimbangan yang mantap.

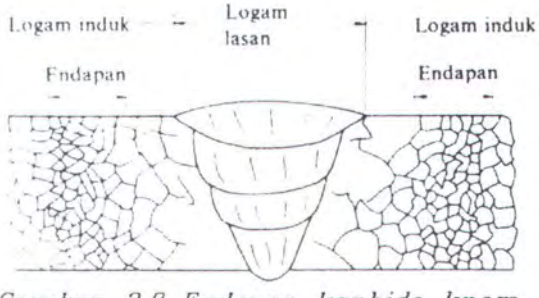
Sedangkan untuk kandungan karbon yang lebih dari 0,03% fase yang mantap adalah fase γ dan suatu campuran karbida yang rumusnya adalah ($M_{23}C_6$) dan disebut Karbida krom. Hal ini disebabkan oleh kemampuan dari austenit melarutkan karbon terbatas, pada temperatur sensitis (500°C-850°C) kemampuan austenit untuk melarutkan carbon hanya sebesar 0,03 persen.



Gambar 2.6 Karbida krom yang mengendap pada batas butir [Jones.DennyA, 1992]



Gambar 2.7 Diagram kelarutan karbon dalam baja tahan karat austenitik
[Trethewey.KR and Chamberlain.J, 1988]

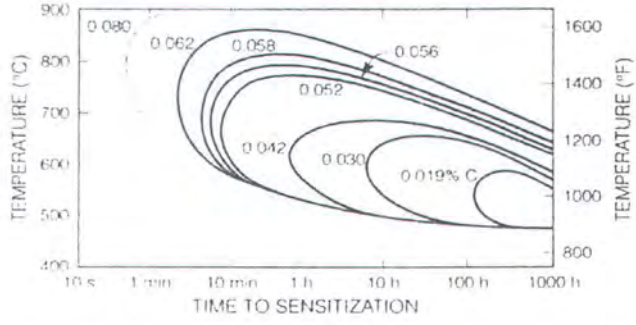


Gambar 2.8 Endapan karbida krom padalogam las-lasan

[okumura.T and Wiryosumarto.H, 1981]

2.4.4. Proses Sensitisasi

Proses sensitisasi sangat dipengaruhi oleh besarnya temperatur pemanasan, lamanya proses sensitisasi dan kadar dari karbon, semakin tinggi kadar karbon dan semakin lama austenitik stainless steel berada dalam range temperatur sensitis (500°C-850°C) laju dari presipitasi karbida krom pada batas butir semakin singkat sehingga karbida krom yang mengendap pada daerah batas butir semakin banyak.

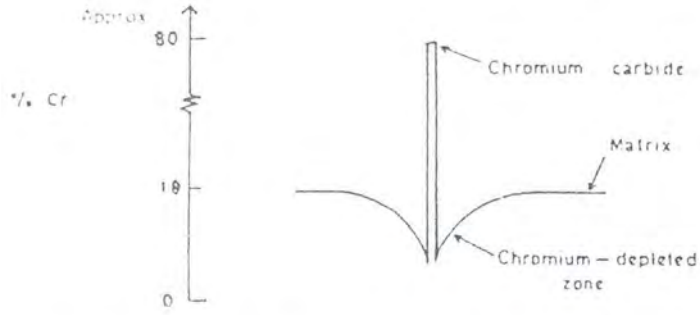


Gambar 2.9 Diagram pengaruh carbon terhadap lamanya waktu sensitisasi [Jones.DennyA, 1992]

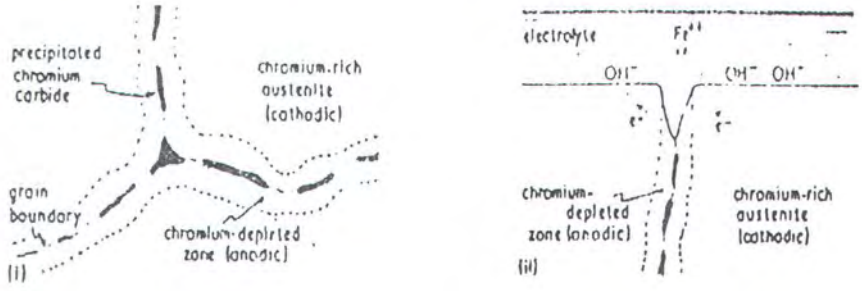
Baja tahan karat austenitik yang telah mengalami proses sensitisasi akan mudah terserang korosi batas butir (intergranular corrosion). Korosi ini tidak menyerang daerah matrik melainkan menyerang daerah disekitar tempat terjadinya karbida krom, karena pada daerah sekitar batas butir kandungan kromnya mengalami penurunan hingga kurang dari 10-12%. Sedangkan pada daerah batas butir yang terdapat endapan karbida krom kandungan kromnya cukup tinggi antara 70-80% seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.

Perbedaan kandungan krom antara batas butir dan daerah di sekitar batas butir akan menimbulkan beda pontensial, dimana daerah yang kaya akan

kandungan krom (daerah batas butir) akan bersifat sebagai katoda sedangkan daerah yang miskin akan kandungan krom (daerah sekitar batas butir) bersifat sebagai anoda, sehingga terbentuk sel galvanic lokal yang sangat kecil bila dilengkapi dengan larutan elektrolit. Mekanisme ini digambarkan skematis pada gambar 2.11.



Gambar 2.10 variasi kandungan Cr disekitar batas butir [Peckner.D and Bernstein, 1977]

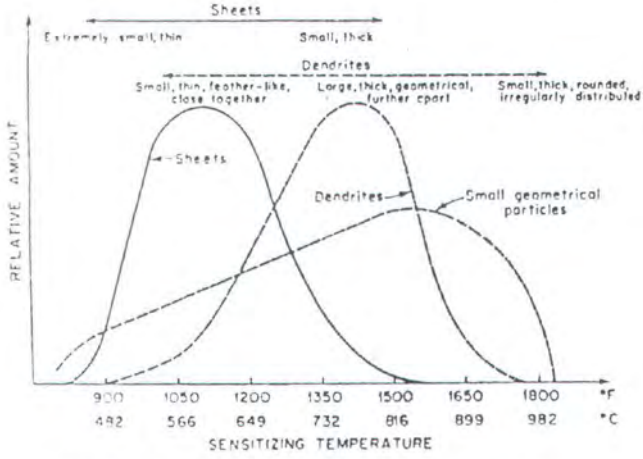


Gambar 2.11 Korosi intergranular pada baja tahan karat 304 [Suherman.W, 1998]

2.4.5. Morfologi karbida krom

Pada temperatur awal saat terjadinya presipitasi karbida krom, pada umumnya karbida krom mempunyai bentuk serpih menyerupai pelat tipis.. Apabila temperatur meningkat dari 600°C - 700°C karbida krom akan berubah menjadi seperti bulu ayam yang diawali pada perpotongan batas butir dan tumbuh dari titik tersebut. Dengan bertambahnya waktu, struktur yang semula berbentuk serpih secara serempak akan menebal dan menjadi besar. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.12. Pada temperatur yang lebih tinggi karbida merupakan partikel yang berbentuk geometris tertentu, dimana bentuknya tergantung dari orientasi batas butir, derajat ketidak sesuaian dan temperatur. Mode pembentukan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.13. Struktur dari karbida akan mengikuti matriknya dimana matrik ini akan mempengaruhi bentuk dari karbida. Sedangkan penebalan dari karbida terjadi karena pertumbuhannya searah dengan arah pararel butir.

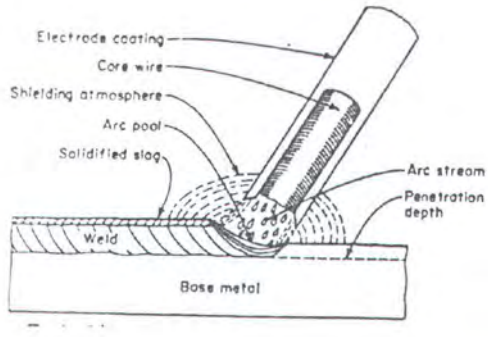
Gambar 2.12 Pertumbuhan dendrit karbida krom pada baja tahan karat 304 [Peckner.D and Bernstein, 1977]



Gambar 2.13 Proses pembentukan karbida krom [Peckner.D and Bernstein, 1977]

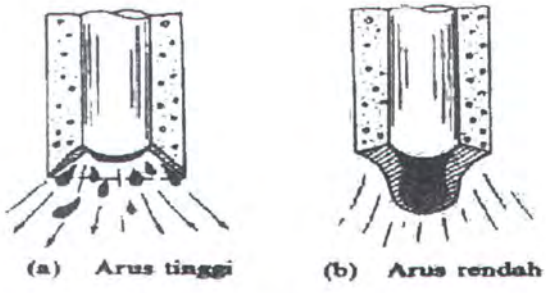
2.5. SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW)

SMAW atau las elektroda terbungkus adalah salah satu cara proses pengelasan yang banyak digunakan pada waktu ini. Dalam pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan flux. Busur listrik akan terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda seperti yang terlihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Las dengan elektroda terbungkus [Peckner.D and Bernstein, 1977]

Panas yang dihasilkan oleh busur listrik akan mencairkan logam induk dan ujung elektroda dan membeku bersama. Proses pemindahan logam elektroda ini terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butiran logam yang akan terbawa oleh arus busur listrik. Pola pemindahan logam cair yang berasal dari elektroda sangat mempengaruhi sifat mampu las dari material, dimana logam akan mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus dan sebalik nya mempunyai sifat mampu las yang jelek bila pemindahan terjadi dengan butiran yang kasar seperti tampak pada gambar 2.15



Gambar 2.15 Pemindahan logam cair
[okumura.T and, Wiryosumarto.H, 1981]

Pola pemindahan logam cair ini sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluk. Selama proses pengelasan bahan fluk akan mencair dan membentuk terak yang berfungsi sebagai penghalang oksidasi. Pada beberapa bahan fluk bahannya tidak dapat terbakar tetapi berubah menjadi gas yang berfungsi sebagai pelindung logam cair terhadap oksidasi dan memantapkan busur.

Panas yang dihasilkan dalam pelaksanaan proses pengelasan SMAW dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$H = \frac{E \times I \times f}{V}$$

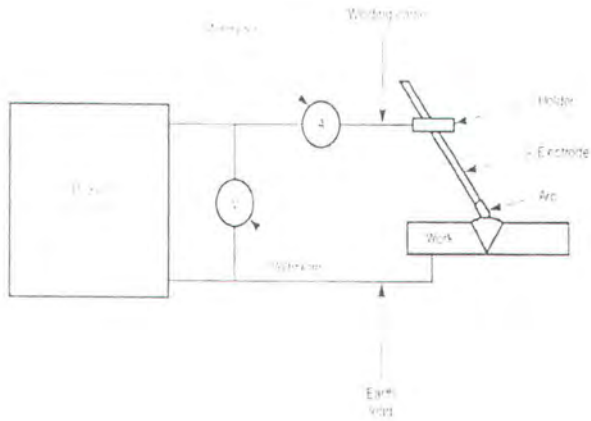
dimana : H = panas input (joule/mm)

E = tegangan pengelasan (volt)

I = kuat arus pengelasan (ampere)

V = kecepatan pengelasan (mm/det)

f = efesiensi pemindahan panas yang besarnya 6,8-1,0



Gambar 2.16 Skema peralatan las SMAW [okumura.T and Wiryosumarto.H, 1981]

2.5.1. Bahan fluks

Dalam las elektroda terbungkus, flux memegang peranan penting karena flux dapat berfungsi sebagai :

a. Pemantap busur dan penyebab lancarnya pemindahan butiran cairan logam.

b. Pembentuk terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara sekitar.

c. Sumber unsur-unsur paduan.

Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan yang tertentu. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam: bahan pemantap busur, pembuat terak, penghasil gas, unsur paduan, bahan pengikat, deoksidator. Bahan-bahan tersebut antara lain adalah oksida logam, karbonat, silikat, fluorida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi.

2.5.2. Busur listrik dan Mesin las

Dalam las elektroda terbungkus, busur listriknya dapat ditimbulkan dengan menggunakan listrik arus bolak balik atau dikenal dengan alternating current (AC) dan menggunakan listrik arus searah atau direct current (DC). Pemilihan busur listrik ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : power yang tersedia, kebutuhan pengelasan, pertimbangan harga, mudahnya penggunaan dan kemudahan dalam perawatannya. Sehingga busur listrik AC lebih banyak digunakan dari pada busur las DC karena harganya yang murah, pengunaannya mudah dan sederhana perawatannya, akan tetapi busur yang dihasilkannya kurang stabil. Keunggulan penggunaan listrik DC adalah mantapnya busur yang ditimbulkan, sehingga sangat sesuai untuk pengelasan pelat-pelat yang amat tipis. Di samping itu generator arus searah dapat digerakkan dengan mudah dengan motor-motor bakar. Sehingga menyebabkan mesin-mesin las busur listrik DC banyak digunakan di lapangan dimana sumber listrik tidak tersedia.

Mesin las dapat dikatakan baik bila kenaikan dan penurunan tenaganya dapat di kontrol, mudah pengoperasiannya dan mudah perawatannya. Ada tiga jenis mesin las yang banyak di pergunakan dalam proses las busur listrik yaitu :

a. **Mesin AC transformer**

Mesin las AC atau mesin las AC transformer biasanya menggunakan sumber listrik yang berasal dari PLN. Arus listrik yang berasal dari PLN adalah arus AC yang mempunyai voltage tinggi dan ampere rendah. Dengan Mesin ini maka voltage dan ampere akan dirubah menjadi voltage rendah dan ampere tinggi sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan untuk pengelasan. Mesin AC transformer biasanya berbentuk kecil dan kompak.

b. **Mesin AC/DC tranformer-rectifier**

Mesin AC/DC tranformer-rectifier pada dasarnya sama dengan mesin AC tranrformer, hanya pada mesin ini ada penambahan rectifier. Di mana arus bolak- balik (AC) disuplai oleh trafo yang kemudian didalam rectifier akan diubah menjadi arus searah (DC).

c. **Mesin DC**

Mesin DC untuk pengelasan busur listrik dapat di bagi lagi menjadi :

- Rectifier
- Generator DC

Dimana, rectifier merubah arus bolak-balik menjadi arus searah. Sedangkan pada generator DC, arus dihasilkan oleh perputaran angker dinamo pada dinamo listrik, sehingga membutuhkan suatu motor bakar untuk menggerakannya, motor bakar yang biasanya di pakai adalah motor diesel.

2.5.3. Elektroda

Elektroda adalah kawat logam berlapis yang memiliki komposisi sama dengan logam induk yang akan dilas. Pemilihan elektroda yang di pakai untuk pengelasan tergantung dari proses pengelasan, weldability logam induk dan kebutuhan hasil hasil pengelasan yang diminta. Secara umum sifat bahan elektroda harus memenuhi kebutuhan dan persyaratan pengelasan antara lain : sebagai logam pengisi, penetrasi yang sesuai, gas pelindung, terak slag, busur yang cocok dan stabil. Pada semua pengelasan baja tahan karatkomposisi logam pengisi harus mempunyai kesesuaian dengan logam dasar. Spesifikasi AWS A5.4 menunjukan daftar lebih dari 20 klasifikasi utama electrode baja baja tahan karat, komposisi nominal dan sifat mekanis minimal. Untuk meningkatkan mutu sambungan las, pembuat elektrode biasanya menambahkan komposisi khusus atau melakukan modifikasi antara lain dengan menetapkan atau membatasi kadar C untuk memperbaiki ketahanan korosi, atau menaikan kadar C untuk memperbaiki sifat creep pada suhu tinggi.

2.5.4. Parameter pengelasan

a. Tegangan busur

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang dikehendaki dan jenis elektroda yang digunakan. Pada elektroda yang sejenis besarnya tegangan busur yang diperlukan berbanding lurus dengan panjang busur. Pada dasarnya busur listrik yang terlalu panjang tidak dikehedaki karena

stabilitasnya mudah terganggu sehingga hasil dari pengelasan tidak rata. Disamping itu tingginya tegangan tidak banyak mempengaruhi kecepatan pencairan. sehingga tegangan yang terlalu tinggi akan membuang-buang energi saja.

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

b. Besar arus las

Besarnya arus las yang diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan. geometri sambungan, posisi pengelasan, macam elektroda dan diameter inti elektroda. Dalam pengelasan logam paduan , untuk menghindari terbakarnya unsure-unsur paduan sebaiknya menggunakan arus las yang kecil. Untuk menghindari kemungkinan terjadinya retak pada pengelasan baja tahan karat austenitic sebaiknya digunakan arus las yang kecil. Sedangkan untuk pengelasan baja paduan, dimana daerah HAZ dapat mengeras dengan mudah, maka harus diusahakan pendinginan secara perlahan dan untuk ini diperlukan arus yang besar dan mungkin masih memerlukan pemanasan kemudian.

c. Kecepatan pengelasan

Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda. bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan dan lain-lainnya. Dalam hal hubungannya dengan tegangan dan arus las, dapat dikatakan bahwa kecepatan las hampir tidak ada hubungannya dengan tegangan las tetapi berbading lurus arus las. Karena itu pengelasan yang

cepat akan memerlukan arus yang tinggi. Bila tegangan dan arus dibuat tetap, sedang kecepatan pengelasan dinaikkan maka jumlah deposit persatuan panjang las akan menurun. Tetapi pada suatu kecepatan tertentu, kenaikkan kecepatan akan memperbesar penembusannya. Bila kecepatan pengelasan dinaikkan terus maka masukkan panas persatuan panjang juga akan menjadi kecil, sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat yang mungkin akan menghasilkan daerah HAZ yang keras. Pada umumnya dalam pelaksanaan pengelasan kecepatan selalu diusahakan setinggi-tingginya, tetapi kwalitas dari manik las yang dihasilkan harus diperhatikan. Pengalaman juga menunjukan bahwa makin tinggi kecepatan makin kecil perubahan bentuk yang terjadi.

d. Polaritas listrik

Pengelasan busur listrik dengan elektroda terbungkus dapat menggunakan polaritas lurus dan polaritas balik. Pemilihan polaritas ini tergantung pada bahan pembungkus elektroda dan kondisi termal dari bahan induk, kapasitas panas dari sambungan dan lain sebagainya. Bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitasnya panasnya besar sebaiknya digunakan polaritas lurus dimana elektroda dihubungkan dengan kutub negatif. Sebaliknya bila kapasitasnya panasnya kecil seperti pada pelat tipis maka dianjurkan untuk menggunakan polaritas balik dimana elektroda dihubungkan dengan kutub positif. Untuk menurunkan penembusannya, misalnya dalam pengelasan baja tahan karat austenitic atau pada pengelasan pelapisan keras, sebaiknya

elektroda dihubungkan dengan kutub positif. Sifat busur pada umumnya lebih stabil pada arus searah dari pada arus bolak-balik, terutama pada pengelasan dengan arus yang rendah, tetapi untuk pengelasan sambungan yang pendek lebih baik menggunakan arus bolak-balik karena pada arus searah sering terjadi ledakan busur pada akhir dari pengelasan.

e. Besarnya penembusan atau penetrasi

Untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang tinggi diperlukan penembusan atau penetrasi yang cukup. Sedangkan besarnya penembusan tergantung kepada sifat fluks, polaritas, besarnya arus, kecepatan pengelasan dan tegangan busur yang digunakan. Pada dasarnya makin besar arus las makin besar pula daya tembusnya. Sedangkan tegangan memberikan pengaruh sebaliknya yaitu makin besar tegangan makin panjang busur yang terjadi dan makin tidak terpusat, sehingga panas yang dihasilkan akan melebar dan menghasilkan penetrasi yang lebar dan dangkal. Dalam hal ini ada pengecualian terhadap beberapa elektroda khusus untuk penembusan dalam yang memang memerlukan tegangan tinggi. Pengaruh kecepatan seperti diterangkan sebelumnya bahwa sampai pada suatu kecepatan tertentu naiknya kecepatan akan memperdalam penembusan, tetapi setelah melampaui kecepatan tersebut penembusan akan turun dengan naiknya kecepatan.

2.5.5. Siklus termal

Pada proses pengelasan akan terjadi proses pemanasan sampai temperatur cair kemudian input panas dihentikan dengan dilanjutkan proses pendinginan. Dengan adanya proses pengelasan pada logam akan terbagi menjadi tiga daerah antara lain :

1. **Daerah logam las**

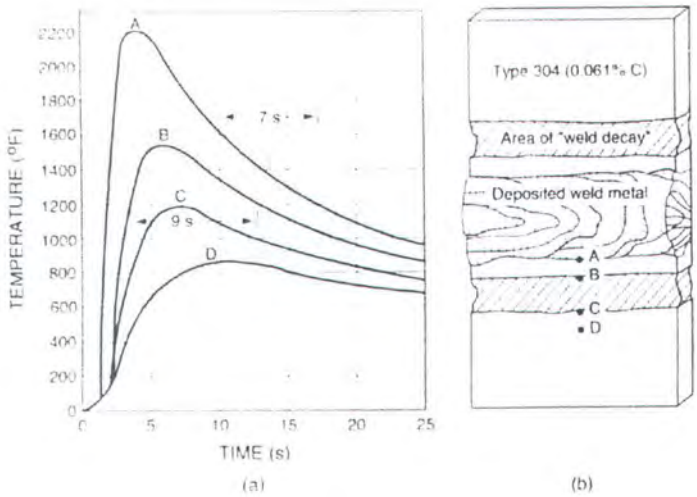
   Daerah logam las adalah daerah yang mengalami pencairan dan membeku kembali. Dari siklus termal pada gambar 2.16 terlihat bahwa daerah logam las mengalami temperatur tertinggi dan semakin jauh dari logam las temperatur yang dialami akan semakin turun.

2. **Daerah pengaruh panas**

   Daerah pengaruh panas atau dikenal dengan (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal dan mengalami perubahan struktur. Untuk baja tahan karat didalam HAZ ada suatu daerah yang berada dalam temperatur sensitis dan mengalami sensitisasi yaitu berdifusinya atom krom keluar dari larutan padat dan membentuk senyawa dengan karbon yang dikenal dengan karbida krom. Yang dapat menurunkan ketahanan korosinya dan bila berada dalam medium korosif dapat meyebabkan terjadinya korosi intergranular atau dikenal dengan Weld decay.

3. **Daerah logam induk**

   Daerah logam induk adalah daerah yang tidak mengalami perubahan struktur dari struktur asalnya.



Gambar 2.17 Siklus termal pada pengelasan baja tahan karat 304 [Fontana and Guy.M, 1978]

2.5.6. Problematik pada pengelasan Stainless steel

Problem yang sering yang sering terjadi pada pengelasan stainless steel antara lain:

a. Hot Cracking (retak panas)

Retak panas pada logam las baja stainless pada umumnya disebabkan oleh segregasi unsure-unsur/senyawa yang titik cairnya rendah pada batas butir, sehingga mudah terjadi retak antar batas butir (intergranular cracking) apabila dikombinasi dengan tegangan dari luar atau tegangan internal. Unsur yang paling sering menyebabkan terjadinya retak panas ini adalah

sulfur (S) dalam bentuk sulfida seperti FeS. Efek ini akan semakin diperburuk lagi dengan adanya unsur Ni dan Si.

b. Cold Cracking (retak dingin)

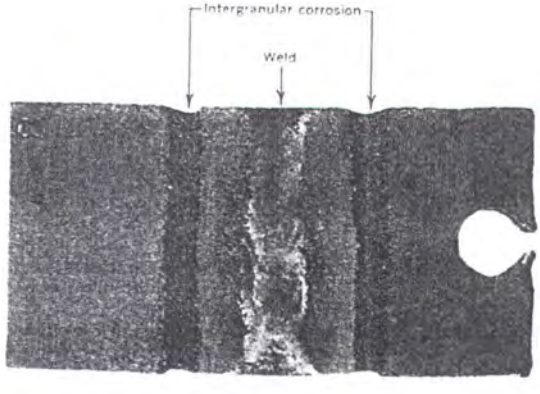
Retak dingin ini paling sering dialami oleh baja stainless martensit terutama pada daerah HAZnya. Kadar karbon yang relatif tinggi (0,15%-1,2 %) menjadikan baja ini sangat mudah dikeraskan sehingga mengarah pada sifat keras dengan keuletan yang rendah dan mudah retak.

c. Sigma-Phase Embrittlement (Penggetasan akibat Fase Sigma)

Pada baja stainless dengan struktur austenit + ferit, sebagai contoh 18 Cr- 8 Ni-3Mo bila dipanaskan pada suhu antara 550°C-900°C akan mengalami perubahan struktur dengan pembentukan fasa baru yang disebut fasa sigma. Pada suhu 550°C perubahan yang terjadi masih lambat dan fasa sigma yang terjadi masih berbentuk partikel halus dan terdistribusi merata sehingga belum memberikan efek yang berarti. Tetapi pada suhu yang relatif tinggi yaitu sekitar 800°C maka pembentukan fase sigma menjadi lebih cepat dan memberikan efek penggetasan yang sangat berarti, tetapi pada suhu diatas 900°C fasa sigma menjadi tidak stabil dan larut kembali kedalam fasa ferit. Dengan demikian bila dipanaskan sampai dengan 1000°C dan kemudian didinginkan dengan cepat, maka fasa sigma tidak berbentuk lagi dan baja stainless tersebut kembali menjadi ulet.

d. Intergranular carbide Precipitation

Bila jenis baja stainless autenit tertentu dipanaskan pada suhu 425-875°C, maka akan terjadi pengikatan unsure Cr oleh unsure C dan membentuk karbida krom ($M_{23}C_6$). Karbida krom tersebut berbentuk partikel (precipitates) dan mengendap pada batas butir. Akibatnya pada daerah sekitar batas butir tersebut menjadi sensitive untuk terserang korosi. Yang biasanya menyerang daerah HAZ.



Gambar 2.18 Korosi integranular pada daerah HAZ baja tahan karat 304 [Fontana and Guy.M, 1978]

2.6. METODE OXALIC ETH TEST

Untuk mengetahui struktur mikro dari Baja tahan karat austenitic diperlukan suatu chemical testing. Oxalic eth test adalah salah satu chemical testing yang biasa digunakan. Metode ini dikembangkan oleh Streicher, merupakan proses etsa secara elektrolit yang terdiri dari campuran 100 gram Asam Oksalat

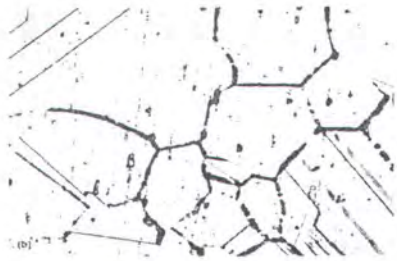
($H_2C_2O_4 + 2H_2O$) dengan 900 ml air distililasi, dialiri arus sebesar 1 Ampere dan tegangan sebesar 6 volt selama 2,5 menit sesuai dengan ASTM A262-86 prosedur A. Sebelum material mengalami proses etsa, material harus terlebih dulu digosok dan dipolish.

Dari pelaksanaan percobaan diatas akan menghasilkan struktur mikro sebagai berikut:

1. Struktur Step terjadi karena perbedaan laju dari pelarutan matrik yang berbeda yang disebabkan karena perbedaan orientasi kristalnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.19.

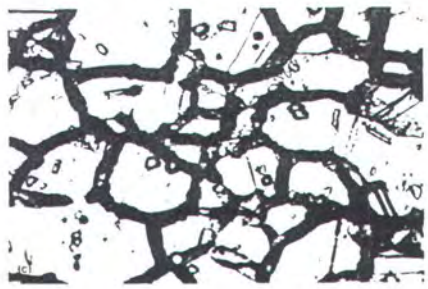
Gambar 2.19 Struktur step
[Jones.DennyA, 1992]

2. Struktur dual menunjukkan daerah yang kekurangan krom disekitar batas butir tidak kontinu sehingga menghasilkan endapan karbida yang tidak kontiyu pada batas butir seperti yang terlihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Struk tur-dual
[Jones.DennyA, 1992]

3. Struktur ditch terjadi karena daerah yang kekurangan krom disekitar batas butir sudah kontiyu sehingga endapan karbida krom yang terjadi juga kontiyu terlihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Struktur ditch
[Jones.DennyA, 1992]

2.7. PERLAKUAN PANAS

Perlakuan panas atau heat treatment dapat didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam/paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu yang bertujuan untuk memperoleh sifat tertentu. Selama pemanasan dan pendinginan akan terjadi beberapa perubahan struktur mikro, dapat berupa perubahan fase dan bentuk/ukuran yang menyebabkan terjadinya perubahan sifat dari logam/paduan tersebut.

Struktur mikro yang terjadi pada akhir suatu proses laku panas, selain ditentukan oleh komposisi kimia dari logam/paduan dan proses laku panas yang dialami juga ditentukan oleh struktur/kondisi awal benda kerja. Paduan dengan komposisi kimia yang sama, mengalami laku panas yang sama mungkin akan menghasilkan struktur mikro dan sifat yang berbeda bila struktur/kondisi awalnya berbeda. Di bawah ini adalah beberapa jenis dari perlakuan panas :

- Out gassing or hydrogen bake-out
- Post- heat
- Post-Weld Heat Treatment
- Normalising

2.7.1. Pengaruh PWHT pada baja tahan karat austenitik

Pada baja tahan karat pelaksanaan PWHT sangat sekali dibutuhkan, bertujuan untuk memberikan perbaikan pada factor faktor yang tidak diinginkan akibat proses pengelasan. Beberapa masalah mungkin timbul akibat proses

pengelasan dan dapat diperbaiki dengan pelaksanaan PWHT dapat dilihat pada tabel dibawah ini

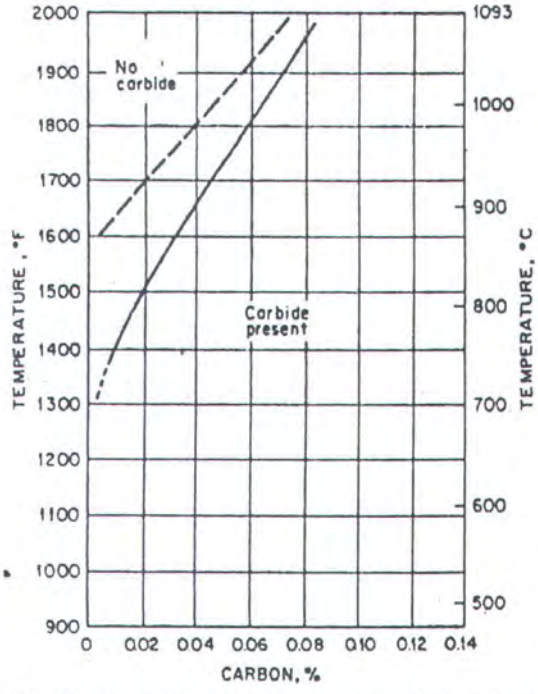
Tabel 1.4 Pengaruh PWHT terhadap baja tahan karat[Jones.DennyA, 1992]

Material type	Machining stability	Reheat cracking	Transgranular stress corrosion	Intergranular stress corrosion	Weld decay	Sigma precipitation	Knife line attack
304	✓	✓	✓	✓	>0.06%C	✗	✗
304L	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
316	✓	>0.1%Nb	✓	✓	>0.06%C	✗	✗
316L	✓	>0.1%Nb	✓	✗	✗	✗	✗
321, 347	✓	✓✓	✓	✗	✗	✗	✓
309, 310	✓	✓	✓	✓	✗	Cast,>0.1%C	✗
18/37 (cast)	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗
308, 309 weld metal	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗
Applicable HT	400–450 °C 550–650 °C 850–950 °C 950–1050 °C Slow cool	950–1050 °C Rapid cool		850–1050 °C Slow cool	950–1050 °C Rapid cool	950–1050 °C Rapid cool	950–1050 °C Rapid cool

Diantara permasalahan diatas yang menjadi alasan utama perlunya pelaksanaan PWHT pada baja tahan karat austenitik adalah :

1. Untuk menghilang tegangan dalam.
2. Melarutkan kembali endapan karbida yang berbahaya.

Salah satu dari endapan karbida yang berbahaya pada baja tahan karat austenitik adalah endapan karbida krom ($M_{23}C_6$), endapan ini terjadi akibat proses sensitisasi dan mengendap pada daerah batas butir. Sehingga daerah di sekitar batas butir yang terdapat endapan karbida krom sangat rentan sekali untuk terserang korosi intergranular. Endapan karbida krom ini dapat dihilangkan dengan melakukan PWHT sampai temperatur 1000°C seperti yang terlihat pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 Diagram kelarutan karbon pada baja tahan karat austenitic [Peckner.D, Bernstein,1977]

Pada gambar diatas terlihat bahwa pada temperatur dibawah 900°C dimana kandungan karbonnya adalah 0.08% akan terbentuk karbida, sedangkan pada temperatur diatas 1000°C dengan kandungan karbon yang sama tidak ada Karbida yang terbentuk. Hal ini disebabkan pada temperatur 1000°C akan memberikan energi pada atom krom dan karbon untuk berdifusi secara leluasa kembali larut kedalam larutan padatnya.

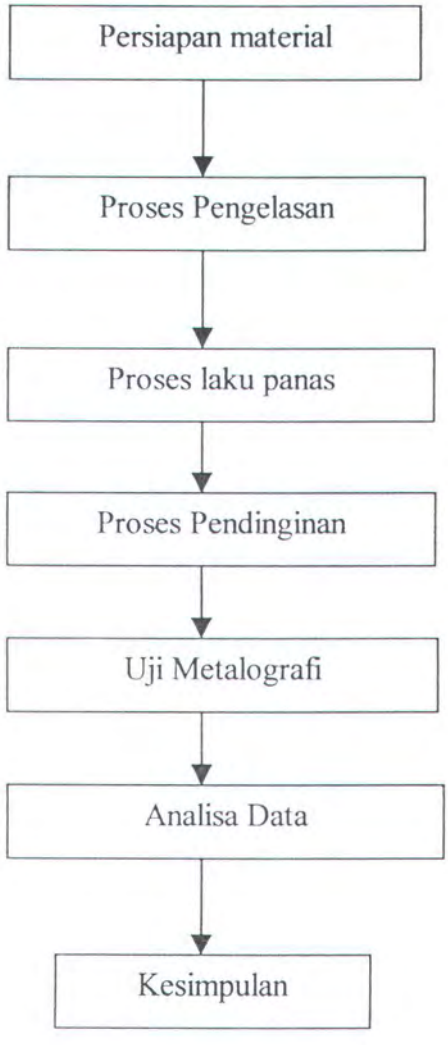
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. DIAGRAM ALUR PENELITIAN



3.2. BAHAN DAN PERALATAN PENELITIAN

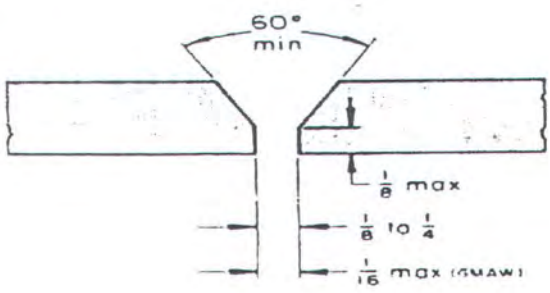
Bahan dan peralatan penelitian yang di perlukan adalah sebagai berikut:

- Bahan spesimen baja tahan karat AISI 304.
- Alat pemotong spesimen.
- Mesin las SMAW.
- Stop watch.
- Thermo Couple.
- Kertas gosok grid 150-2000.
- Mesin polisher dan bubuk alumina.
- Asam oksalat dan aquades.
- Mikroskop optis.
- Kamera.

3.2. PROSES PENGELASAN

a. Persiapan benda kerja

Benda kerja (AISI 304 dengan komposisi kimia : C=0.055, Mn=1.65, P=0.021, S=0.009, Si=0.58, Cr=18.0, Ni=10.0, Mo=0.18, Cu=0.37) kita potong dengan ukuran (200 x 250 x 12 mm) dan dibuat bevel 30° serta disusun sesuai gambar 3.1



Gambar. 3.1 Persiapan benda kerja

b. Pengelasan

Pengelasan dilakukan dengan menggunakan proses las SMAW, posisi datar dan menggunakan elektroda E 308 dengan parameter pengelasan ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter pengelasan

Parameter pengelasan	Layer 1	Layer 2	Layer 3	Layer 4	Layer5
Kecepatan (mm/detik)	0.4 - 2	0.8 – 1.1	0.7 - 2	0.6 –1.6	0.6 – 0.9
Ampere (A)	60 - 80	80 - 90	100 - 125	100 - 125	100 - 125
Polaritas	DCSP	DCSP	DCSP	DCSP	DCSP
Voltage (V)	18	20	25	25	25
Diameter elektroda	2.6	2.6	3.2	3.2	3.2

3.3. PROSES LAKU PANAS

Pelaksanaan laku panas pada hasil pengelasan baja tahan karat austenit bertujuan Untuk melarutkan kembali karbida krom yang mengendap pada batas butir kedalam larutan padat Fe-Cr. Dalam penelitian ini proses laku panas dilakukan dengan pemanasan sampai temperatur 1000°C, waktu penahanan selama 5 menit.

Data teknis oven / alat pemanas adalah sebagai berikut :

- Merk : Naber / W gemany
- Type : N11- 220V 1 N
- NR : 6435 50 Hz
- Jahr : 1985 14,6 A
- Maxs : 1100°C 3,2 V

3.4. PROSES PENDINGINAN

Proses pendinginan dilakukan setelah benda uji yang mengalami laku panas telah mencapai temperatur yang diinginkan. Proses pendinginan ini dilakukan dengan mencelupkan langsung benda uji kedalam media pendingin (quenching), media pendingin yang digunakan pada proses pendinginan ini adalah sebagai berikut:

- Air
- Brine(dengan kadar 15%)
- Udara
- Oli

3.5 PENGUJIAN METALOGRAFI

Uji metalografi ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro material yang telah mengalami pengelasan, perlakuan panas dan proses pendinginan.

a. persiapan

- Pemotongan spesimen

  Tiap-tiap spesimen yang telah dilas dipotong secara melintang.

- Penghalusan permukaan

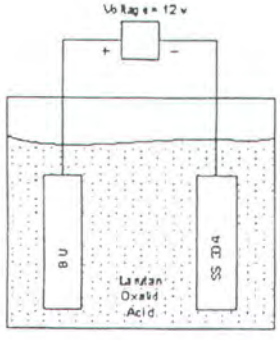
  spesimen yang telah dipotong, digosok permukaannya dengan menggunakan kertas gosok kasar grid 120/150 pada meja penggosok, kemudian dilanjutkan dengan grid yang lebih tinggi 400 dan 600.

- Penggosokan dan pemolesan dengan mesin polisher

  Setelah digosok dengan grid 600 penggosokan dilanjutkan dengan menggunakan kertas gosok yang lebih halus yaitu 800, 1000, 1200 dan 2000 diatas mesin rotating grinding sampai permukaan mengkilat.

- Proses etsa dengan elektro etching, dengan cara sebagai berikut:

Larutan yang digunakan	: Oxalit-acid 10gram H_2O
Arus	: 500 mA
Voltage	: 12 V
Waktu	: 5 menit
Jarak katoda dan anoda	: 25 mm
Anoda (+)	: benda uji
Katoda (-)	: benda yang sama dengan benda uji



Gambar. 3.2 Elektrolisa etching

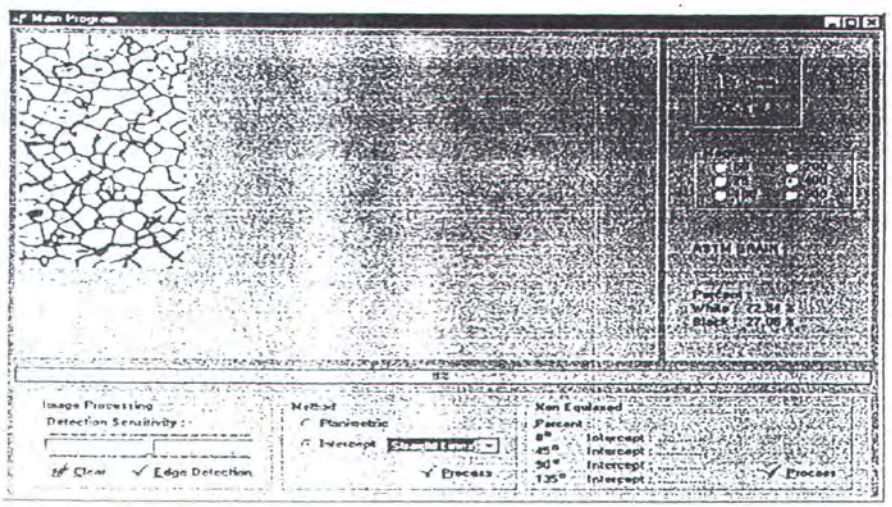
b. Pembuatan image sampling

Benda uji yang telah mengalami etsa diamati dibawah mikroskop dengan pembesaran 500 kali, kemudian dilakukan pengambilan image struktur mikro melalui mikroskop optik dengan koneksi sebuah PC. Gambar akhir yang dihasilkan berupa gambar image file yang akan digunakan input untuk proses analisa.

3.6. ANALISA KANDUNGAN KARBIDA KROM

Untuk menganalisa kandungan karbida krom pada batas butir dari benda uji yang telah mengalami perlakuan panas dan proses pendinginan digunakan program komputer yang dimiliki oleh laboratorium metalurgi Tehnik mesin ITS (yang merupakan hasil dari tugas akhir saudara Danang Prayudi, Penerapan image treatment analysis untuk estimasi penentuan ukuran butir kristal, fraksi volume dan porositas bahan).

Program tersebut membutuhkan input berupa profile image dari gambar struktur mikro benda uji yang telah mengalami proses etsa. Dalam proses analisa ini profile image yang digunakan berupa image file, yang dibuat dengan bantuan mikroskop optik dan seperangkat unit PC. Gambar 3.3 menunjukkan contoh hasil perhitungan fraksi volum dengan menggunakan metode image treatment analysis, dari fitur perangkat lunak yang dibuat terlihat setelah melalui proses perhitungan terlihat bahwa untuk fase gelap adalah 27,06% dari fraksi luasan yang ada dan untuk fase putih adalah 72,94%.



Gambar. 3.3 Hasil perhitungan fraksi volum dengan menggunakan Metode Areal Analisis untuk sebuah profile struktur mikro

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

BAB IV

ANALISA

BAB IV

ANALISA

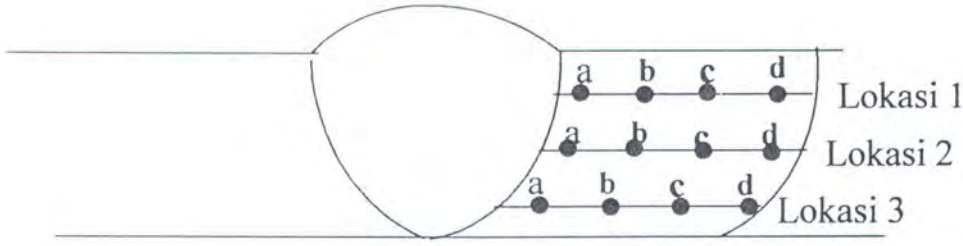
4.1. UJI METALOGRAFI

Pengujian metalografi yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan endapan karbida krom yang terjadi pada daerah batas butir akibat perlakuan panas dan proses pendinginan dari benda kerja yang telah mengalami pengelasan. Proses pendinginan yang dilakukan di berbagai media pendingin akan menghasilkan laju pendinginan yang berbeda. Perbedaan laju pendinginan ini akan sangat berpengaruh terhadap struktur mikro yang terbentuk dan presipitasi karbida krom yang terjadi pada daerah batas butir.

Untuk mendapatkan hasil analisa yang dapat mewakili presipitasi karbida krom yang terjadi di daerah HAZ dari benda kerja yang sudah mengalami perlakuan panas dan proses pendinginan, dilakukan pengambilan gambar struktur mikro (500X) pada tiga lokasi di daerah HAZ yaitu:

a. lokasi 1.
b. lokasi 2.
c. lokasi 3.

Dimana pada setiap daerah diambil 4 buah titik gambar struktur mikro seperti yang terlihat pada gambar 4.1.

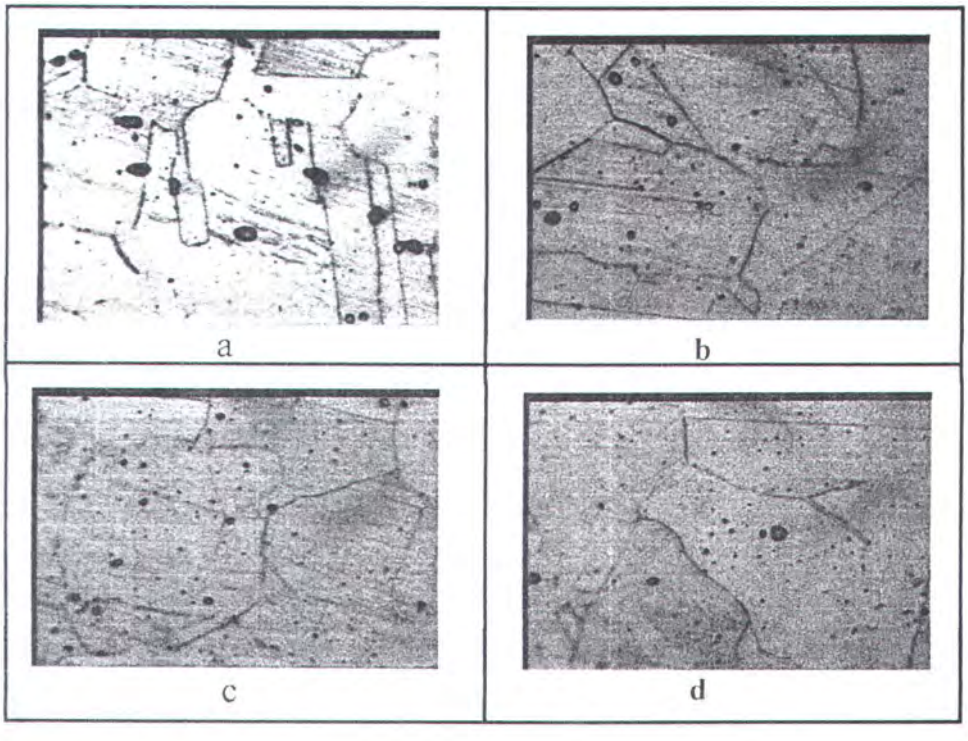


Gambar 4.1 Lokasi pengambilan gambar struktur mikro

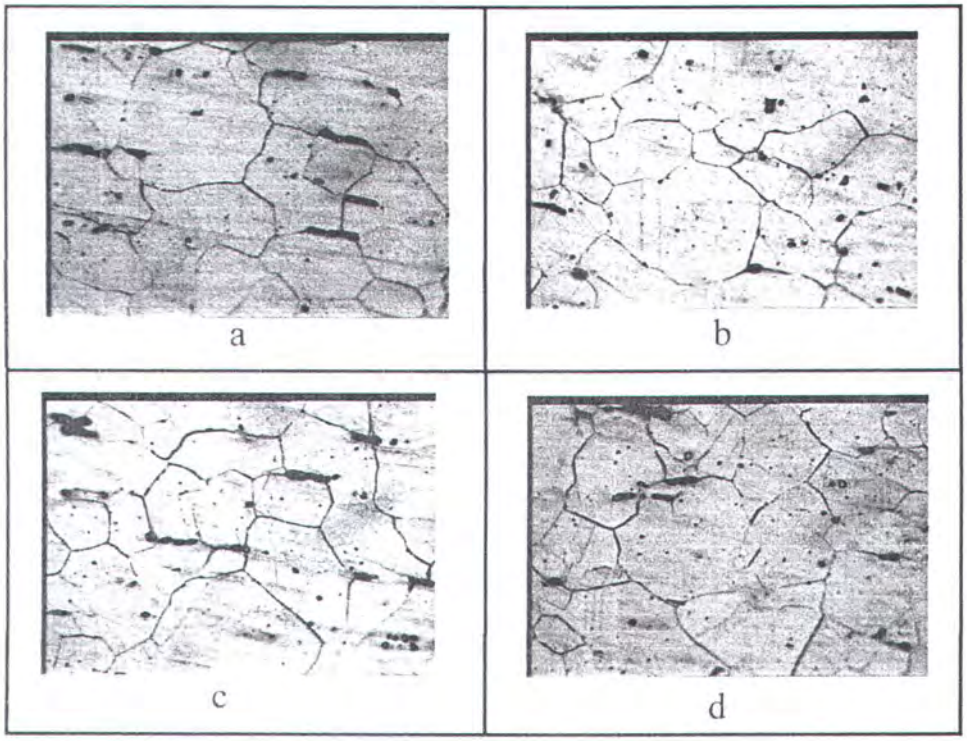
Gambar yang dihasilkan akan dirubah dalam bentuk image file dengan bantuan seperangkat unit PC. Hasil dari pengambilan gambar diatas dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

Gambar struktur mikro : Lokasi 1

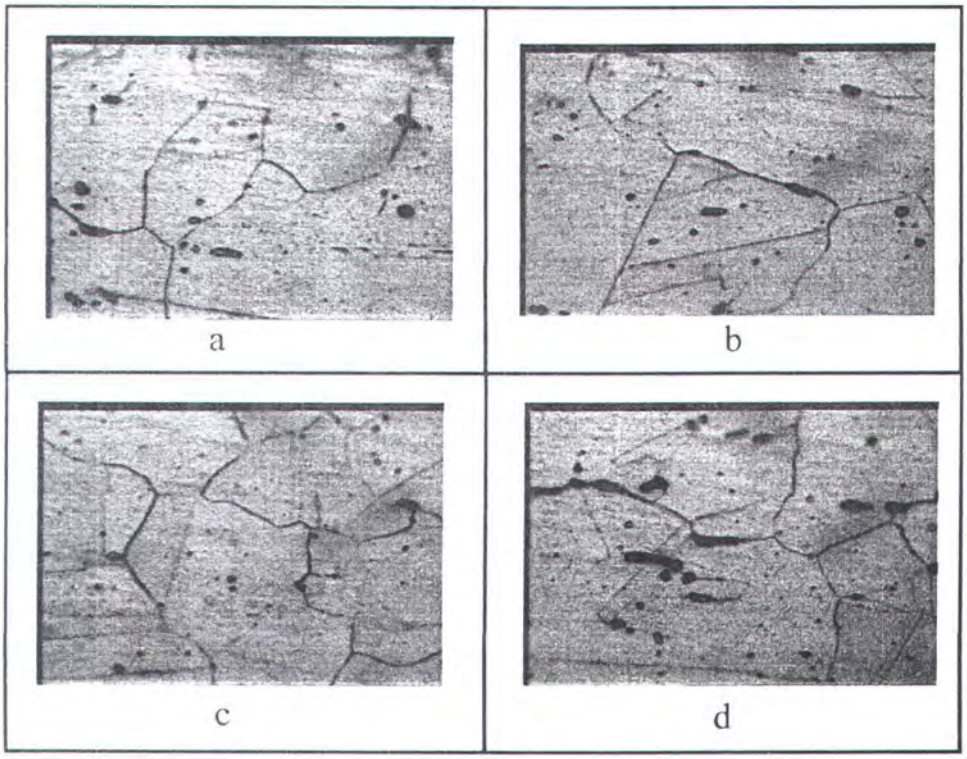
Media brine



Media air

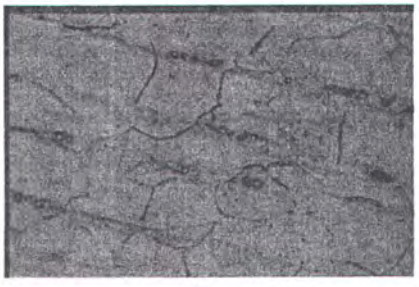


Media oli

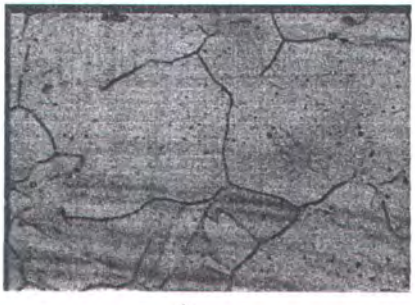


Media udara

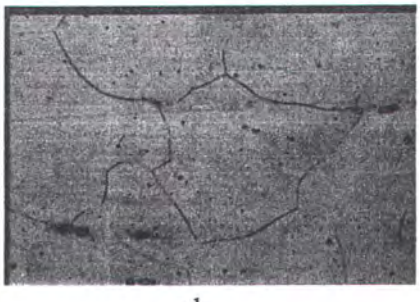
a



b

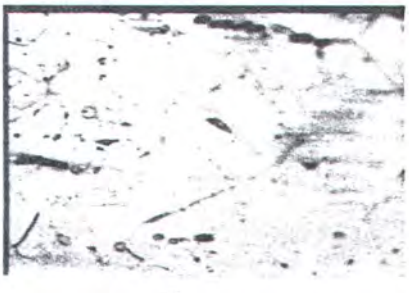


c

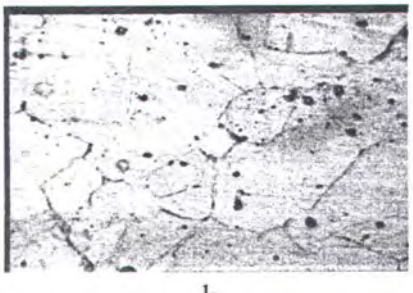


d

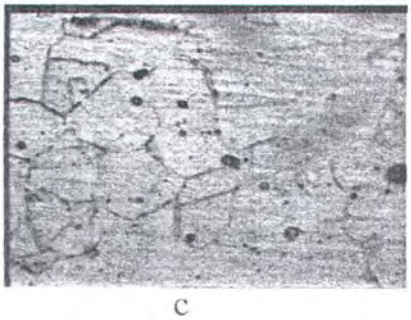
Non PWHT



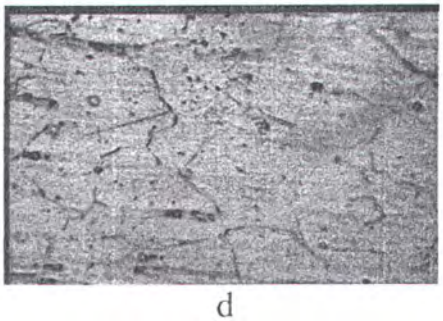
a



b



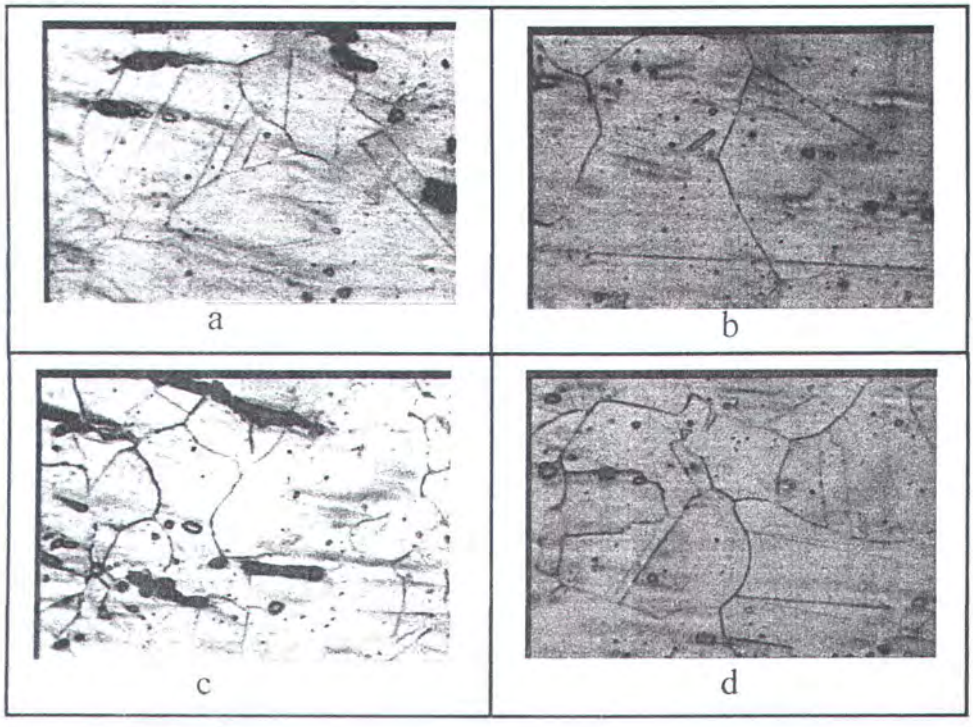
c



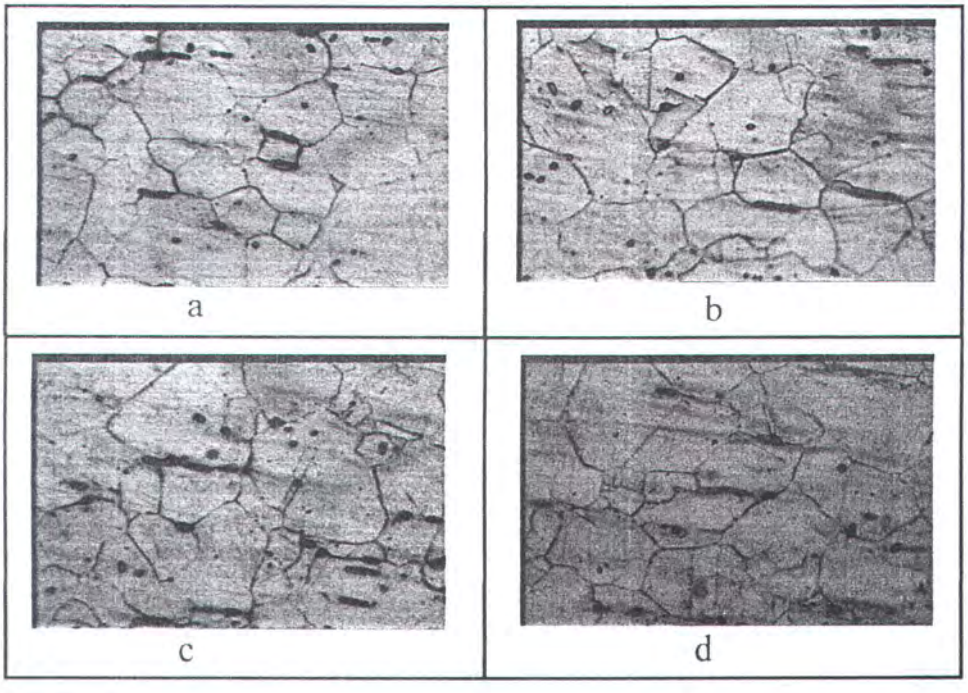
d

Gambar struktur mikro lokasi 2

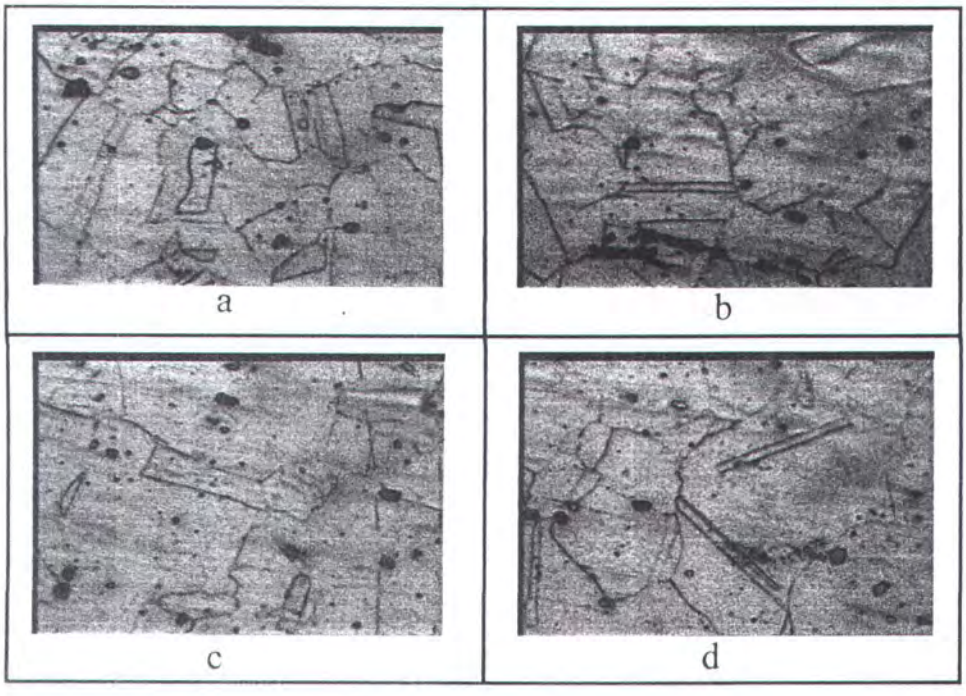
Media brine



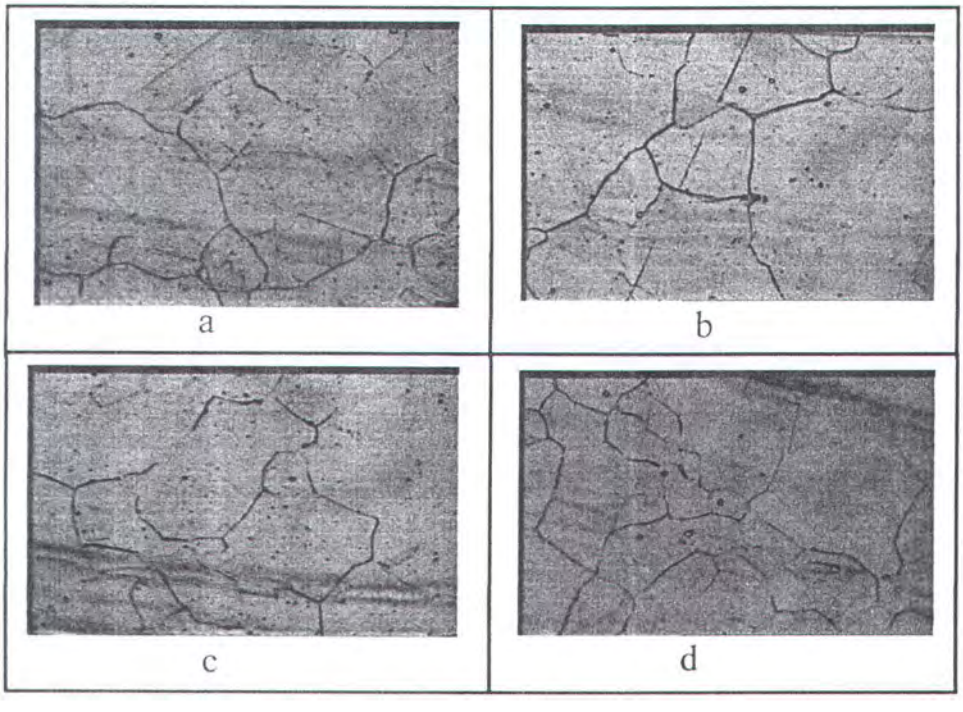
Media air



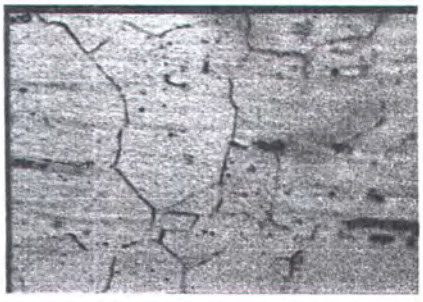
Media oli



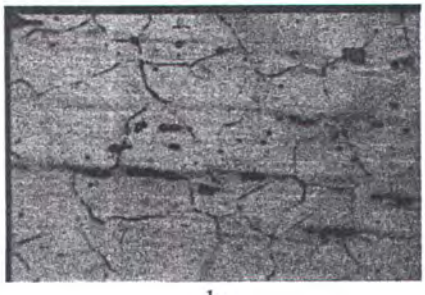
Media udara



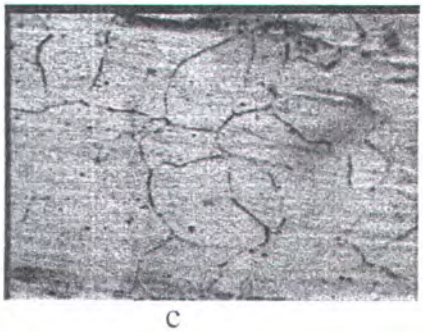
Non PWHT



a



b

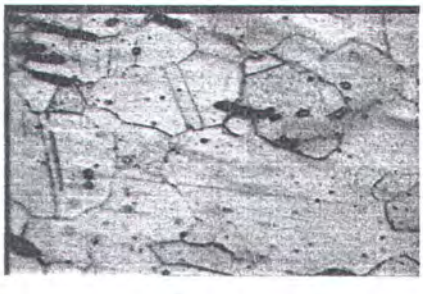


c

d

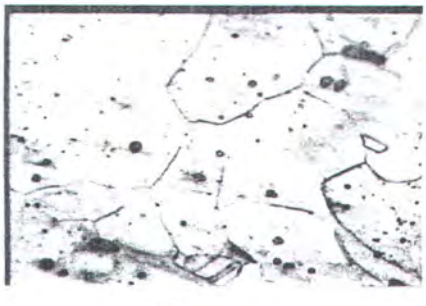
Gambar struktur mikro lokasi 3

Media brine

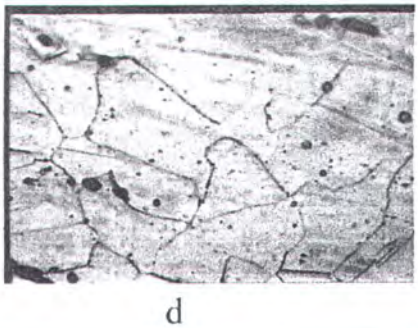


a

b

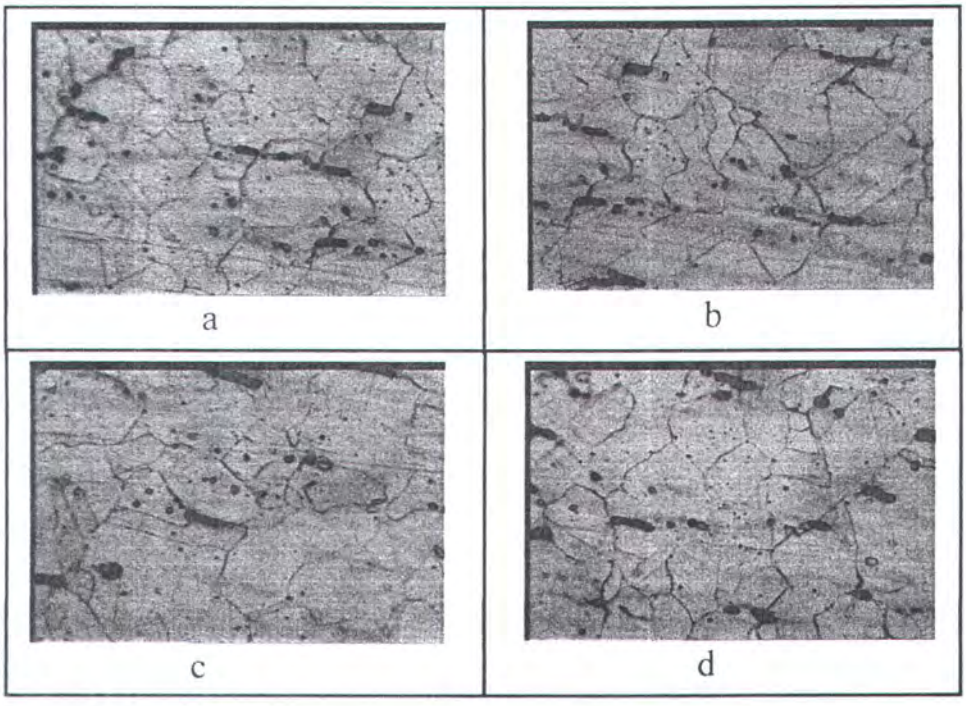


c

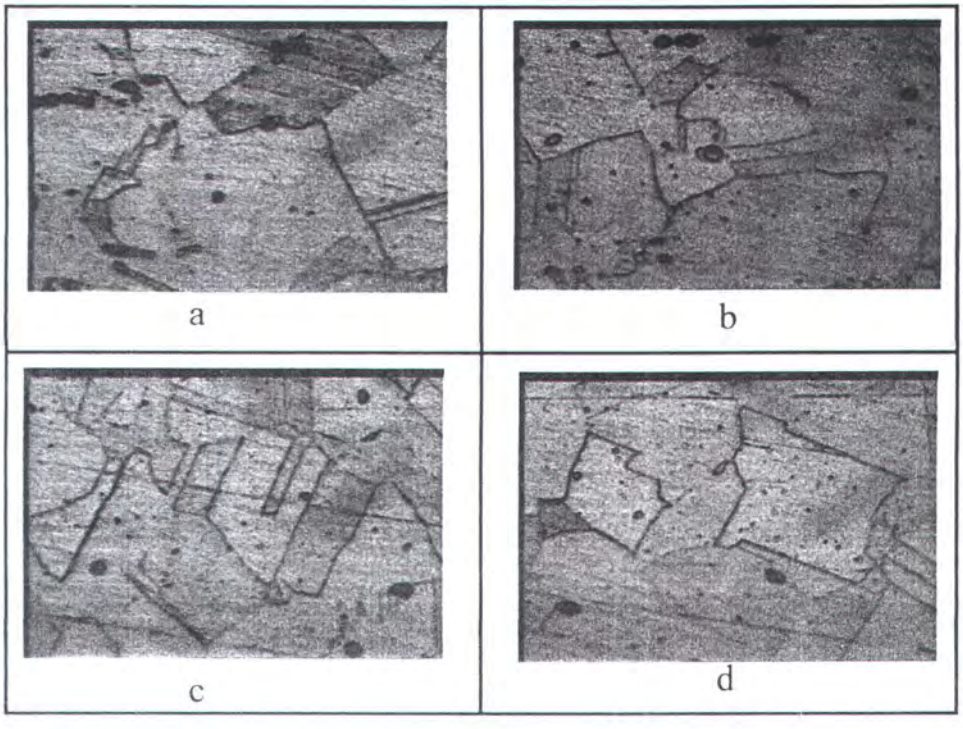


d

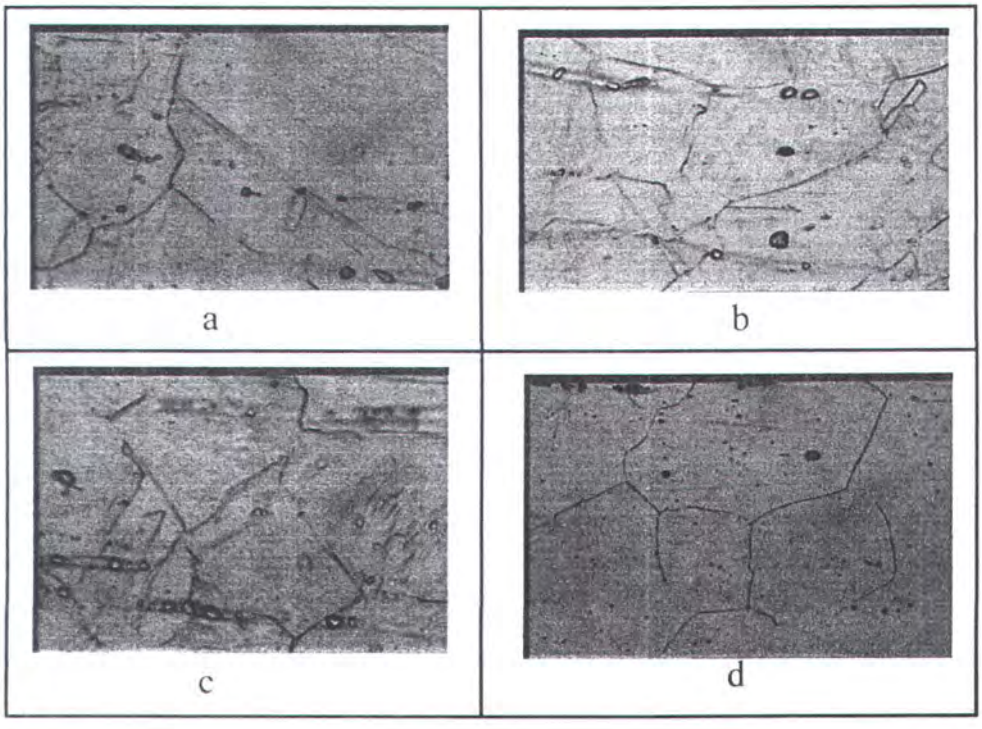
Media air



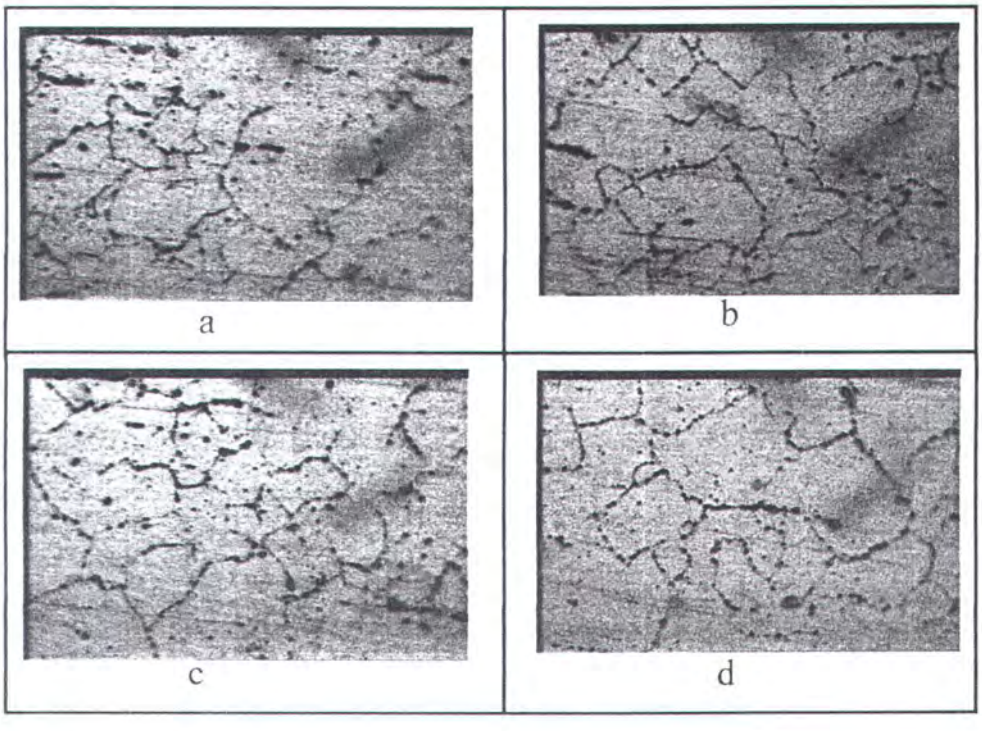
Media oli



Media udara



Non PWHT



Berikut ini adalah hasil dari perhitungan prosentase dari karbida krom yang mengendap pada batas butir setelah dianalisa dengan memasukkan data-data gambar diatas pada program yang telah ada.

Tabel 4.1 hasil perhitungan dari prosentase karbida krom pada lokasi 1

Lokasi 1	Prosentase karbida krom			
	1	2	3	4
Media brine	4.64	4.52	4.49	4.47
Media air	5.69	5.3	5.75	5.5
Media Oli	4.72	4.64	4.73	4.89
Media udara	4.78	4.75	4.82	4.66
Non PWHT	4.42	4.46	4.52	4.56

Tabel 4.2 Hasil perhitungan prosentase karbida krom pada lokasi 2

Lokasi 2	Prosentase karbida krom			
	1	2	3	4
Media brine	5.36	4.78	5.88	5.69
Media air	5.83	6.13	5,9	5.7
Media Oli	5.47	5.53	5.43	5.49
Media udara	5.65	5.73	5.47	5.82
Non PWHT	5.58	5.67	5.43	5.47

Tabel 4.3 Hasil perhitungan karbida krom pada lokasi3

Lokasi 3	Prosentase karbida krom			
	1	2	3	4
Media brine	546	5.79	5.18	5.14
Media air	5.96	5.91	5.72	5.87
Media Oli	4.85	4.82	4.97	4.69
Media udara	4.61	4.64	4.58	5.53
Non PWHT	6.16	6.19	6.37	6.24

Prosentase karbida krom yang mengendap pada batas butir sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan yang dihasilkan oleh media pendingin yang dipakai dalam proses pendinginan. Semakin cepat benda kerja melewati daerah range temperatur sensitis (800°C-500°C) akan memperkecil kemungkinan terjadinya presipitasi karbida krom pada daerah batas butir.

Dari tabel terlihat bahwa proses pendinginan yang menggunakan media pendingin brine dan air menghasilkan nilai prosentase karbida krom yang lebih besar bila dibandingkan dengan proses pendinginan yang menggunakan media pendingin oli, udara. Hal ini disebabkan karena gambar struktur mikro yang digunakan sebagi input dalam program analisa terjadi pengotoran pada daerah butiran akibat proses metalurgi pengelasan, proses pendinginan dan proses etsa.

Gambar struktur mikro yang banyak terjadi pengotoran menyebabkan kotoran yang terjadi pada daerah diluar batas butir diolah menjadi warna hitam sehingga memperbesar hasil perhitungan prosentase karbida krom dari media brine, air.

Pada daerah HAZ terjadi presipitasi karbida krom dengan kandungan yang berbeda-beda. Prosentase karbida yang tertinggi terjadi pada daerah HAZ bagian tengah /Lokasi 2 dan ini terjadi pada semua media pendingin.

Hal ini terjadi karena pada Logam benda kerja mengalami laju pendinginan yang berbeda ketika proses pendinginan, terutama pada benda kerja yang mempunyai Ketebalan tinggi. Pada benda kerja yang tebal daerah tengah akan mengalami laju Pendinginan yang lebih lambat dari pada daerah atas dan daerah bawahnya, hal inilah yang menyebabkan terjadinya variasi kandungan endapan karbida krom pada sepanjang daerah HAZ.

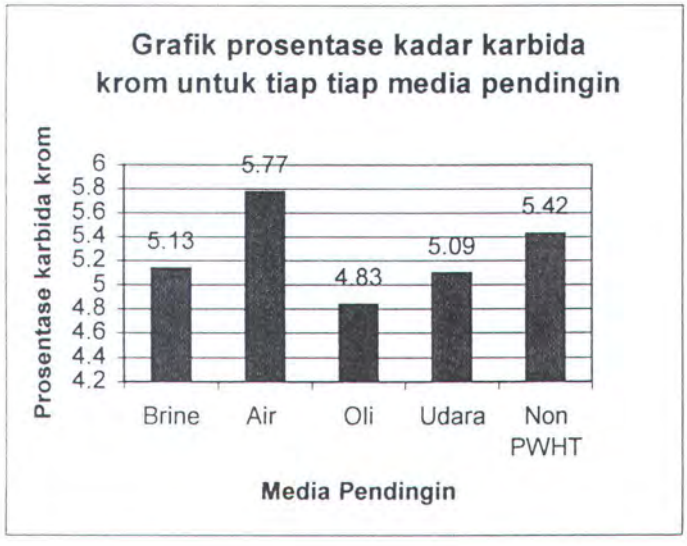
Ketebalan material benda kerja menyebabkan jumlah layer pada pengelasan bertambah. jumlah layer pada pengelasan ternyata berpengaruh terhadap presipitasi karbida yang terjadi selama proses pengelasan. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3 dan gambar struktur mikronya. Pada daerah bawah/lokasi 3 dari benda kerja yang tidak mengalami PWHT ternnyata mempunyai prosentase kandungan karbida yang lebih besar dari pada daerah tengah dan daerah atas. Hal ini disebabkan daerah bawah/lokasi 3 akan berulangkali melewati daerah range temperatur sensitis (500°C-800°C)akibat dari proses pengelasan dan proses pendinginan yang berulang kali pada tiap layernya yang menyebabkan peristiwa sensitisasi terjadi berulang kali.

4.2. REKAPITULASI AKHIR

Dari berbagai pengujian dan analisa yang telah dilaksanakan, selanjutnya data disusun ulang seperti ditunjukkan pada tabel 4.4 dan gambar 4.3

Tabel 4.4 Hubungan antara PWHT, media pendingin, daerah HAZ

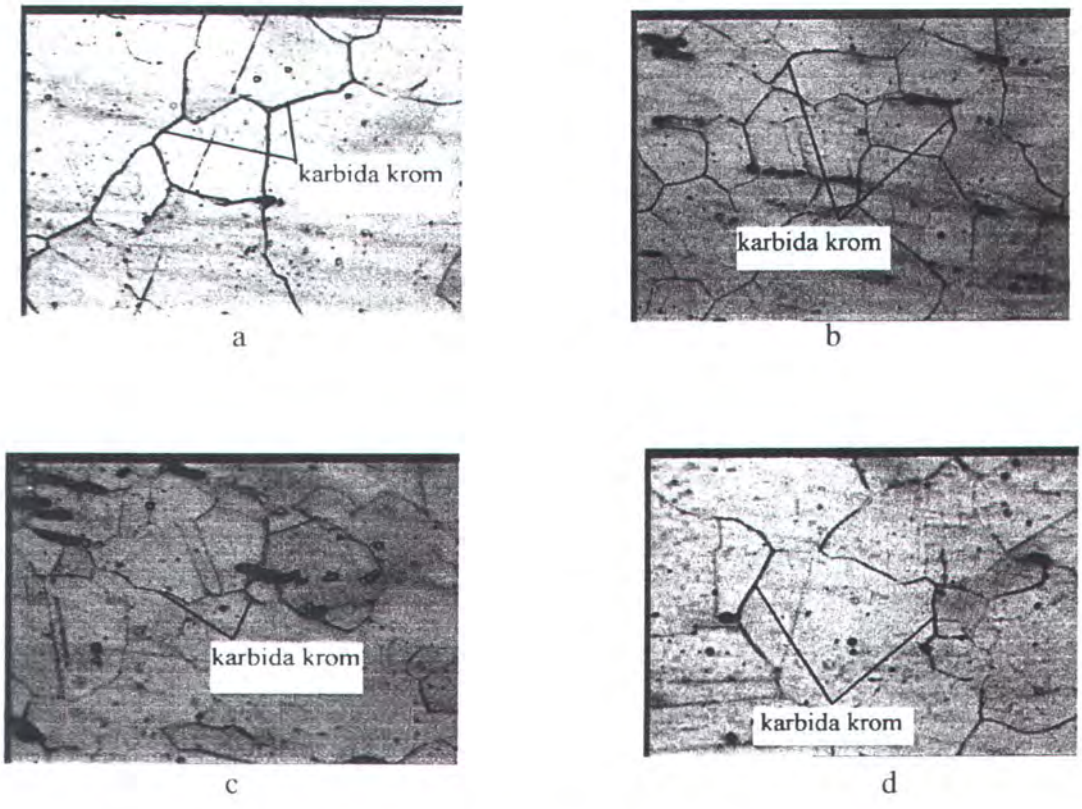
Jenis media pendingin	Prosentase karbida krom			
	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Rata-rata
Brine	4.53	5.43	5.42	5.13
Air	5.56	5.89	5.87	5.77
Oli	4.75	5.48	4.83	5.02
Udara	4.73	5.67	4.84	5.09
Non PWHT	4.49	5.54	6.24	5.42



Grafik 4.1 Prosentase kadar karbida krom untuk tiap tiap media pendingin

Hasil akhir yang didapat dari tabel 4.4 Menunjukkan bahwa prosentase karbida krom yang dihasilkan kurang akurat karena adanya pengotoran pada gambar struktur mikro yang dianalisa sehingga menyebabkan hasil akhir dari prosentase karbida krom bertambah besar.

Untuk mendapatkan analisa yang akurat dari data yang sudah kita peroleh dilakukan pengamatan visual pada gambar foto mikro dan melakukan perbandingan endapan karbida krom dari masing-masing media pendingin pada ukuran batas butir yang sama. Pada proses pendinginan yang menggunakan oli dan udara terlihat pada sepanjang batas butir terjadi presipitasi karbida krom yang kontinyu (hampir semua batas butir terdapat endapan karbida krom) berbeda dengan yang menggunakan air dan brine, presipitasi karbida krom yang terjadi pada batas butirnya tidak sepanjang dan sekontinyu media oli dan udara. Sehingga dapat disimpulkan bahwa media pendingin air dan brine menghasilkan prosentase karbida krom yang terendah.



Gambar 4.2 Endapan karbida krom pada batas butir yang terjadisetelah PWHT: a. media udara, b. media air, c. media brine, d. media oli

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan maka dalam penulisan tugas akhir ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Proses laku panas (PWHT) pada temperatur 1000°C dengan waktu tahan 5 menit dan pendinginan yang cepat dapat mengurangi presipitasi karbida krom yang awalnya sudah terbentuk pada hasil lasan AISI 304 dan media pendingin yang dapat mengurangi presipitasi karbida krom pada saat proses pendinginan adalah media brine dan air.
2. Daerah sepanjang HAZ mempuyai kandungan karbida krom yang berbeda akibat laju pendinginan yang berbeda pada tiap bagian (atas, tengah, bawah) dari benda kerja pada waktu proses pendinginan, sehingga bagian tengah mempunyai kandungan karbida krom yang tertinggi dan ini terjadi pada semua media pendingin.

3. Jumlah layer pada pengelasan AISI 304 berpengaruh terhadap presipitasi karbida krom yang terjadi, terutama pada daerah bawah akan berulang kali mengalami sensitisasi, sehingga menghasilkan prosentase karbida krom yang tinggi bila dibandingkan dengan daerah lainnya.

5.2. SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan serta kesimpulan yang didapat dalam penulisan tugas akhir ini diberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Pemberian waktu tahan yang cukup pada pelaksanaan perlakuan panas (PWHT) hasil lasan AISI 304 sangat penting sekali, supaya memberikan waktu yang yang cukup kepada karbida krom untuk larut kembali kedalam larutan padat nya sehingga daerah batas butir yang sebelumnya terdapat endapan karbida krom menjadi bersih sehingga korosi intergranular dapat dihindari. .
2. Untuk mendapatkan hasil yang akurat dari analisa prosentase karbida krom yang menggunakan program penerapan image treatment, dalam melakukan proses etsa dan uji metalogarafi kebersihan dari benda kerja harus diperhatikan sehingga dapat menghasilkan gambar struktur mikro yang bersih, kebersihan dari gambar ini membuat program ini menghasilkan prosentase kandungan karbida krom yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

1. A.S. John, **Corrosion of Stainless Steel**, John Willey dan Sons, New York 1977.
2. J.F. George, **The Wrought Stainlees Steel**, Mc Graw Hill, Int. Book Company, New York 1977
3. R. Castro and Cadenet, **Welding Metallurghy of Stainless Steel and Heat Resisting Steel**, Mc Graw Hill Int. Book Co. New York 1977
4. Fontana, Mars Guy, **Corrosion Engineering**, McGraw-Hill Inc, 1978
5. Denny A. Jones, **Principles and Prevention of Corrosion**, Macmillan Publshing Company, a division of Macmillan, Inc, 1992
6. KR. Trethewey, J.Chamberlain, **Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasa**, Longman Group, 1988
7. Toshie Okumura dan Harsono Wiryosumarto, **Teknologi Pengelasan Logam**, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1981
8. Ir.Wahid Suherman, **Perlakuan Panas**, Jurusan Teknik Mesin FTI ITS,1998
9. DN Croft, **Heat Treatment of Welded Steel Structures**, Abington Publishing, 1996
10. Donald Peckner and Bernstein, **Hand Book of Stainlees Steel**, Mc Graw-Hill Book Company, 1977
11. Ir.Wahid Suherman, **Ilmu Logam**, Teknik Mesin FTI ITS, 1998
12. Ir.Wahid Suherman, **Ilmu Bahan**, Teknik Mesin FTI ITS, 1998
13. American Iron and Steel Institute, **Stainlees and Heat Resisting Steel**, New York, 1957

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

Standard pengujian korosi intergranular untuk baja tahan karat

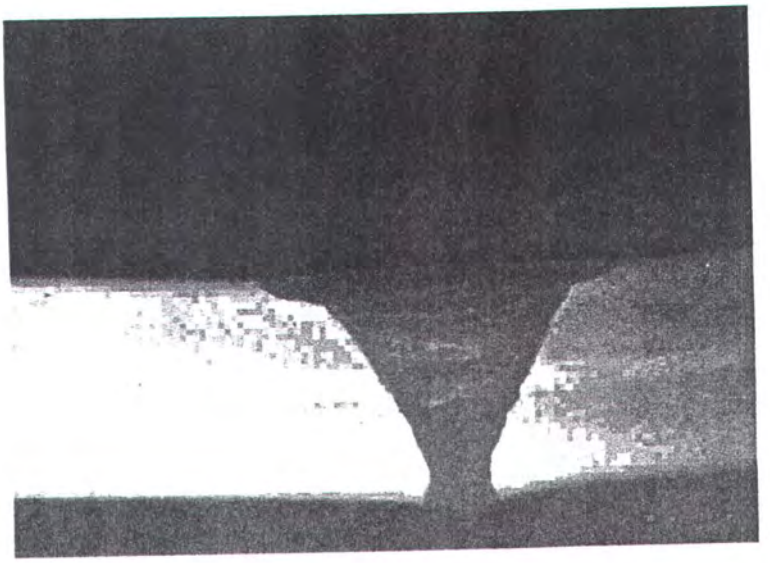
ASTM Standard (Common Name)	Environment	Exposure	Evaluation	Species Attacked
A708-86 (Strauss)	16% H_2SO_4 +6% $CuSO_4$. Boiling.	One 72-hour period.	Macroscopic appearance after bending.	Chromium-depleted area
A262-86 Practice A (Oxalic Etch)	10% $H_2C_2O_4$.	1.5 min. Anodic at one A/cm^2. Ambient temp.	Microscopic type of attack.	Various carbides.
A262-86 Practice B (Streicher)	50% H_2SO_4 +2.5% $Fe_2(SO_4)_3$. Boiling.	One 120 hour period.	Weight loss per unit area.	Chromium-depleted area.
A262-86 Practice C (Huey)	65% HNO_3. Boiling.	Five 48 hour periods.	Average weight loss per unit area. Fresh solution each period.	Chromium-depleted area, σ phase and carbides.
A262-86 Practice D (Warren)	10% HNO_3 +3% HF. 70C	Two 2-hour periods.	Weight loss per unit area.	Chromium-depleted area in Mo bearing steels.
A262-86 Practice E (Copper Accelerated Strauss)	16% H_2SO_4 +6% $CuSO_4$. Boiling. Specimen in contact with copper metal.	One 24-hour period.	Macroscopic appearance after bending.	Chromium-depleted area.

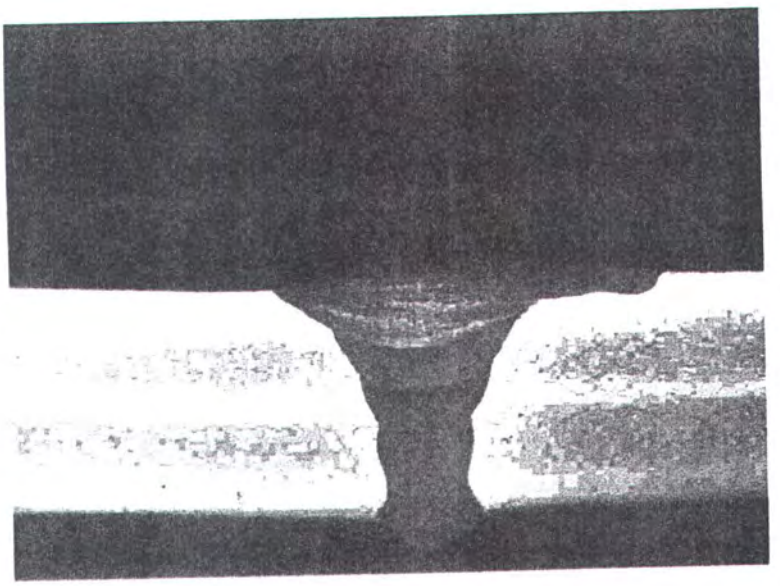
LAMPIRAN 2

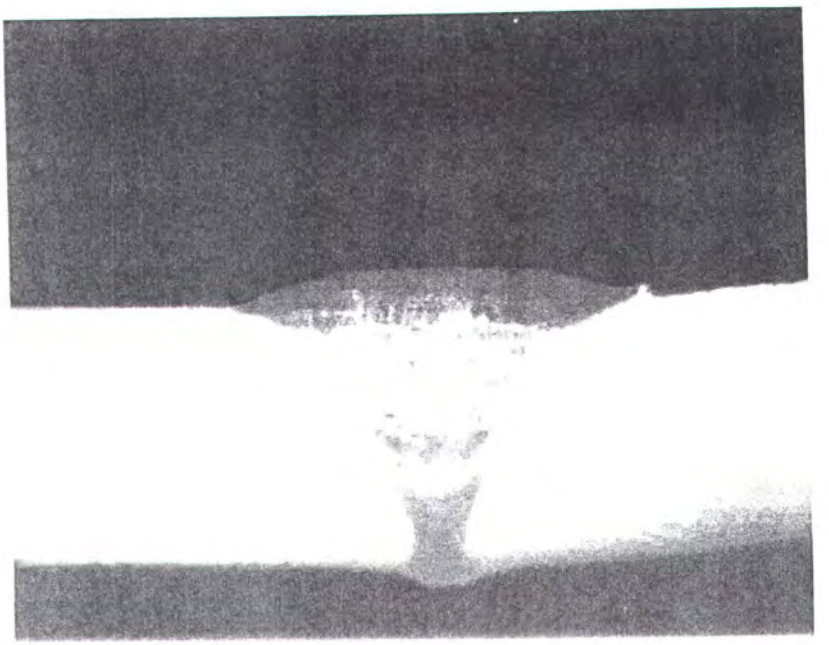
Foto makro hasil pengujian metalografi

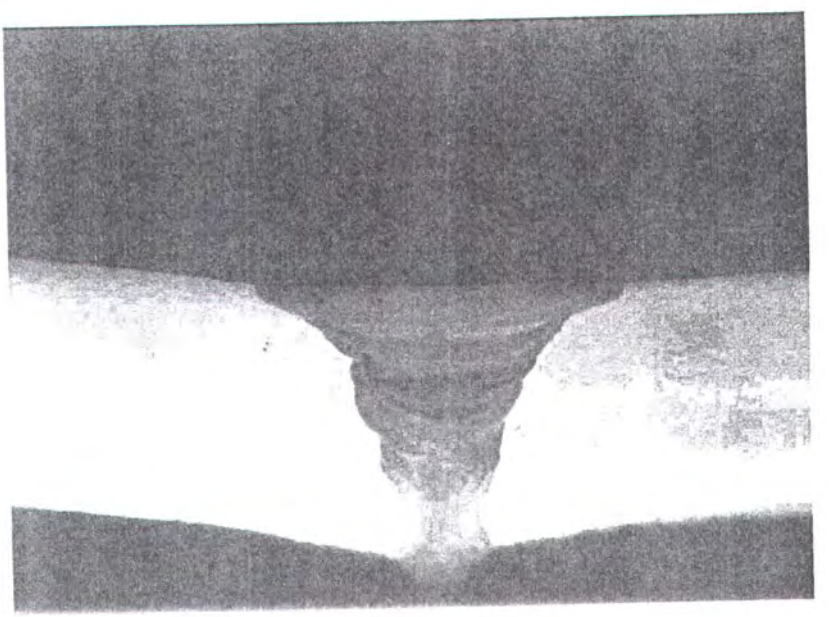
2.a Benda kerja 1
Benda kerja 2
2.b Benda kerja 3
Benda kerja 4
2.c Benda kerja 5

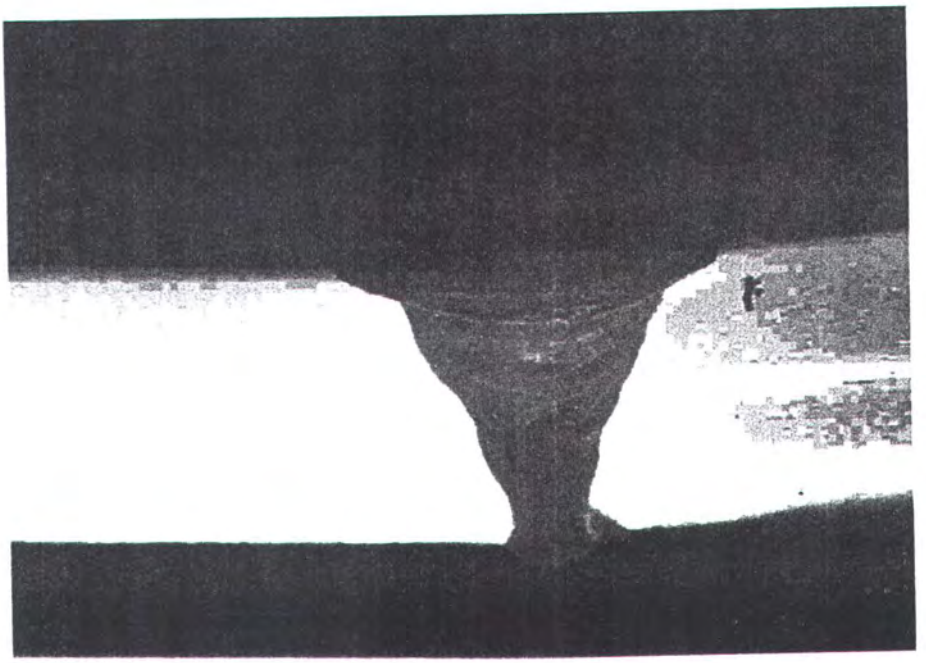
Lampiran 1

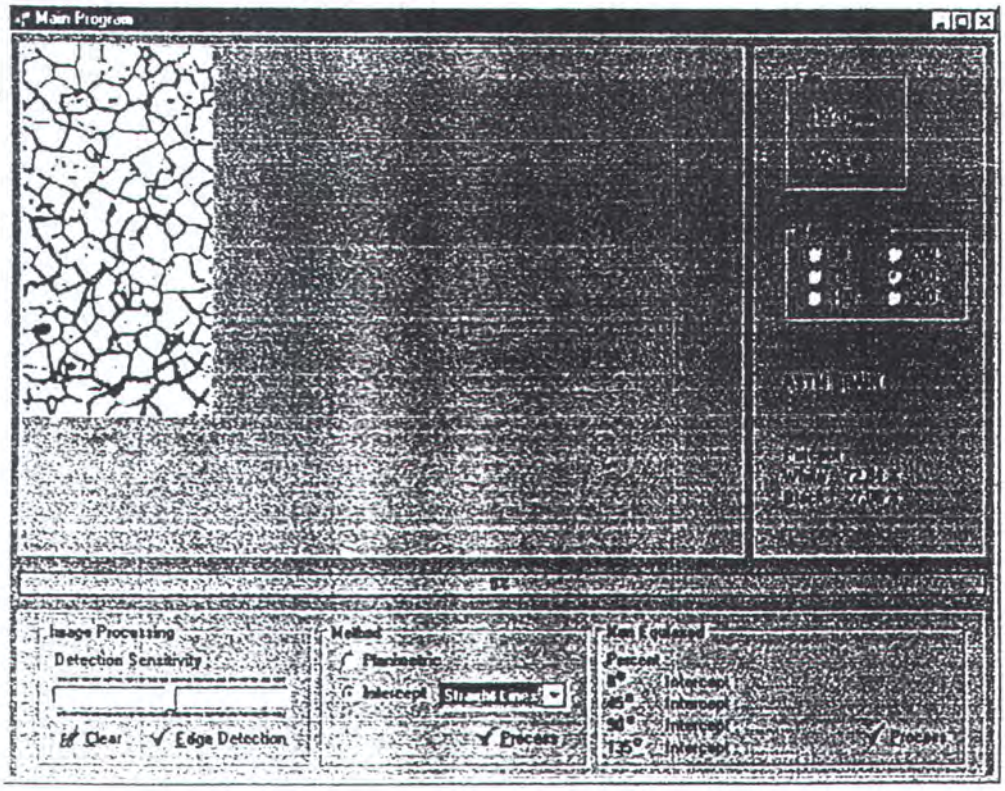











Main Program
Image Processing
Detection Sensitivity
Clear
Edge Detection
Method
Planimetric
Intercept
Process
Percent
0°
Intercept
45°
Intercept
90°
Intercept
135°
Intercept
Process