

TUGAS AKHIR

NA 1701

STUDI PENGARUH SUDUT TANGGEM TERHADAP RETAK PADA PENGELASAN BUTT-JOINT DENGAN LAS SMAW



12512
623.843 2
Wah
S-1
1998

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	29-6-2006
Terima Dari	17
No. Agenda Prp.	21-483

Oleh :

SETYO WAHYUDI

4192.100.045

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1998

LEMBAR PENCESAHAN

Diajukan Sebagai Prasyarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

SURABAYA, Agustus 1998

Mengetahui / Mengesahkan
Dosen Pembimbing



Ir. Soeweify. M.Eng
NIP. 130 368 597



JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

No. : 139 /PT12.FTK2/M/1997

Nama Mahasiswa : Setyo Wahyudi

Nomor Pokok : 4192100045

Tanggal diberikan tugas : 01. Nopember 1997

Tanggal selesai tugas : 15. Pebruari 1998

Dosen Pembimbing : 1. Ir. Soewify, M.Eng.
2.

Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :

STUDI PENGARUH SUDUT TANGGEM TERHADAP INTERNAL DEFEC PADA PENGELASAN BUTIR JOINT-
DENGAN LAS SMA.

sOn

Surabaya, 24 N o p e m b e r 1997

Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS

..... t u a,



..... Koesowo Sastro Wiyono.

NIP. 130 687 430.

Tembusan :

1. Yth. Dekan FTK-ITS.
2. Yth. Dosen Pembimbing.
3. Arsip.

ABSTRAK

Mendapatkan suatu hasil pengelasan tanpa retak dan deformasi yang kecil adalah suatu kondisi ideal . Pada pengelasan butt - joint penggunaan tanggem yang difungsikan sebagai penahan jarak antar pelat yang akan dilas serta penahan deformasi . Akan tetapi disisi lain keberadaan tanggem serta besarnya sudut tanggem mempengaruhi tingkat kekakuan , tingkat kekakuan ini berhubungan sekali dengan deformasi serta retak las.

Dengan ditelitinya dari pengelasan butt - joint yang menggunakan tanggem dengan variasi sudut kemiringannya terhadap garis las. Dapat diketahui seberapa besar pengaruh timbulnya retak terhadap variasi sudut tanggem , baik ditinjau dari jumlah retak yang terjadi maupun panjang retak yang terjadi.

Pada pengelasan butt - joint yang bertanggem 90^0 dengan pelat yang tebal banyak terjadi retak sedangkan untuk pelat tipis sedikit retak. Untuk pengelasan butt - joint yang bertanggem 75^0 dengan pelat yang tebal sedikit terjadi retak sedangkan pada pelat tipis tidak terjadi retak. Penggunaan tanggem 60^0 untuk berbagai macam ketebalan pelat bebas dari retak.

DAFTAR TABEL

Tabel 3 - 1 : Proses Las terhadap Efisiensi Busur

Tabel 4 - 1 : Welding Prosedur Spesification

Tabel 5 - 1 : Retak Hasil Pengamatan Mikroskop

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xii
1. BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan masalah	2
1.5 Metode penyelesaian masalah	2
2. BAB II METALURGI PENGELASAN	4
2.1 Proses Pengelasan SMAW	4
2.1.1 Bahan Fluks	5
2.1.2 Busur Listrik	6

2.2 Siklus Termal Dan Pengaruhnya Terhadap Perubahan Struktur Mikro dan Ketangguhan Daerah Lasan.	6
2.2.1 Struktur Mikro Baja	6
2.2.2 Siklus Termal Daerah Lasan	9
2.2.3 Struktur Mikro Daerah HAZ	10
3. BAB III RETAK LAS	15
3.1 Retak Las Menurut Terjadinya	15
3.1.1 Retak Dingin	15
3.1.1.1 Faktor Terbentuknya Retak Dingin	17
3.1.1.1.1 Akibat Komposisi Kimia di HAZ dan Weld metal	17
3.1.1.1.2 Akibat Difusi Hidrogen	21
3.1.1.1.3 Akibat Pengaruh Tegangan Sisa	22
3.1.1.1.4 Akibat Mikrostruktur Material	23
3.1.1.1.5 Akibat Penahanan	24
3.1.1.1.6 Akibat Heat Input	24
3.1.1.2 Pengaruh Retak Dingin pada Sambungan Struktur	25
3.1.1.3 Cara Pencegahan Retak Dingin	26
3.1.2 Retak Panas	28
3.2 Retak Menurut Bentuknya	29
3.2.1 Retak Memanjang	29
3.2.2 Retak Melintang	30

3.2.3 Retak Kawah	30
3.2.4 Retak Leher	30
3.2.5 Toe crack	31
3.2.6 Retak Akar	31
3.2.7 Retak Lamel	32
3.2.8 Retak Bawah Manik Las	35
4. BAB IV PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PENGUJIAN	37
4.1. Bentuk dan Ukuran Spesimen	37
4.1.1 Jenis Material	37
4.1.2 Ukuran Spesimen Uji Las	37
4.1.3 Persiapan Spesimen Uji Las	40
4.1.4 Pelaksanaan Pengelasan Spesimen	41
4.1.5 Pembuatan Spesimen Uji Mikro Etsa	42
4.1.6 Pengujian Mikro Etsa	44
5. BAB V ANALISA HASIL PENGUJIAN	63
5.1 Analisa Hasil Pemotretan Makro	63
5.2 Analisa Hasil Pengamatan Mikroskop	66
6. BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	68
7. DAFTAR PUSTAKA	70

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2 - 1 : Las Busur Dengan Elektrode Terbungkus
- Gambar 2 - 2 : Pemindahan Logam Cair
- Gambar 2 - 3 : Diagram Pendinginan Kontinu
- Gambar 2 - 4 : Struktur Mikro dalam Baja Karbon Rendah
- Gambar 2 - 5 : Siklus Termal dalam Las Busur Tangan
- Gambar 2-6(a) : Diagram CCT pada Pengelasan Baja BJ55
- Gambar 2-6(b) : Diagram CCT Baja BJ60
- Gambar 2-7(a) : Diagram CCT
- Gambar 2-7(b) : Hubungan Waktu Pendinginan Dengan Kekerasan
- Gambar 3 - 1 : Macam - Macam Retak Dingin
- Gambar 3 - 2 : Retak Kristal
- Gambar 3 - 3 : Hubungan Presentase Retak dan Ekuivalen Karbon
- Gambar 3 - 4 : Hubungan antara Prosentase Retak dan Parameter Retak
- Gambar 3 - 5 : Hubungan antara Parameter Retak P_w dengan Waktu Pendinginan kritis dari 300^0 sampai 100^0 C
- Gambar 3 - 6 : Struktur Mikro
- Gambar 3 - 7 : Retak Panas
- Gambar 3 - 8 : Retak Memanjang
- Gambar 3 - 9 : Retak Melintang
- Gambar 3 - 10 : Retak Kawah , Leher , Toe , Akar

Gambar 3 - 11 : Pengaruh Kadar Blerang pada Kepekaan Retak Lamel

Gambar 3 - 12 : Retak Lamel

Gambar 3 - 13 : Hubungan antara Retak Lamel dan Kepekaan Retak

Gambar 3 - 14 : Hubungan antara Kepekaan P_L dan Tegangan Kritik pada Arah
Tebal

Gambar 3 - 15 : Retak Bawah Manik

Gambar 4 - 1 : Bentuk Spesimen Uji

Gambar 4 - 2 : Bentuk dan Ukuran Tanggem

Gambar 4 - 3 : Bentuk - Bentuk Persiapan Sisi dan Sudut Bevel

Gambar 4 - 4 : Pemotongan Pada Spesimen Las

Gambar 4 - 5 : Spesimen Etsa Test

Gambar 4 - 6 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90^0 Tebal 15mm

Gambar 4 - 7 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90^0 Tebal 15mm

Gambar 4 - 8 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90^0 Tebal 10 mm

Gambar 4 - 9 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90^0 Tebal 10mm

Gambar 4 - 10 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90^0 Tebal 7mm

Gambar 4 - 11 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90^0 Tebal 7mm

Gambar 4 - 12 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75^0 Tebal 15mm

Gambar 4 - 13 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75^0 Tebal 15mm

Gambar 4 - 14 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75^0 Tebal 10mm

Gambar 4 - 15 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75^0 Tebal 10mm

Gambar 4 - 16 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75^0 Tebal 7mm

- Gambar 4 - 17 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75^0 Tebal 7mm
- Gambar 4 - 18 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60^0 Tebal 15mm
- Gambar 4 - 19 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60^0 Tebal 15mm
- Gambar 4 - 20 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60^0 Tebal 10mm
- Gambar 4 - 21 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60^0 Tebal 10mm
- Gambar 4 - 22 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60^0 Tebal 7mm
- Gambar 4 - 23 : Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60^0 Tebal 7mm
- Gambar 4 - 24 : Letak Retak Spesimen Tanggem 90^0 Tebal 15mm
- Gambar 4 - 25 : Letak Retak Spesimen Tanggem 90^0 Tebal 10mm
- Gambar 4 - 26 : Letak Retak Spesimen Tanggem 90^0 Tebal 7mm
- Gambar 4 - 27 : Letak Retak Spesimen Tanggem 75^0 Tebal 15mm
- Gambar 4 - 28 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 90^0
Tebal Pelat 15mm
- Gambar 4 - 29 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 90^0
Tebal Pelat 15mm
- Gambar 4 - 30 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 90^0
Tebal Pelat 15mm
- Gambar 4 - 31 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 90^0
Tebal Pelat 15mm
- Gambar 4 - 32 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 90^0
Tebal Pelat 15mm
- Gambar 4 - 33 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 90^0
Tebal Pelat 15mm

Gambar 4 - 34 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 90
Tebal Pelat 10mm.

Gambar 4 - 35 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 90
Pelat 10mm.

Gambar 4 - 36 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 90
Pelat 10mm.

Gambar 4 - 37 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 90
Pelat 10mm.

Gambar 4 - 38 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 90
Tebal Pelat 7mm.

Gambar 4 - 39 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 75⁰
Tebal Pelat 15mm

Gambar 4 - 40 : Hasil Pengamatan Mikroskop pada Spesimen Tanggem 75⁰
Tebal Pelat 15mm

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pada waktu ini teknik las telah dipergunakan secara luas dalam penyambungan batang - batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang di buat dengan teknik penyambungan ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana, sehingga biaya keseluruhannya menjadi lebih murah.

Sementara ini teknik penyambungan pelat pada pengelasan butt joint dilakukan dengan dua cara, yakni dengan penegar/penahan dan tanpa penahan. Penyambungan pelat dengan penahanan dilakukan dengan cara memasang penahan tegak lurus dengan garis las dan penahanan yang menyerong terhadap garis las.

Teknik penyambungan dengan pemasangan penegar/tanggem yang membentuk sudut kurang dari 90^0 , belum dapat diperhitungkan seberapa pengaruhnya pada hasil pengelasan baik terhadap dimensi maupun internal defectnya.

Salah satu bentuk cacat akibat pengelasan adalah terjadinya retak akibat penahan gerakan deformasi baik penahanan dari dalam material itu sendiri ataupun penahanan dari luar seperti penggunaan tanggem.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Pada tugas akhir ini akan dipelajari bagaimana pengaruh sudut tanggem terhadap retak pada penyambungan pelat butt-joint dengan las shielded metal arc (SMAW).

1.3 TUJUAN

1. Memberikan gambar – gambar dari perubahan retak terhadap penggunaan variasi sudut tanggem pada pengelasan.
2. Menganalisa pengaruh sudut tanggem terhadap retak yang terjadi.

1.4 BATASAN MASALAH

Dalam menganalisa pengaruh sudut tanggem terhadap retak dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Pelat yang digunakan dalam eksperimen adalah pelat baja SS-41 mild steel produksi PT. Krakatau Steel.
2. Ukuran pelat eksperimen adalah 300 x 400 mm dengan ketebalan 7,10 dan 15 mm.
3. Ukuran tanggem adalah 200 x 50 mm dengan ketebalan 7 mm, kesemuanya sama untuk semua jenis pelat uji.
4. Pengelasan dilakukan dengan posisi 1G (flat) dengan proses pengelasan SMAW seperti tertera pada welding procedure.

1.5 METODE PENYELESAIAN MASALAH

Untuk menganalisa hasil eksperimen, maka disusun metodologi sebagai berikut:

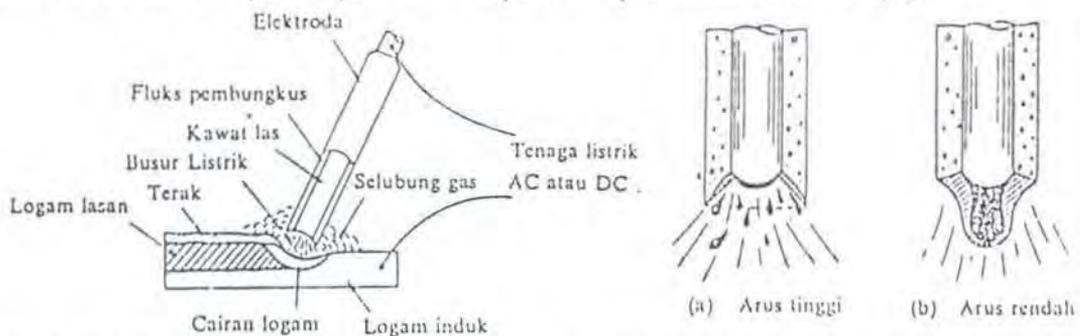
1. Studi literatur mengenai retak pada pengelasan .
2. Pengujian yang meliputi persiapan material, pengelasan, pembuatan spesimen test, etsa test dan pemotretan.
3. Analisa gambar hasil pemotretan terhadap penggunaan variasi sudut tanggem.

BAB II

METALURGI PENGELASAN

2.1 PROSES PENGELASAN SMAW

SMAW (Shield Metal Arc Welding) atau disebut juga las elektrode terbungkus merupakan proses pengelasan dengan memanfaatkan proses panas yang dihasilkan dari tenaga listrik yang terjadi diantara ujung elektrode dan logam induk. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektrode logam yang dibungkus dengan fluks. Dalam Gbr. 2-1 dapat dilihat bahwa busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektrode. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektrode tersebut mencair dan kemudian membeku bersama. Proses pemindahan logam elektrode terjadi pada saat ujung elektrode mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti terlihat dalam Gbr. 2-2 (a) , sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar seperti tampak dalam Gbr. 2-2 (b).



Gbr.2-1 Las Busur dengan Elektrode Terbungkus Gbr.2-2 Pemindahan Logam Cair

Pola pemindahan logam cair seperti diterangkan diatas sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Secara umum bahwa logam dapat dikatakan memiliki sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Sedangkan pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus seperti diterangkan diatas dan juga oleh komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektrode mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahannya tidak dapat dibakar, tetapi diubah menjadi gas yang juga menjadi pelindung dari logam cair terhadap oksidasi dan pematapan busur.

2.1.1 BAHAN FLUKS

Didalam las elektrode terbungkus fluks memegang peranan penting karena fluks dapat bertindak sebagai :

1. Pematapan busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam.
2. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara disekitarnya.
3. Pengatur penggunaan.
4. Sumber unsur-unsur paduan.

Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan tertentu pula. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam bahan

pemantapan busur, pembuatan terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, flourida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi.

2.1.2 BUSUR LISTRIK

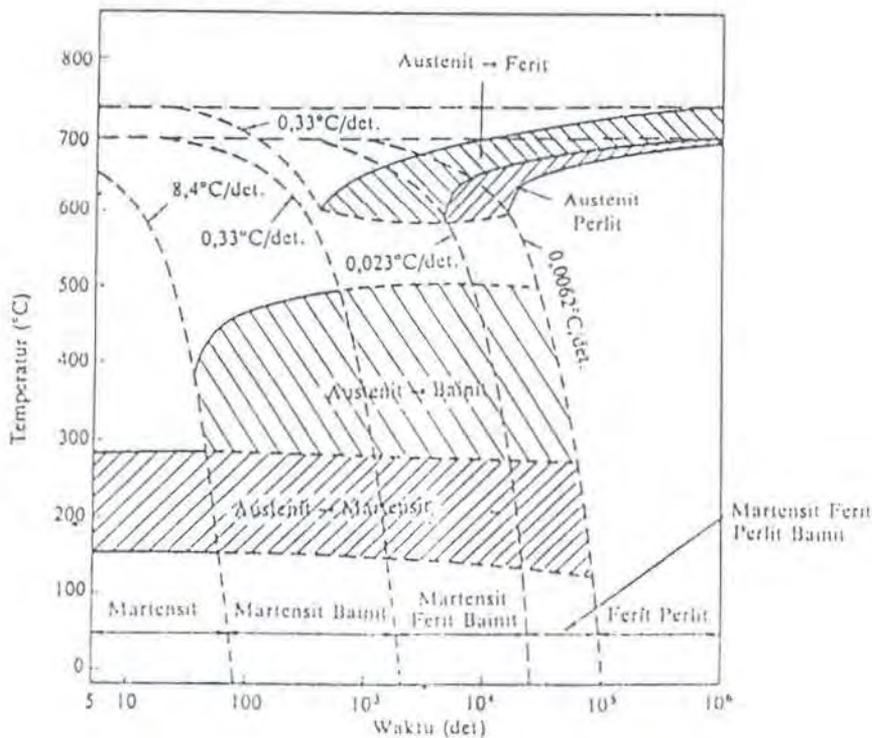
Dalam las elektrode terbungkus busurnya ditimbulkan dengan menggunakan arus listrik AC atau listrik DC. Tetapi karena pertimbangan harga, mudahnya penggunaan dan kesederhanaan perawatan, maka listrik arus AC lebih banyak dipergunakan. Keunggulan penggunaan listrik arus DC adalah mantapnya busur yang ditimbulkan, sehingga sangat sesuai untuk pelat-pelat tipis. Disamping mantapnya busur juga ternyata bahwa generator arus searah dapat digerakkan dengan mudah dengan motor-motor bakar. Hal ini menyebabkan mesin las busur listrik DC banyak digunakan dilapangan.

2.2 SIKLUS TERMAL DAN PENGARUHNYA TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR MIKRO DAN KETANGGULIAN DAERAH LASAN

2.2.1 STRUKTUR MIKRO BAJA

Pada umumnya struktur mikro baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suatu daerah austenit sampai kesuhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu,

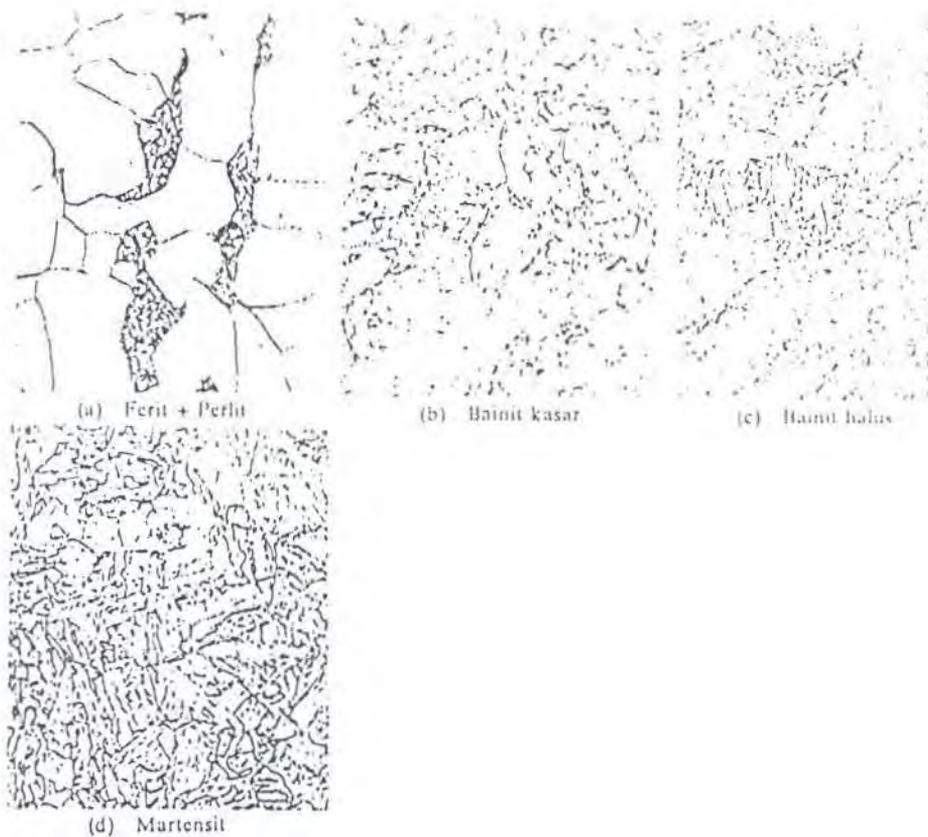
suhu dan transformasi yang biasanya disebut diagram CCT (Continuous Cooling Transformation). Contoh dari diagram ini untuk baja ASTM 4340 ditunjuk dalam Gbr. 2-3.



Gbr. 2-3 Diagram Pendinginan Kontinu atau diagram CCT (baja ASTM 4340)

Dari gambar dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik yang berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun , struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran ferit-perlit ke campuran ferit-perlit- bainit-martensit, ferit-bainit- martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit. Dalam Gbr. 2-4. ditunjukkan struktur mikro dari campuran ferit-perlit, bainit kasar yang dihasilkan pada temperatur tinggi , bainit yang halus dihasilkan pada sekitar suhu martensit atau titik Ms dan martensit sempurna. Kekuatan baja ferit-perlit sangat tergantung pada ukuran

butir ferit. Disamping hubungannya dengan kekuatan , ternyata bahwa besar butir juga mempengaruhi energi patah dan perambatan retak.



Gbr. 2-4 Struktur Mikro dalam Baja Karbon Rendah

Penelitian-penelitian menunjukkan bahwa makin halus butir-butir kristal makin rendah suhu transisi ulet getasnya. Karena itu tindakan memperhalus butir adalah tindakan yang sangat tepat dalam usaha memperbaiki kekuatan dan ketangguhan baja ferit-perlit.

Penghalusan butir baja kekuatan tinggi dilakukan dengan pendinginan cepat dari suhu austenit yang diikuti dengan proses penemperan yang dapat menghasilkan martensit temper atau bainit temper yang kedua-duanya sangat

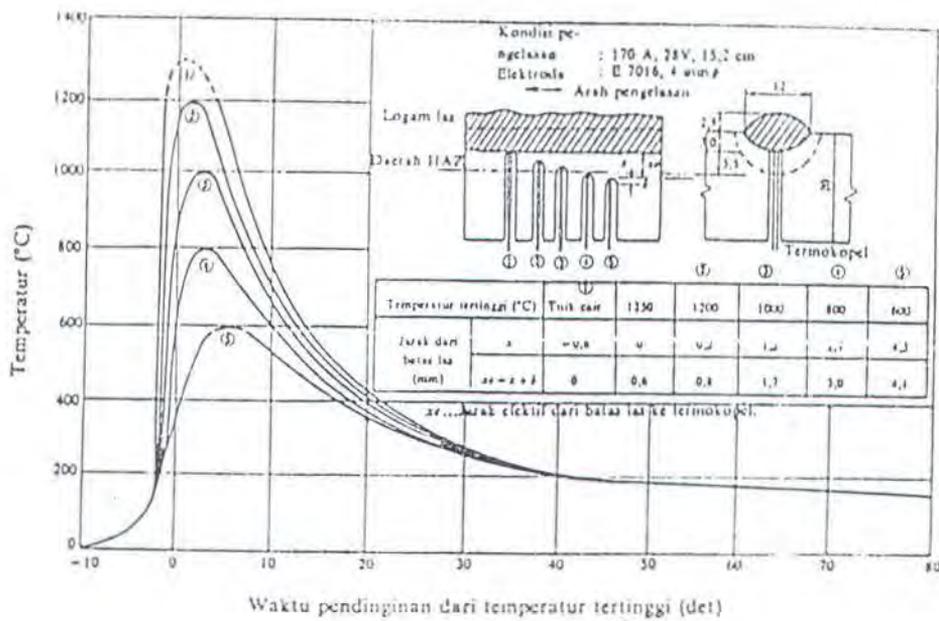
halus dan memiliki kekuatan dan ketangguhan yang sangat tinggi. Dalam melaksanakan penghalusan butir dengan perlakuan panas seperti diatas perlu diingat bahwa bila suhu tempemnya rendah , dislokasi-dislokasi yang terjadi selama proses transformasi hanya sedikit yang hilang, sehingga ketangguhan baja menurun.

2.2.2 SIKLUS TERMAL DAERAH LASAN

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan , daerah pengaruh panas (HAZ) dan logam induk yang tidak terkena pengaruh panas. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk yang tidak terpengaruh panas adalah bagian dari logam dasar dimana panas yang diakibatkan dari pengelasan ,tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut ,masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas yang disebut batas las.

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah las. Sebagai contoh dalam Gbr. 2-5 , ditunjukkan siklus termal daerah lasan dari las busur listrik dengan elektrode terbungkus lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda.

Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut. Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian tergantung dari lamanya pendinginan dari temperatur 800⁰ C sampai 500⁰ C. Sedangkan retak dingin dimana hidrogen memegang peranan penting, terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800⁰ C sampai 300⁰ C atau 100⁰ C.



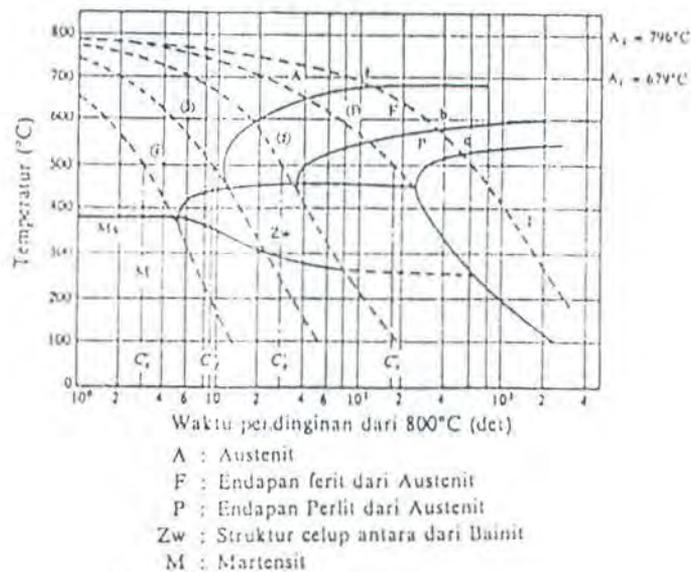
Gbr. 2-5 Siklus Termal dalam Las Busur Tangan

2.2.3 STRUKTUR MIKRO DAERAH PENGARUH PANAS (HAZ)

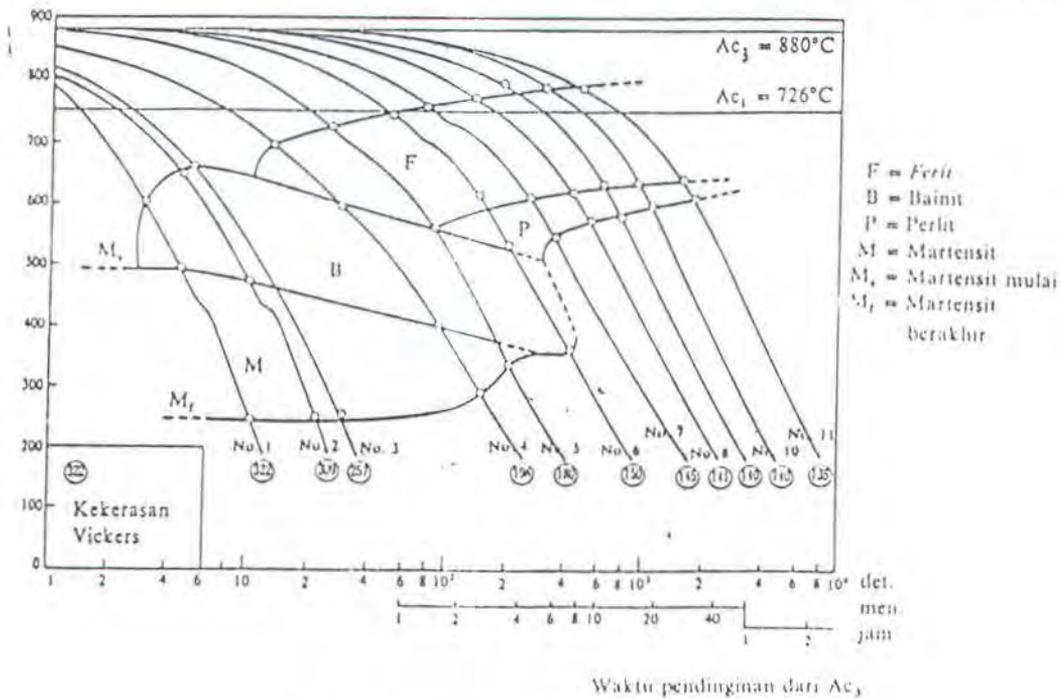
Struktur , kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dapat dibaca dengan segera pada diagram transformasi pendinginan berlanjut

atau diagram CCT. Diagram semacam ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan dan sebagainya, yang kemudian dapat dipakai untuk menentukan prosedur dan cara pengelasan.

Sebagai contoh diagram CCT ditunjukkan dalam Gbr. 2-6. (a). Disini ditunjukkan hubungan antara suhu mula dan suhu akhir transformasi dengan lama pendinginan dari 800°C (garis tebal), untuk baja kuat (55 kg/mm^2) yang dipanaskan dengan cepat ke temperatur 1300°C dan kemudian didinginkan dengan bermacam-macam kecepatan pendinginan. Garis putus menunjukkan beberapa contoh siklus termal las, yang bila digabung dengan garis tebal dari diagram CCT seperti yang ditunjukkan



Gbr. 2-6 (a) Diagram CCT pada pengelasan baja kekuatan BJ55



Gbr.2-6 (b) Diagram CCT Baja BJ60

dalam Gbr. 2-6.(a) , dapat menunjukkan tahap-tahap transformasi selama pendinginan dan dapat dipakai untuk meramalkan struktur akhir yang akan terbentuk. Sedang Gbr.2-6(b) menunjukkan diagram CCT untuk baja kuat (60 kg/mm²).

Sebagai contoh misalnya Gbr.2-6.(a) dalam hal siklus termal 1, bila baja telah mendingin sampai titik a (± 680⁰ C) maka ferit mulai diendapkan dari austenit. Transformasi ini berjalan terus dan baru berakhir bila titik b (590⁰ C) dicapai dan kemudian diganti dengan transformasi pengendapan perlit yang akan berakhir pada titik c (520⁰ C) Dari pembahasan diatas dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan struktur yang terbentuk adalah ferit dan perlit.

Dengan analisa yang sama , dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur sebagai berikut :

1. Dengan siklus termal las antara (1) dan (2) akan terbentuk ferit , struktur antara dan martensit.
2. Dengan siklus termal antara (2) dan (3) akan terbentuk ferit , struktur antara dan martensit.
3. Dengan siklus termal las antara (3) dan (4) akan terbentuk struktur antara dan martensit.
4. Dengan pendinginan lebih cepat dari (4) akan terbentuk martensit.

Karakteristik siklus termal las (1) , (2) , (3) dan (4) ini dalam bentuk lamanya waktu pendinginan dari temperatur 800°C ke 500°C masing-masing adalah 200 detik (ditunjukkan oleh C'_E dalam diagram) 32 detik (C'_p) , 9.6 detik (C'_r) dan 3 detik (C'_z).

Biasanya diagram transformasi pendinginan berlanjut menunjukkan juga kekerasan yang akan dimiliki oleh baja setelah mendingin mengikuti siklus termal tertentu. Karena itu dengan mengukur waktu pendinginan dari 800°C sampai 500°C dan menggabungkan dengan diagram CCT dari baja yang sama , maka struktur dan kekerasan baja pada daerah HAZ sudah dapat ditentukan.

Diagram transformasi pendinginan berlanjut untuk baja kekuatan 60 kg/mm^2 ditunjukkan dalam Gbr. 2-7. Dalam Gbr. 2-7.(b) ditunjukkan hubungan antara prosentase struktur dan kekerasan baja yang didapat dengan melalui beberapa macam waktu pendinginan (dari 787°C sampai 500°C) seperti ditunjukkan dalam Gbr. 2-7.(a).

BAB III

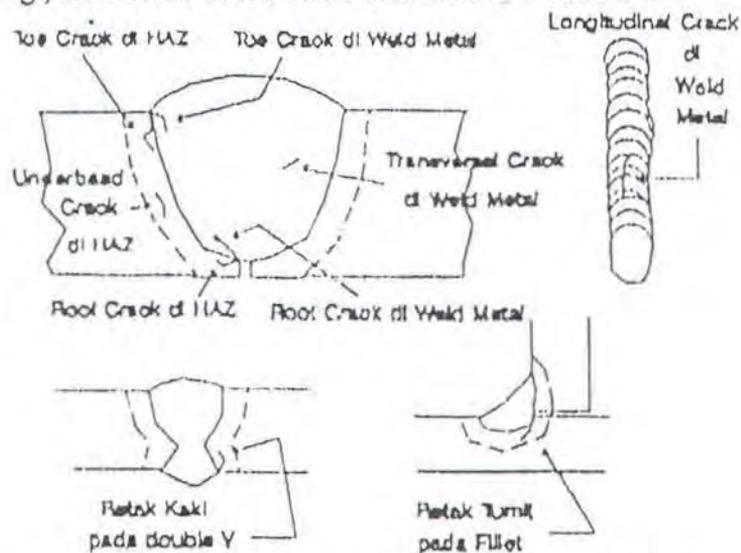
RETAK LAS

3.1 RETAK LAS MENURUT PROSES TERJADINYA

3.1.1 RETAK DINGIN (COLD CRACK)

Retak Dingin terjadi di daerah las pada suhu dibawah suhu transformasi Martensit (M_s = Martensit start) yang besarnya kira-kira $300^{\circ} C$,pada suhu ini proses pengkristalan sudah terwujud (post crystalization).

Retak Dingin terjadi didaerah HAZ dan Weld Metal. Retak Dingin pada HAZ sering dikenal sebagai Retak bawah Manik Las (Under Bead Crack) , Retak Akar (Root Crack) , Retak Tumit pada fillet joint , dan Retak Kaki pada pengelasan double-v , serta Toe Crack yang menjalar dari permukaan. Sedangkan Retak Dingin pada Weld Metal biasanya dikenal sebaai Retak Memanjang dan Retak Melintang , serta Root Crack dan Toe Crack di Weld Metal.

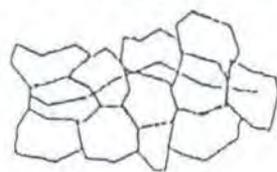


Gbr. 3-1 Macam-macam Retak Dingin (Cold Crack)

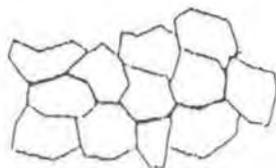
Retak Dingin initerjadi dalam waktu yang cukup lama , kadangkala berjam-jam atau bahkan sehari-hari setelah proses pengelasan dilakukan. Initiation (Awal) dari Retak Dingin ini pada dasarnya berlangsung lama. Ada semacam penundaan waktu (time delay) serta masa inkubasi sebelum retak awal muncul. Dan perambatan retaknya sendiri juga berlangsung lambat , dalam pola perambatan yang tak beraturan , serta dengan renggang waktu yang lama antara proses perambatan retak yang pertama dengan proses perambatan retak selanjutnya (steps in the crack growth).

Retak Dingin ini timbul melewati kristal (trans-cryitalline) atau hanya timbul di celah-celah antara kristal itu sendiri (inter-crystalline), tetapi bisa juga merupakan gabungan keduanya.

Awal retak ini pada umumnya dimulai dari adanya Notch (celah) , seperti Toe Crack, atau bisa juga karena ketidakhomogenan suatu mikrostruktur, yang mengakibatkan perubahan mendadak pada kekerasan material , seperti : slag inclusion , perbatasan antara Martensit dan Ferit , atau mungkin bahkan batas-batas antar butiran pada Martensit dan Ferit itu sendiri.



TRANSCRYSTALLINE CRACK
CLEAVAGE CRACK
(RETAK BILAH)



INTERCRYSTALLINE
CRACK

Gbr. 3-2 Retak Kristal

3.1.1.1 FAKTOR TERBENTUKNYA RETAK DINGIN

Adanya banyak faktor yang mempunyai pengaruh terhadap terbentuknya Retak Dingin yaitu :

- * Adanya komposisi kimia / paduan unsur pada struktur HAZ dan Weld Metal.
- * Akibat difusi hidrogen dalam pengelasan (hidrogen diffusable) / penggetasan oleh hidrogen (hidrogen embrittlement)
- * Akibat pengaruh tegangan sisa yang tinggi (high residual stress)
- * Akibat susunan mikrostruktur material yang mudah retak atau rentan terhadap keretakan (A ' Susceptible ' Microstructure)
- * Akibat penahanan dari bentuk sambungan las
- * Akibat heat input yang terlalu tinggi
- * Akibat deformation angle

dari beberapa faktor diatas , beberapa faktor penyebab akan dijelaskan secara rinci dibawah ini.

3.1.1.1.1 AKIBAT KOMPOSISI KIMIA / PADUAN UNSUR PADA STRUKTUR HAZ DAN WELD METAL

Komposisi kimia dari HAZ ditentukan oleh komposisi kimia dari logam induk dan kecepatan pendinginan dari daerah las , sedangkan untuk Weld Metal ditentukan oleh komposisi dari elektrode yang dipakai. Retak Dingin ini seperti yang telah dijelaskan di depan adalah timbul di daerah Martensit , sedangkan kita ketahui bahwa martensit sendiri memiliki sifat keras , getas , dan sangat sensitif terhadap adanya celah (Nocth).

Mekanisme dari pembentukan retak dingin ini dapat dijelaskan secara sederhana sebagai berikut : Lokasi dari retak dingin dapat diprediksi dari saat transformasi perubahan martensit. Bila HAZ dan Weld Metal memiliki kekerasan yang sama , transformasi perubahan secara normal akan terjadi di HAZ dulu dan baru kemudian di Weld Metal. Hal ini sebagai akibat dari distribusi panas dari busur las yang semakin turun di daerah HAZ ,sehingga HAZ sudah mengalami transformasi martensit sedangkan di Weld Metal belum terjadi. Akibatnya terjadi efek peregangan karena dua daerah yang berdekatan memiliki kekerasan yang berbeda, disini akan timbul keretakan.

Karena hal diatas maka kadar dari unsur paduan yang mempertinggi sifat mampu keras baja harus diusahakan serendah mungkin. Pengaruh unsur paduan terhadap timbulnya retak dingin ini dapat dilihat dari harga Cek dan harga Pcm. Cek adalah harga ekivalen karbon dari unsur-unsur yang dikandung , sedangkan Pcm adalah harga parameter retak. Berikut adalah rumus untuk harga Cek dan Pcm :

* Harga Cek menurut JIS dan WES

$$\text{Cek} = C + 1/6 \text{ Mn} + 1/24 \text{ Si} + 1/40 \text{ Ni} + 1/5 \text{ Cr} + 1/4 \text{ Mo} + 1/14 \text{ V} \quad (\%)$$

* Harga Cek menurut IIW dan Lloyd

$$\text{Cek} = C + 1/6 \text{ Mn} + 1/5 (\text{ Cr} + \text{ Mn} + \text{ V}) + 1/15 (\text{ Ni} + \text{ Cu}) \quad (\%)$$

* Harga parameter retak (Pcm)

$$\text{Pcm} = C + 1/30 \text{ Si} + 1/20 \text{ Mn} + 1/60 \text{ Ni} + 1/20 \text{ Cr} + 1/15 \text{ Mo} + 1/10 \text{ V} + 5 \text{ B} \quad (\%)$$

Dari penelitian oleh Kihara , Suzuki , dan Tamura , didapat kesimpulan bahwa harga Cek dan Pcm sebanding dengan kepekaan terhadap terjadinya retak dingin. Semakin besar harga Cek dan Pcm , semakin besar pula kemungkinan untuk terjadinya retak dingin , begitu juga sebaliknya. Dengan catatan bahwa kadar hidrogen dalm penelitian ini dikelompokan dengan kadar yang sama. Penelitian ini tampak pada gambar 3-3 & 3-4

Turunnya harga Cek dan Pcm pada HAZ dapat diatasi dengan mengatur jenis dan banyaknya paduan unsur yang dicampurkan pada proses pembuatan baja , selain itu dapat pula diperbaiki dengan memilih kondisi pengerolan (misalnya pada suhu rendah)

Disamping itu masih ada lagi jenis parameter retak yang lain yaitu Pw.

Pw ini memiliki rumusan sebagai berikut :

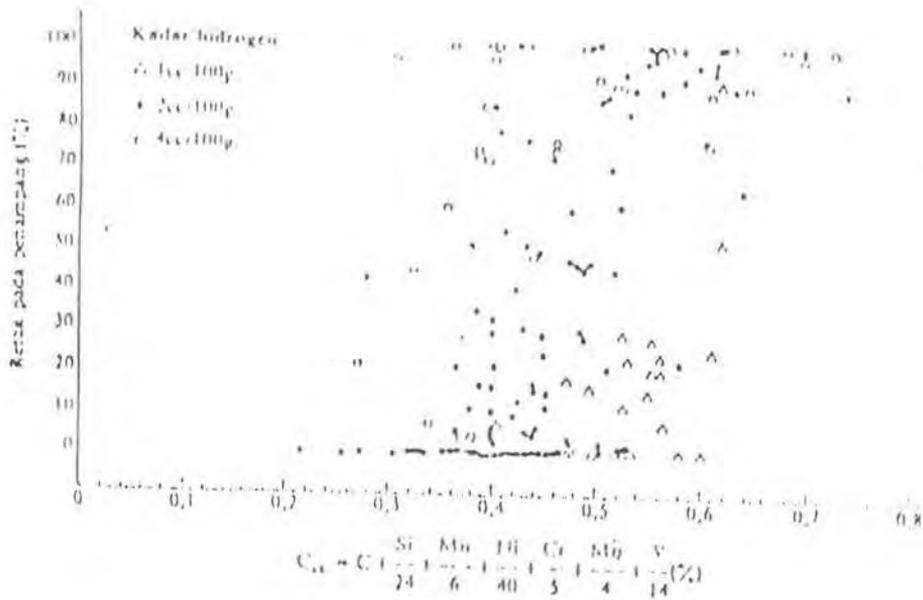
$$Pw = Pcm + 1/60 H + 1/4000 K \quad (\%)$$

Dimana :

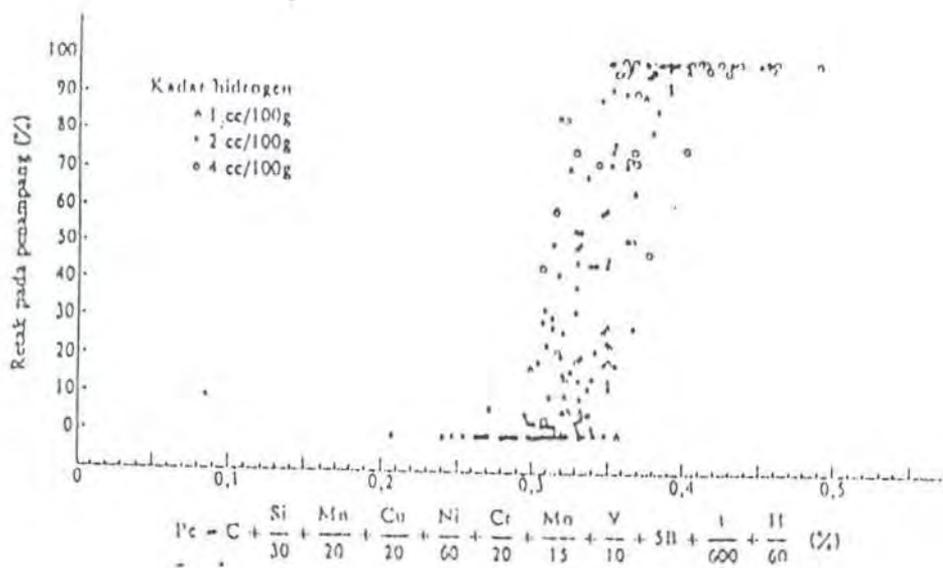
H = Hidrogen difusi dalam logam las (cc / 100 g)

K = Kekuatan penahan (kgf / mm² x mm)

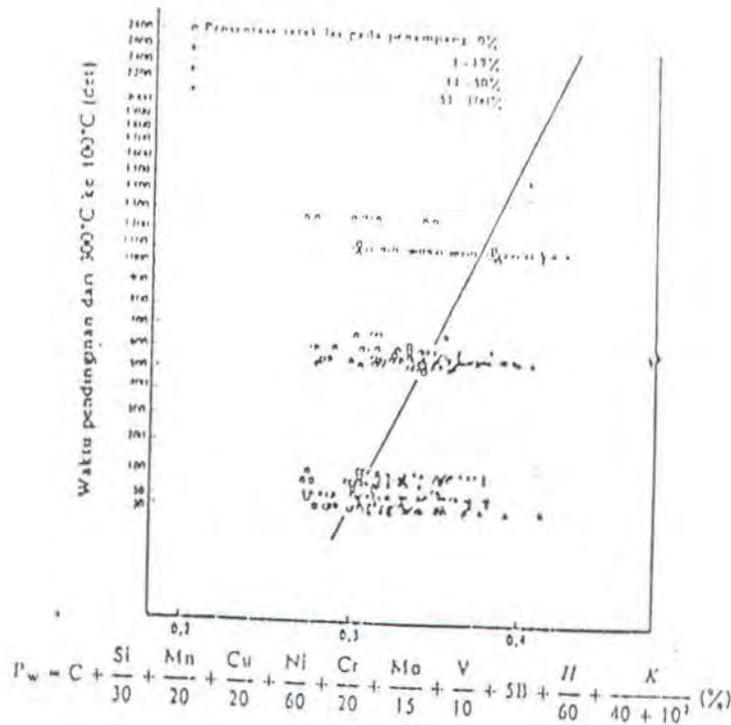
Hasil penelitian mengenai Pw ditunjukkan pada Gbr. 3-5.



Gbr. 3-3 Hubungan antara Prosentase Retak dan Ekuivalen Karbon (Cek dari Kihara , Suzuki dan Tamura).



Gbr. 3-4 Hubungan antara Prosentase Retak dan Parameter Retak (Pcm)



Gbr 3-5 Hubungan antara parameter retak P_w dengan waktu pendinginan kritis dari 300° C sampai 100° C

3.1.1.1.2 AKIBAT DIFUSI HIDROGEN DALAM PENGELASAN

Difusi hidrogen atau bisa juga dikenal sebagai penggetasan oleh hidrogen (Hydrogen Embrittlement) boleh dikatakan merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap terjadinya retak dingin. Bahkan keberadaan unsur hidrogen dalam jumlah yang amat kecil (misal : parts per million) saja sudah sangat berpengaruh.

Pada waktu proses pengelasan berlangsung , Weld Metal dan daerah HAZ masih berupa cairan. Setelah jangka waktu tertentu baru menjadi solid kembali. Pada saat mencair , larutan logam (baik Weld Metal maupun HAZ) menyerap hidrogen dalam jumlah besar yang nantinya akan dilepaskan pada suhu yang lebih rendah secara difusi. Hal ini terjadi karena pada suhu rendah kelarutan hidrogen juga menurun , atau dengan kata lain hidrogen lebih mudah melarut pada kondisi liquid daripada kondisi solid. Hidrogen yang didifusikan inilah sebagai sumber timbulnya retak dingin.

3.1.1.1.3 AKIBAT PENGARUH TEGANGAN SISA YANG TINGGI

Tegangan sisa atau residual stress banyak dipengaruhi oleh bentuk rancangan sambungan las , proses pengelasan yang dipakai , serta pemilihan prosedur pengelasan. Untuk mengurangi pengaruh tegangan sisa ini dapat dicapai dengan jalan mengurangi besar heat input yaitu dengan memperkecil sudut kampuh las serta memperkecil celah akar sambungan las. Selain itu urutan pengelasan (welding sequence) juga turut berpengaruh , sebagai contoh bahwa urutan loncat menghasilkan residual stress yang terendah , dan berturut-turut urutan maju , mundur , seret urutan simetri yang tegangan sisanya terbesar.

Disamping itu juga dikenal istilah Residual Stress Releasing (pembebasan tegangan sisa) , tujuan sama yaitu mengurangi tegangan sisa juga. Perbedaannya adalah perlakuan ini diberikan setelah proses pengelasan selesai. Proses anil suhu rendah dan suhu tinggi , serta tempa termasuk dalam perlakuan ini.

3.1.1.1.4 AKIBAT SUSUNAN MIKROSTRUKTUR MATERIAL YANG MUDAH RETAK (A ' SUSCEPTIBLE ' MICROSTRUCTURE)

Telah disepakati bersama bahwa retak dingin berawal dari daerah pembentukan butiran pada HAZ ataupun Weld Metal. Meningkatnya ukuran butiran mengakibatkan turunnya temperatur transformasi perubahan fase , sehingga meski pada baja dengan harga Cek tinggi yang dikenal sukar mengalami retak dingin , dapat timbul sebagian kecil produk dari transformasi perubahan fase pada suhu rendah , seperti martensit dan bainit. Kadar dislokasi yang tinggi dari martensit dan bainit ini , bersama-sama dengan butir karbit peneras , akan menghasilkan komposisi yang keras dengan sifat liat yang rendah.

Efek lainnya yang memicu retak dingin adalah ukuran butiran austenit yang lebih besar dari biasanya yang lebih dahulu terbentuk. Ini bisa mengakibatkan proses segregasi / pemisahan pada batas butiran.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa susunan mikrostruktur yang rentan terhadap retak dan dapat dianggap sebagai pemicu dari retak dingin :

- Susunan yang memiliki butiran yang keras , misal : martensit dan bainit
- Butiran austenit yang berukuran lebih besar dan kasar yang lebih dulu terbentuk.
- Slag inclusion / benda asing yang terjebak secara tak sengaja pada proses pengelasan , atau partikel-partikel karbit yang kasar yang membentuk batas butiran.
- Butiran dengan kemampuan dislokasi yang tinggi

3.1.1.1.5 AKIBAT PENAHANAN DARI BENTUK SAMBUNGAN LAS

Bentuk geometri dari sambungan las berhubungan erat dengan besar atau kecilnya residual stress yang ditimbulkan, sedangkan telah kita ketahui bahwa residual stress yang tinggi memiliki peluang yang besar untuk timbul retak dingin.

Besarnya residual stress tergantung dari besarnya penahanan yang ditimbulkan dari perencanaan sambungan las. Sebagai contoh semakin tebal dan kuat pelat yang akan dilas, maka semakin besar pula restraint (faktor penahanan), dan ini berarti semakin besar tegangan sisa. Batas maksimum tegangan sisa ini kadang mencapai tegangan luluh (yield stress) dari material.

3.1.1.1.6 AKIBAT HEAT INPUT YANG TINGGI

Heat input yang berlebihan juga mengakibatkan tegangan sisa yang tinggi. Heat input ini sendiri juga dipengaruhi oleh voltase pengelasan, amper pengelasan, kecepatan pengelasan, serta efisiensi perpindahan panas.

Rumus heat input adalah sebagai berikut :

$$H = (E \times I \times f_1) / V$$

Dimana :

H = Heat input (joule / mm)

E = Voltase busur (Volt)

I = Ampere (arus mesin las) (A)

V = Velocity / speed welding (mm / detik)

f_1 = Efisiensi busur , dapat dilihat pada tabel 3-1

Tabel 3 - 1

PROSES	f_1
Manual Metal Arc (MMA)	
Shield Metal Arc Welding (SMAW)	0,7 - 0,85
Tungsten Inert Gas (TIG) (Argon)	0,22 - 0,48
Metal Inert Gas (MIG) (Argon)	0,66 - 0,76
Submerged Arc Welding (SAW)	1,90 - 0,99

3.1.1.2 PENGARUH RETAK DINGIN TERHADAP SAMBUNGAN STRUKTUR

Bila suatu struktur memiliki retak dingin atau retak jenis lain , maka retak itu akan dapat berkembang dan bertambah panjang sampai akhirnya struktur mengalami kepatahan (fracture). Kepatahan pada komponen struktur ini akan membawa pengaruh yang besar pada keseluruhan kekuatan konstruksi struktur dan bukan tidak mungkin pada akhirnya struktur roboh. Kegagalan struktur ini biasa disebut failure condition.

Struktur mengalami baik beban berulang maupun beban statis. Hal ini merupakan sebab utama terjadinya perambatan retak. Disamping itu , keadaan lingkungan yang tidak bersahabat juga bisa menjadi sebab perambatan retak. Lingkungan yang bersifat korosif dan lingkungan yang berkadar kelembaban uap

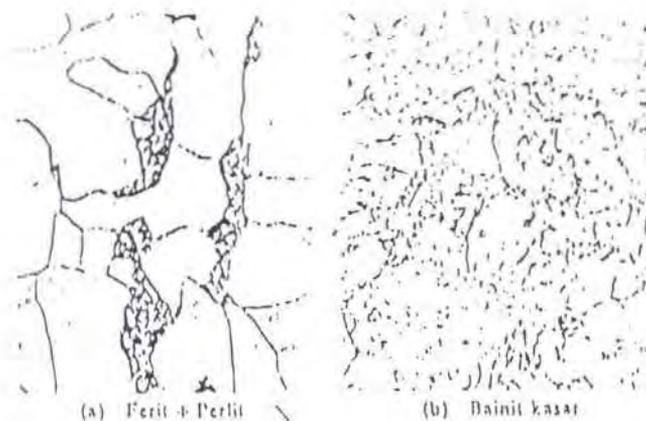
air yang tinggi , yang berarti juga mengandung unsur hidrogen yang besar adalah contoh dari keadaan lingkungan yang merusak.

3.1.1.3 CARA PENCEGAHAN RETAK DINGIN

Berikut akan disampaikan beberapa cara yang lazim dipakai untuk pencegahan retak dingin. Beberapa cara ini pada dasarnya adalah usaha-usaha untuk sedapat mungkin mengurangi atau bahkan menghilangkan faktor-faktor penyebab retak dingin. Beberapa cara tersebut adalah sebagai berikut :

- Sedapat mungkin menggunakan baja dengan kadar karbon (C) dan phospor (P) rendah , sehingga terbentuknya struktur martensit pada HAZ dan weld metal bisa dihindari.
- Menggunakan elektrode dengan fluks berkadar hidrogen rendah (low hidrogen) , misal jenis E 7016
- Menghilangkan kandungan uap air yang terkandung dalam fluks basah yang sering digunakan dalam las busur rendam.
- Elektrode-elektrode yang digunakan harus dipanggang (baking elektrode) terlebih dahulu dan penyimpanannya sedemikian rupa sehingga elektrode yang sudah dipanggang tidak menyerap uap air lagi.
- Sebelum mengelas , pada daerah sekitar kampuh harus dibersihkan dari air , karat , debu , minyak , dan zat organik yang dapat menjadi sumber hidrogen.
- Penggunaan CO sebagai gas pelindung yang akan sangat mengurangi difusi hidrogen.

- Untuk melepaskan kadar hidrogen difusi dapat digunakan las dengan masukkan panas tinggi , atau dilakukan pemanasan mula (pre-heating) dan penahanan suhu lapisan las yang dapat memperlambat pendinginan (post-heating). Post-heating ini nanti akan berkaitan dengan diagram CCT (Continuous Cooling Transformation) , dimana dengan diagram CCT ini kita bisa mengatur bentuk metalurgi struktur yang kita inginkan.
- Menghindari pengelasan pada waktu hujan atau tempat dengan kadar kelembaban tinggi.
- Tegangan yang terjadi pada daerah las harus diusahakan serendah mungkin dengan cara pemilihan dan pengawasan rancangan sambungan las , prosedur pengelasan yang benar , cara pengelasan yang tepat , serta penahanan yang tidak dipaksakan.
- Menurunkan kadar Si dan Ni serendah mungkin dan sedapat mungkin menghilangkan kandungan S dan P.
- Pada pengelasan banyak lapis (multi pass) dan pengelasan fillet , diusahakan agar pengelasan awal pada root atau akar las mempunyai bentuk mahkota las yang baik yaitu rata atau cembung , dimana bentuk mahkota ini dapat menaham retak sampai lapis berikutnya ditambahkan.

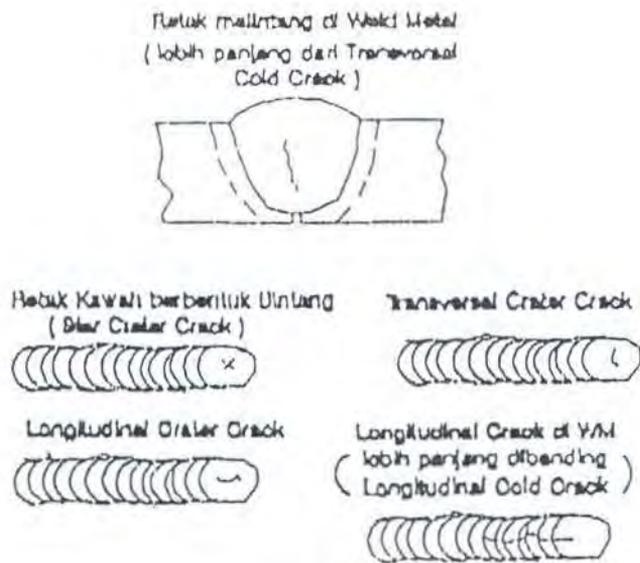


Gbr 3-6 Struktur Mikro

3.1.2 RETAK PANAS (HOT CRACK)

Retak panas terjadi pada suhu diatas 500°C , yang mana masih terjadi proses pengkristalan dan proses pemisahan butiran (segregation). Untuk memperjelas bahwa periode martensit pada baja yang mengandung 0,12 C dan 12 % Chromium (Cr) adalah sekitar 300°C - 350°C untuk martensit start (Ms) dan sekitar 150°C - 180°C untuk martensit finish (Mf).

Untuk retak panas biasanya berbentuk retak kawah (crater crack) , baik sebagai retak kawah model bintang (star crater crack) , ataupun retak kawah memanjang dan melintang , dan kesemuanya berada di weld metal. Retak panas juga kadangkala berbentuk longitudinal hot crack dan transversal hot crack , bedanya dengan longitudinal dan tranversal crack milik retak dingin adalah ukurannya. Pada retak panas cenderung lebih panjang. Retak panas cepat sekali terjadinya yaitu segera setelah proses pengelasan dilakukan atau selama siklus pendinginan berlangsung.



Gbr 3 - 7 Retak Panas

3.2 RETAK MENURUT BENTUKNYA

3.2.1 RETAK MEMANJANG (LONGITUDINAL CRACK)

Yaitu retak yang terjadi searah atau paralel dengan garis atau panjang las dan biasanya terjadi didaerah weld metal ataupun daerah Toe pada daerah HAZ. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3-8



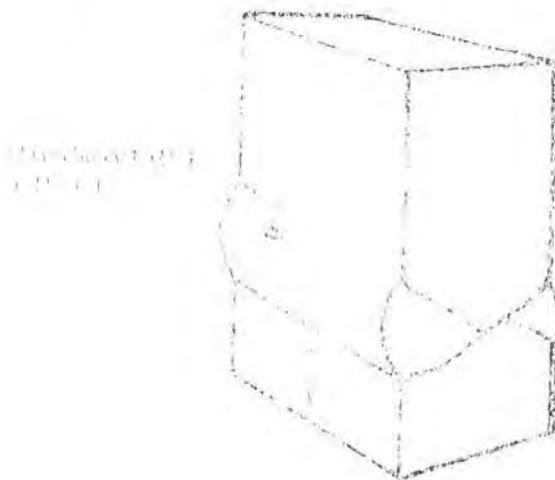
RADIOGRAPH
OF CRACK



Gbr. 3-8 Retak Memanjang.

3.2.2 RETAK MELINTANG (TRANSVERSE CRACK)

Yaitu retak yang terjadi arahnya tegak lurus atau memotong garis atau panjang las. Retak melintang ini berada di weld metal atau bahkan bisa mencapai daerah HAZ dari base metal. Dalam beberapa kasus retak melintang dapat terjadi hanya pada daerah HAZ saja tetapi pada weld metal tidak terjadi. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 3-9.



Gbr. 3-9 Retak Melintang.

3.2.3 RETAK KAWAH (CRATER CRACK)

Yaitu retak yang bentuknya menyerupai kawah atau bintang , oleh karena itu retak kawah ini juga sering disebut sebagai retak bintang (star crack) , retak kawah ini masuk dalam katagori retak panas oleh karena itu retak kawah ini berkedudukan di daerah weld metal. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 3-10.

3.2.4 RETAK LEHER (A THROAT CRACK)

Yaitu retak yang arahnya memanjang atau searah garis atau panjang las akan tetapi berada pada muka garis las. Retak leher ini hampir sama dengan retak

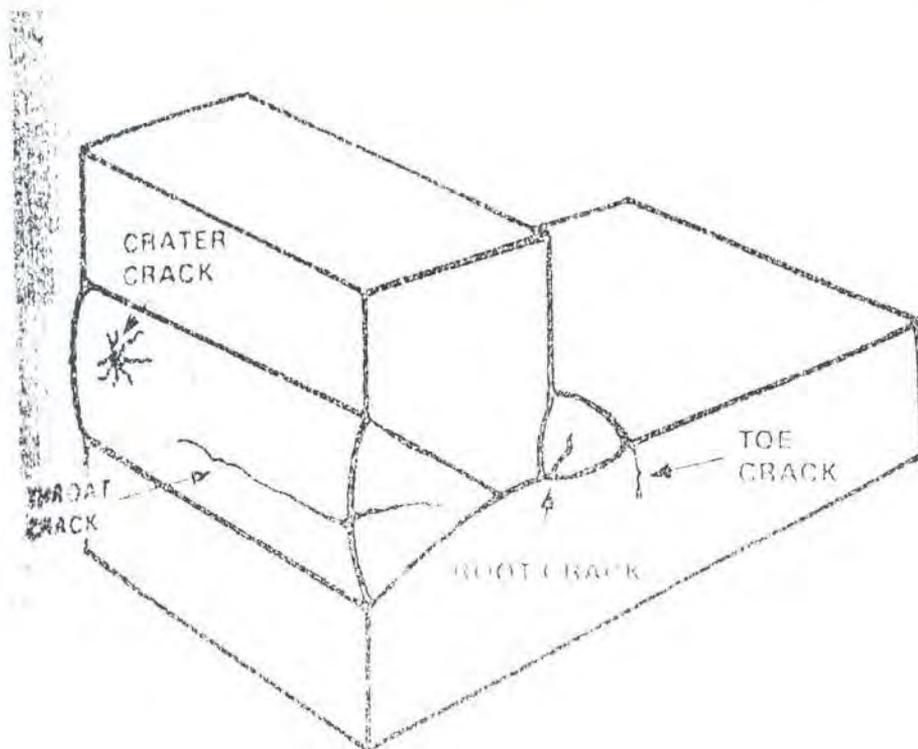
memanjang akan tetapi memiliki perbedaan , perbedaannya pada retak leher ,retaknya terjadi di permukaan garis las (weld metal) sedangkan pada retak memanjang , retaknya terjadi didalam garis las (weld metal). Untuk lebih jelasnya lihat gambar 3-10.

3.2.5 TOE CRACK

Yaitu retak yang terjadi didaerah Toe , retak ini terjadi karena pada daerah ini memiliki konsentrasi tegangan yang tinggi. Retak ini dimulai dan tumbuh pada daerah toe dari weld metal yang kemudian menjalar ke base metal. Retak ini termasuk dalam golongan retak dingin. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 3-10.

3.2.6 RETAK AKAR (ROOT CRACK)

Retak ini terjadi pada daerah akar las sehingga sering disebut sebagai retak akar ,retak akar ini termasuk dalam golongan retak dingin dan dapat terjadi didaerah HAZ atau didaerah weld metal. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 3-10.



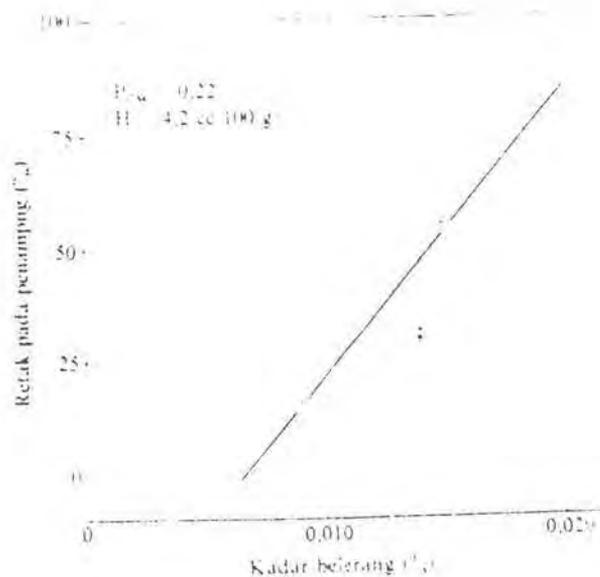
Gbr. 3 - 10 Retak Kawah , Retak Leher , Retak Toe, Retak Akar

3.2.7 RETAK LAMEL

Retak ini biasanya terjadi pada pelat tebal , karena pada daerah las terjadi tegangan yang besar pula. Karena tegangan ini kadang - kadang terjadi retak berumpuk yang menjalar sepanjang butiran bukan logam yang ada di dalam baja. Retak semacam ini disebut retak lamel. Butiran dengan bentuk - bentuk kubus seperti MnS atau $MnSiO_3$ biasanya lebih peka terhadap retak lamel dari pada butiran berbentuk bulat.

Karena hal itu diatas , maka pada baja tahan retak biasanya kadar belerang diusahakan serendah - rendahnya . Hubungan antara kadar belerang dan kepekaan retak lamel dapat dilihat pada gambar 3 - 11 . Penambahan unsur Ce dan Ca pada baja dapat membentuk butiran bukan logam yang berbentuk bulat ,

sehingga pengurangan kepekaan baja terhadap retak lamel disamping pengurangan kadar S, dapat juga dilakukan dengan penambahan Ce dan Ca. Disamping sifatnya yang khusus, retak lamel juga memiliki sifat seperti retak las pada umumnya. Karena itu retak lamel disamping sangat dipengaruhi oleh bentuk butir bukan logam, juga dipengaruhi harga C_{ek} atau P_{cm} kadar hidrogen difusi dan tegangan sisa.

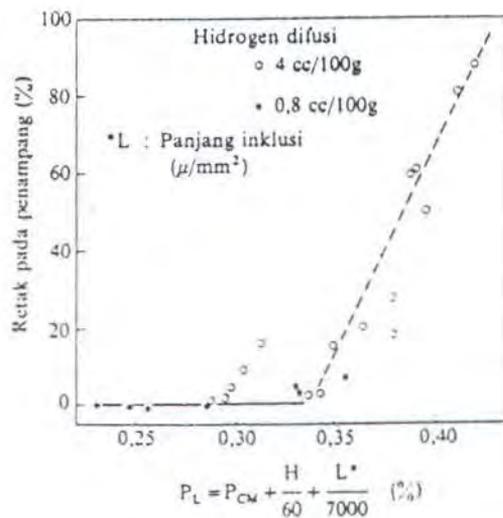


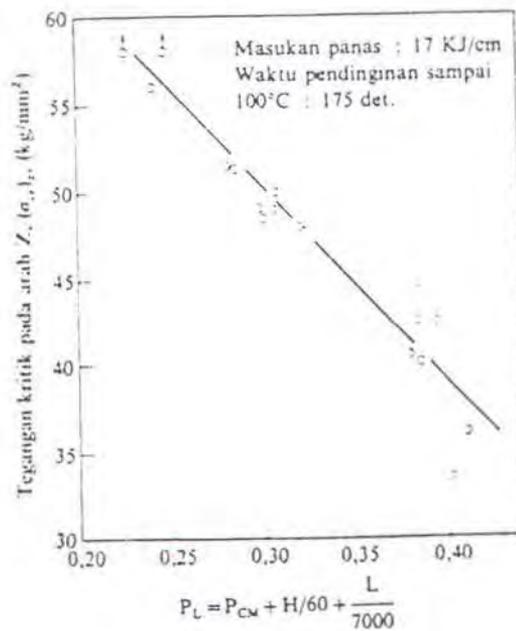
Gbr. 3 - 11 Pengaruh Kadar Belerang pada Kepekaan Retak Lamel



Gbr. 3 - 12 Retak Lamel

Hubungan antara kepekaan retak lamel dengan indeks kepekaan P_L , yang mencakup komposisi kimia, kadar hidrogen difusi, dan butiran bukan logam ditunjukkan dalam gambar 3 - 13. Hubungan antara P_L dan tegangan kritik pada uji tarik dengan beban tarik searah dengan tebal pelat dilihat dalam gambar 3 - 14.

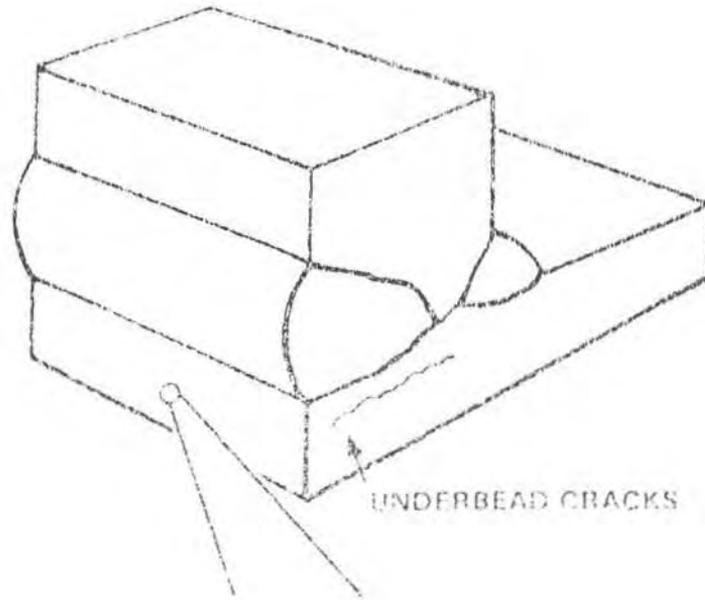
Gbr. 3 - 13 Hubungan Antara Retak Lamel dan Kepekaan P_L .



Gbr. 3 - 14 Hubungan Antara Kepekaan P_L dan Tegangan Kritis pada Arah Tebal.

3.2.8 RETAK DI BAWAH MANIK LAS (UNDERBEAD CRACK)

Retak ini masuk dalam katagori retak dingin. Retak ini berada di bawah manik las dan di daerah HAZ sehingga sering disebut sebagai retak di bawah manik las. Retak ini paling sering berbentuk pendek , akan tetapi retak yang pendek tersebut bisa bergabung menjadi retak yang menerus (panjang). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3-15.



Gbr. 3 -15 Retak Bawah Manik Las

BAB IV

PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PENGUJIAN

IV.1. BENTUK DAN UKURAN SPESIMEN

IV.1.1. JENIS MATERIAL

Jenis material yang digunakan dalam pengujian adalah baja SS-41 produksi PT. Krakatau Steel yang merupakan jenis mild steel. Dalam JIS (Japanese Industrial Standard) yaitu JIS G-3101, baja SS-41 disebutkan sebagai rolled steel yang digunakan secara umum pada struktur bangunan, jembatan, konstruksi kapal, dan struktur komersial lainnya. Material ini diperoleh dari PT.PAL Indonesia, dari pelat yang akan dipakai untuk pembuatan konstruksi badan kapal.

Komposisi kimia dari baja SS-41 adalah :

Karbon	: 0,10 %
Silicon	: 0,027 %
Mangan	: 0,679 %
Phospor	: 0,014 %
Sulfur	: 0,01 %
Aluminium	: 0,065 %

IV.1.2. UKURAN SPESIMEN UJI LAS

Material pelat yang dibutuhkan beserta dimensinya untuk membuat specimen pengujian adalah sebagai berikut :

a). Jenis material : SS-41 (mild steel) produksi Krakatau Steel

b). Dimensi :

□ Untuk spesimen yang tanggemnya bersudut 90^0 :

$$1). P \times L \times T = 400 \times 150 \times 7 \text{ (mm)}$$

$$2). P \times L \times T = 400 \times 150 \times 10 \text{ (mm)}$$

$$3). P \times L \times T = 400 \times 150 \times 15 \text{ (mm)}$$

□ Untuk spesimen yang tanggemnya bersudut 75^0 :

$$1). P \times L \times T = 400 \times 150 \times 7 \text{ (mm)}$$

$$2). P \times L \times T = 400 \times 150 \times 10 \text{ (mm)}$$

$$3). P \times L \times T = 400 \times 150 \times 15 \text{ (mm)}$$

□ Untuk spesimen yang tanggemnya bersudut 60^0 :

$$1). P \times L \times T = 400 \times 150 \times 7 \text{ (mm)}$$

$$2). P \times L \times T = 400 \times 150 \times 10 \text{ (mm)}$$

$$3). P \times L \times T = 400 \times 150 \times 15 \text{ (mm)}$$

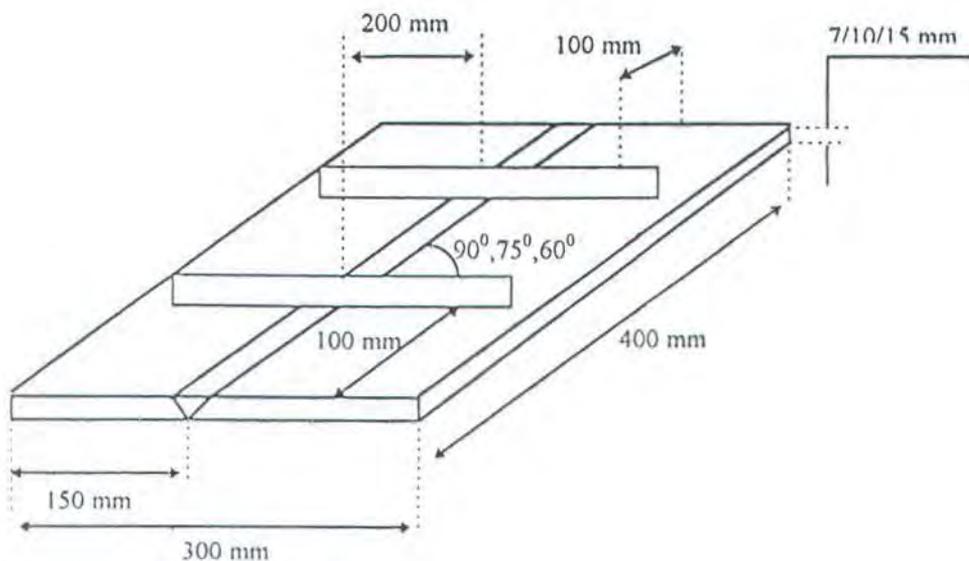
□ Untuk pelat penegar/tanggemnya :

$$P \times L \times T = 200 \times 50 \times 7 \text{ (mm)}$$

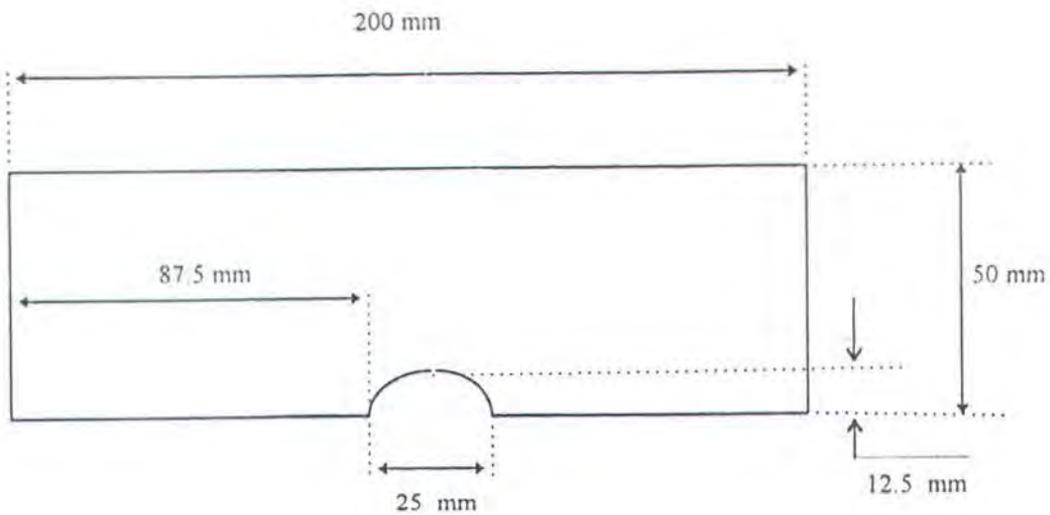
Masing-masing spesimen membutuhkan 2 buah pelat dengan ukuran yang sama, mengingat disini akan dilakukan pengujian dengan pengelasan untuk menghubungkan kedua buah pelat tersebut dalam sambungan tumpul (butt-joint), seperti yang terlihat dalam gambar 4 -1. Sehingga jumlah kebutuhan pelat uji menjadi $2 (1 \text{ pasang }) \times 3 (\text{ variasi sudut }) \times 3 (\text{ variasi tebal })$, atau keseluruhannya menjadi 18 buah pelat uji.

Sedangkan untuk tanggemnya membutuhkan 2 buah pelat tiap spesimen uji, jadi jumlah tanggemnya menjadi 2 (1 pasang) x 3 (variasi sudut) x 3 (variasi tebal), atau keseluruhannya 18 buah pelat penegar.

Untuk mendapatkan ukuran pelat uji yang sesuai dengan yang telah direncanakan, maka material yang akan digunakan harus melalui pemotongan terlebih dahulu. Pemotongan material dilakukan setelah ditandai (marking) dengan kapur/spidol tulis sesuai dengan dimensi. Pemotongan ini dilakukan dengan menggunakan mesin potong semi otomatis Imp, Hancock manufactured, seri no.11214-2, 220/240 V, 0.5 A, 50/60 Hz, single phase. Proses pemotongan ini dilakukan di PT. PAL Indonesia, Divisi Kapal Niaga, Bengkel Fabrikasi.



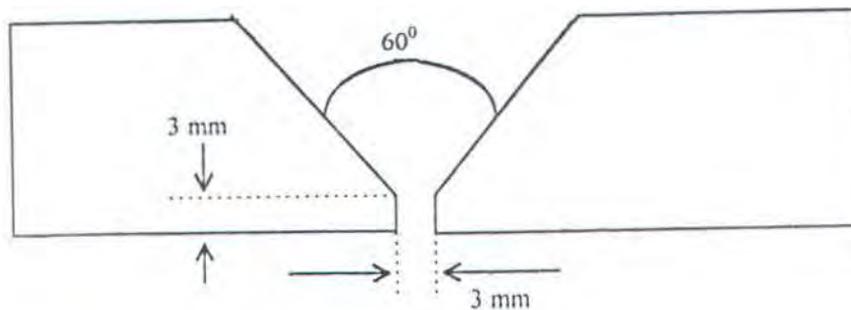
Gbr. 4-1 Bentuk spesimen uji



Gbr. 4-2. Bentuk dan ukuran penegar/tanggem

IV.1.3. PERSIAPAN SPESIMEN UJI LAS

Pada spesimen ini diperlukan persiapan sisi (bentuk V notch) menurut standar pengerjaan dari welding procedure spesification (WPS), dengan menggunakan mesin potong semi otomatis (torch) dan digerinda hingga mencapai sudut bevel tiga puluh derajat, serta muka celah (root face) sebesar 3 mm dan celah akar/gap (root opening) sebesar 3 mm untuk kondisi ketebalan pelat 7 mm , 10 mm dan 15 mm.



Gbr. 4-3 Bentuk-bentuk persiapan sisi dan sudut bevel

IV.1.4. PELAKSANAAN PENGELASAN SPESIMEN.

Dalam pengelasan spesimen ada dua hal yang harus diperhatikan, yaitu :

1). Persiapan pengelasan.

Yang dimaksud persiapan pengelasan disini adalah persiapan elektrode, material, bentuk alur, penyetelan, pengelasan ikat. Metode atau cara pengelasan yang dipilih disini adalah metode pengelasan SMAW (shielded metal arc welding). Dasar pertimbangan pemakaian metode ini adalah karena pemakaian dilapangan untuk penyambungan-penyambungan badan kapal kebanyakan dilakukan dengan pengelasan manual ini.

WELDING PROCEDURE

- Material spesification : SS-41 (Low carbon steel (mild steel))
- Welding process : SMAW
- Position of welding : 1G (Flat)

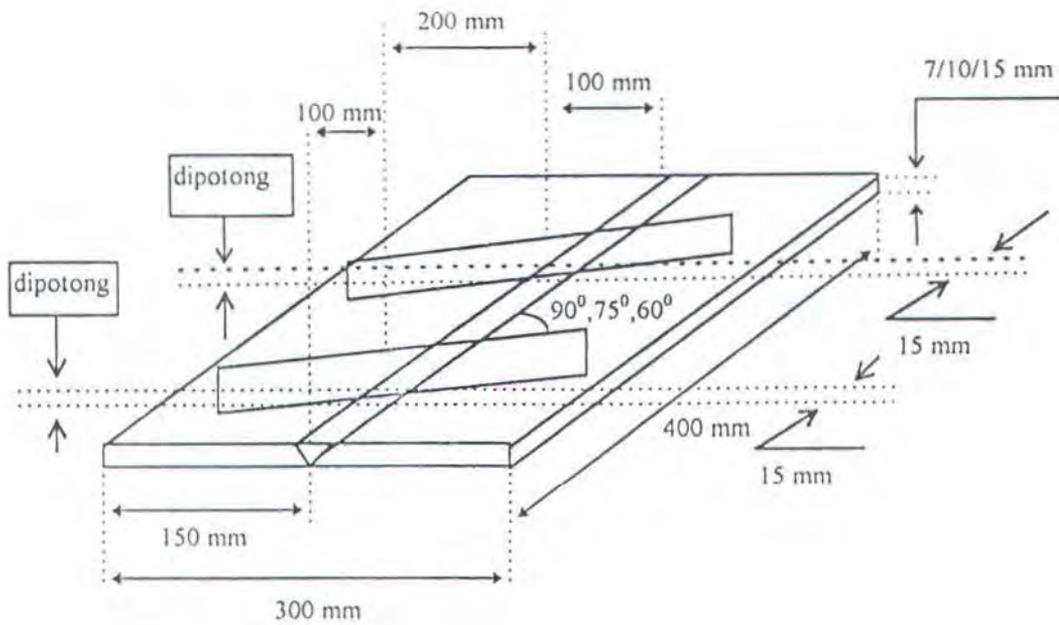
Plate thickness(mm)	7		10			15			
Pass	1	2&3	1	2	3&4	1	2	3	4&5
Elektrode Class	E6013								
Size(mm)	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	4	4
Current (amp) AC	80	110	90	125	125	90	125	140	140
Voltase (volt)	29.0	29.5	29.0	29.5	29.5	29.0	29.5	29.5	29.5
Arcspeed(mm/menit)	140- 165	203- 254	140- 165	203- 254	203- 254	140- 165	203- 254	254- 305	254- 305

IV.1.5. PEMBUATAN SPESIMEN UJI MIKRO E TSA

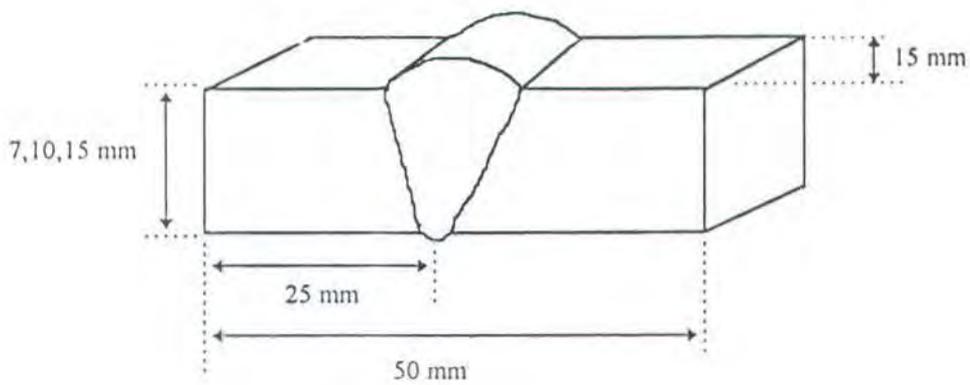
Untuk keperluan uji mikro etsa ini dibutuhkan sebanyak 18 spesimen dimana spesimen ini diambil di daerah tanggem (stoper) , karena didaerah ini diduga memiliki tegangan maupun derajat kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan daerah lainnya , sehingga kemungkinan retak mikro terjadi didaerah tanggem ini lebih besar dibanding daerah lainnya. Adapun pembuatan spesimen tersebut sebagai berikut :

I. Pemotongan

Spesimen las dipotong pada daerah disekitar tanggem (stoper) , dengan lebar 15 mm dan panjang 50 mm. Pemotongan ini dilakukan dengan menggunakan mesin potong listrik yang dilengkapi dengan pendinginan , yang berupa semprotan cooling oil dicampur degan air. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi over heating yang dapat mempengaruhi struktur mikro logam.



Gbr. 4-4. Pemotongan pada spesimen las



Gbr.4 -5. Spesimen etsa test.

2. Grinding dan polishing

Grinding dan polishing permukaan spesimen dilakukan dengan menggunakan kertas gosok dengan media pendingin air , dimana penggosokan dilakukan

sesuai tingkat kehalusan (grid) yang berbeda yaitu mulai dari grid 120 , 280 , 400 , 600 , 800 , 1000 , 1200. Pemolesan dilakukan diatas mesin poles yang dilapisi dengan bludru serta diberi alltosol .

Spesimen dipoles dengan memberikan tekanan pada permukaan sampai mengkilat seperti kaca.

IV.1.6. PENGUJIAN MIKRO ETSA

Pengujian mikro etsa ini bertujuan mengamati retak mikro yang terjadi akibat pengelasan dalam kondisi penahanan dengan sudut tanggem (stoper) yang berbeda-beda.

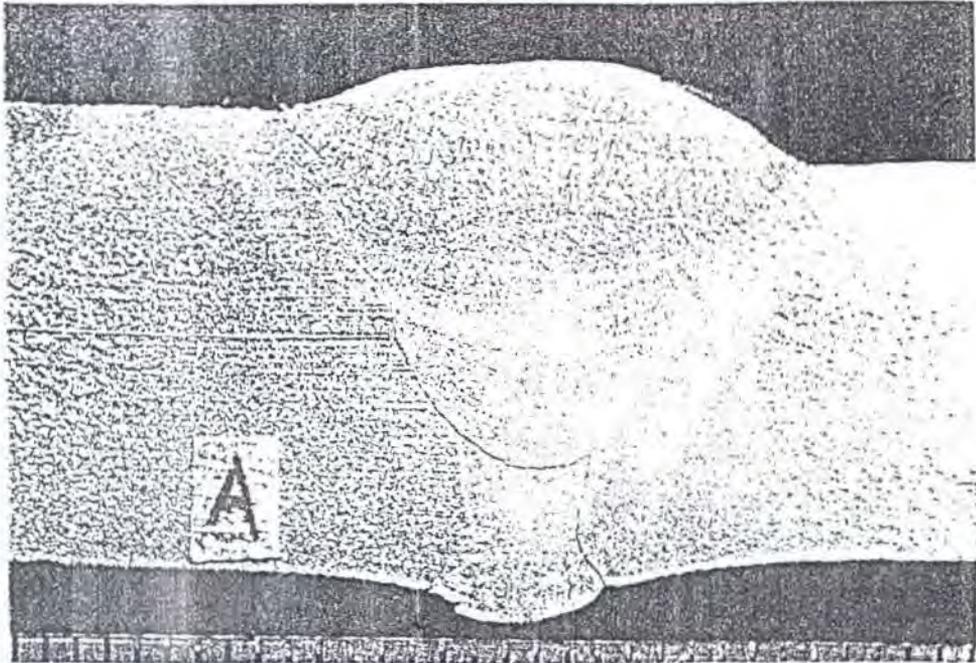
Persiapan spesimen yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengamatan retak mikro adalah :

1. Mengetsa

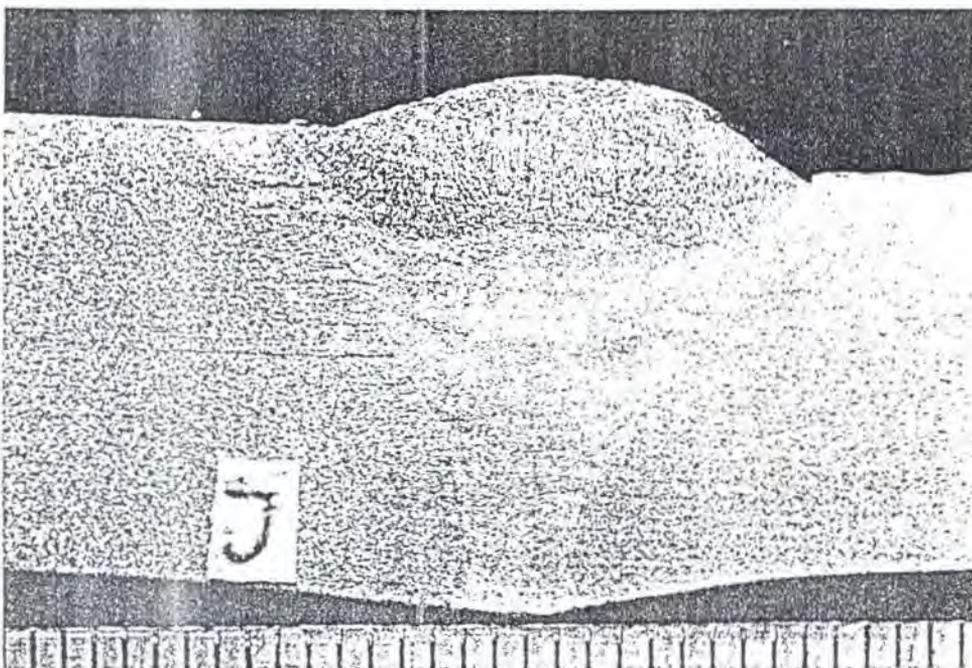
Pengetsaan spesimen dilakukan dengan cara memberikan larutan nital. Adapun kandungannya yaitu 5 % sampai 10 % nitrat dicampur alkohol dengan kandungan 95 %. Permukaan spesimen yang telah dipoles diberi larutan tersebut sampai kira-kira 5 detik.

2. Pemotretan

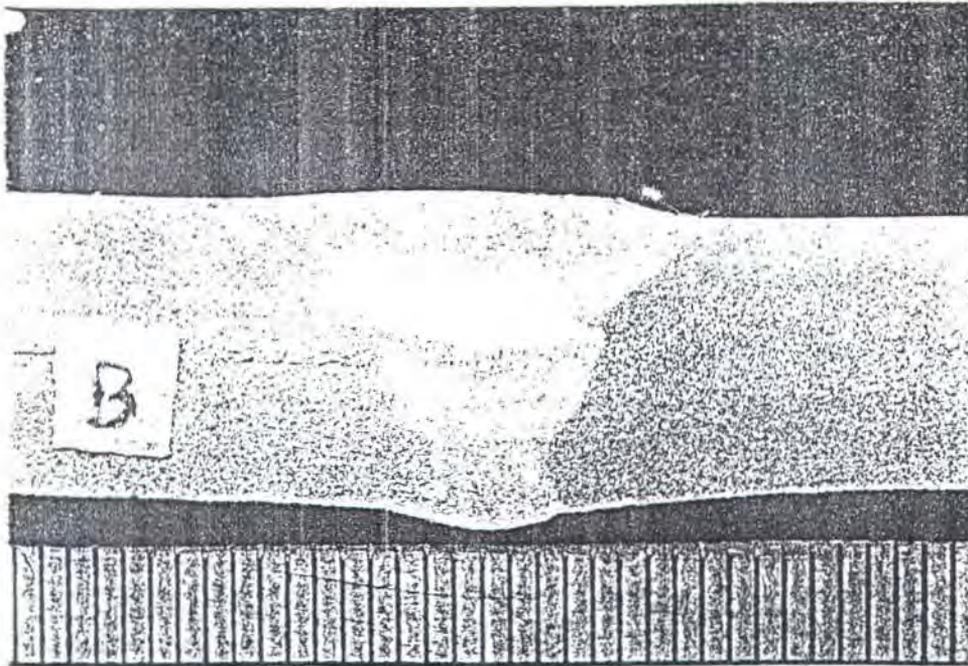
Spesimen yang telah dietsa , selanjutnya diamati dibawah mikroskop dan kemudian dilakukan pengambilan gambar foto metalografi dengan pembesaran yang tersedia (1000 X).



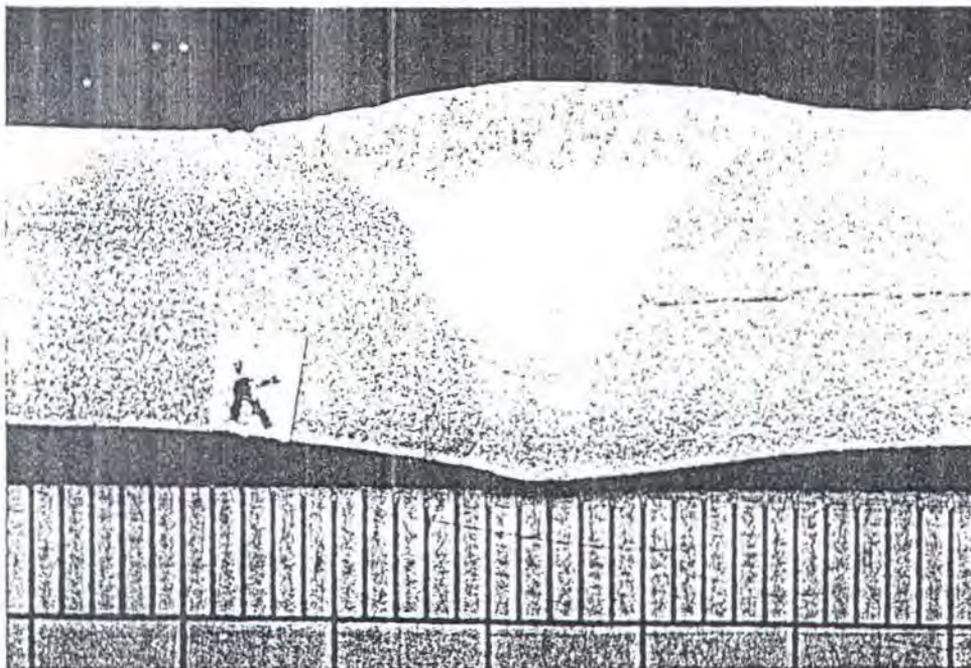
Gbr. 4 - 6 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90⁰ Tebal 15 mm (I)



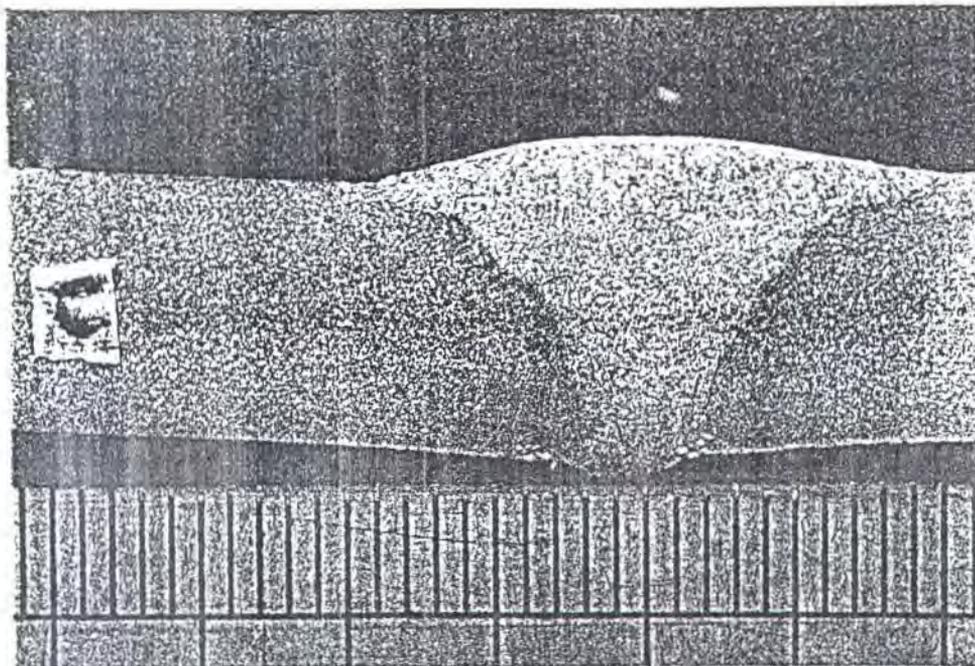
Gbr. 4 - 7 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90⁰ Tebal 15 mm (II)



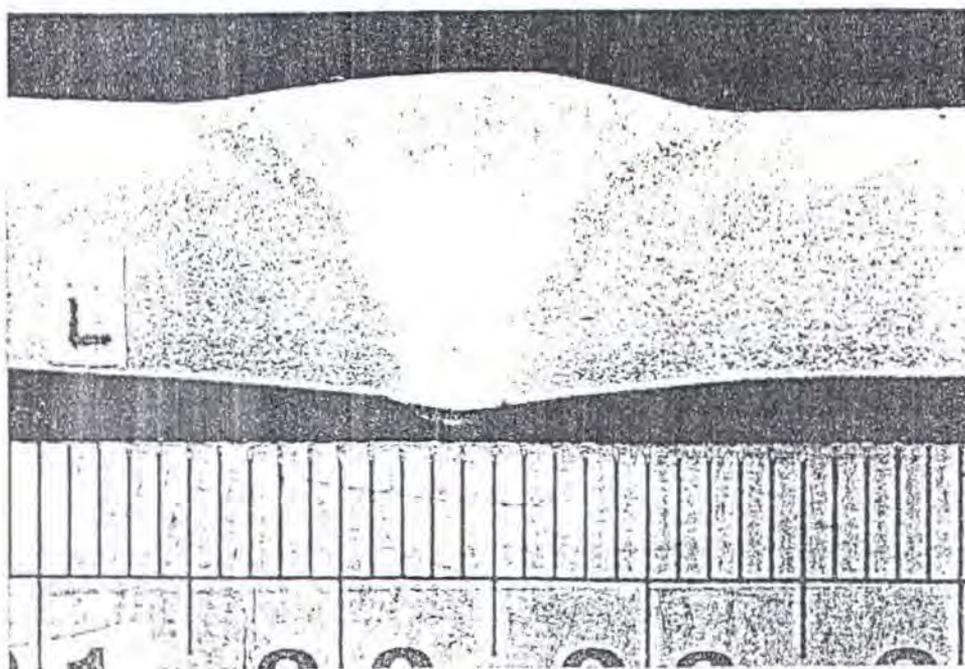
Gbr. 4 - 8 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90⁰ Tebal 10 mm (I)



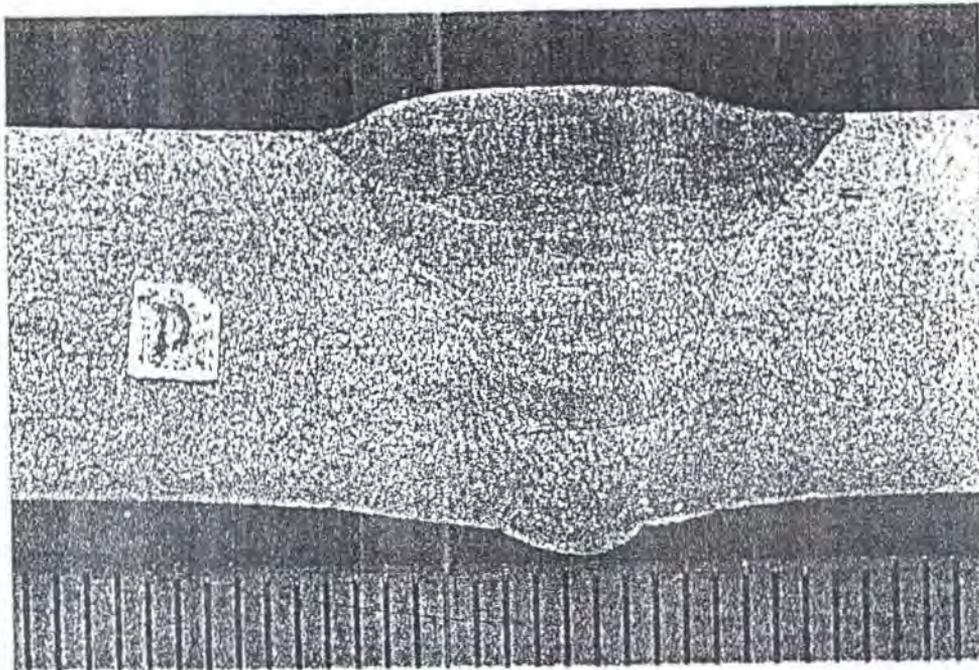
Gbr. 4 - 9 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90⁰ Tebal 10 mm (II)



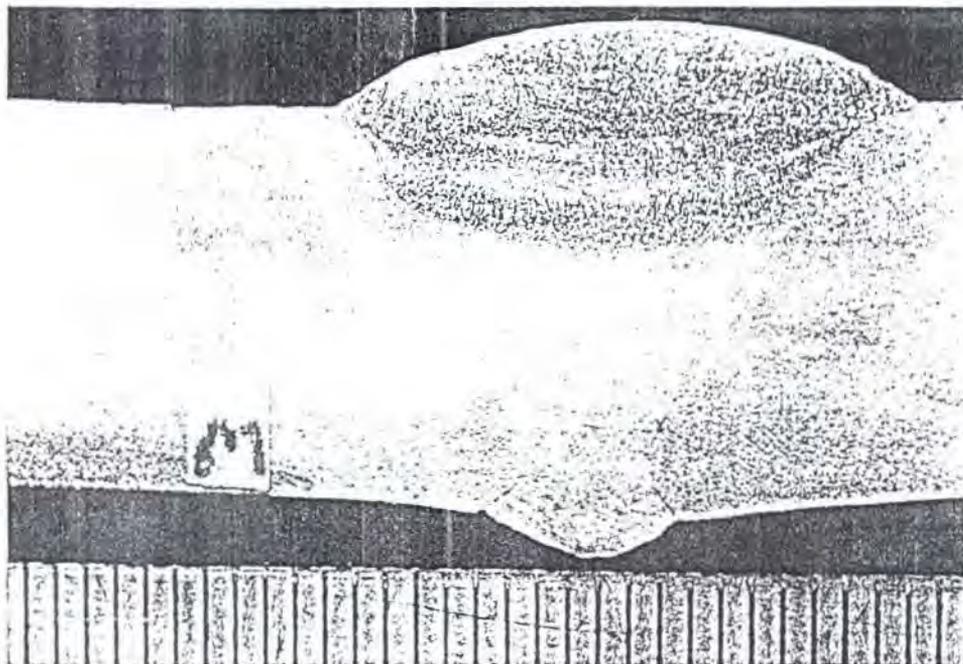
Gbr. 4 - 10 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90⁰ Tebal 7 mm (I)



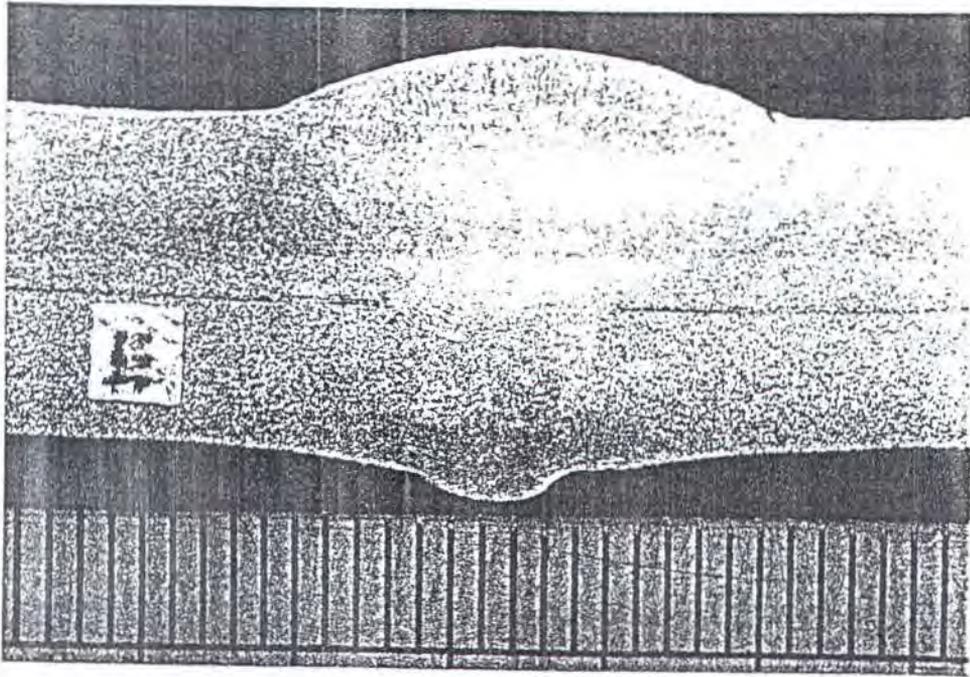
Gbr. 4 - 11 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 90⁰ Tebal 7 mm (II)



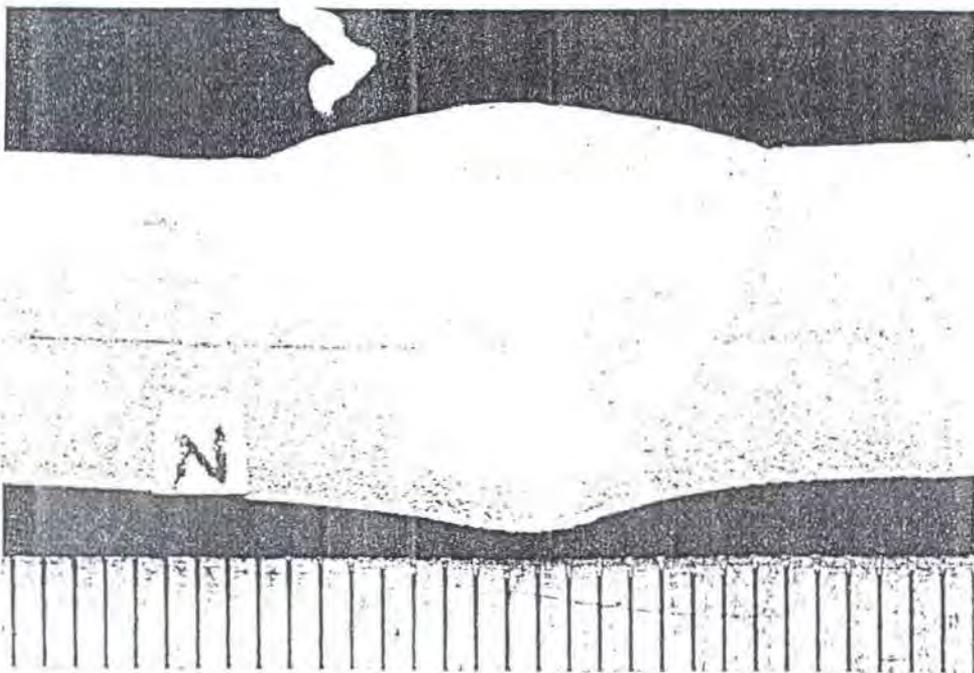
Gbr. 4 - 12 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75⁰ Tebal 15 mm (I)



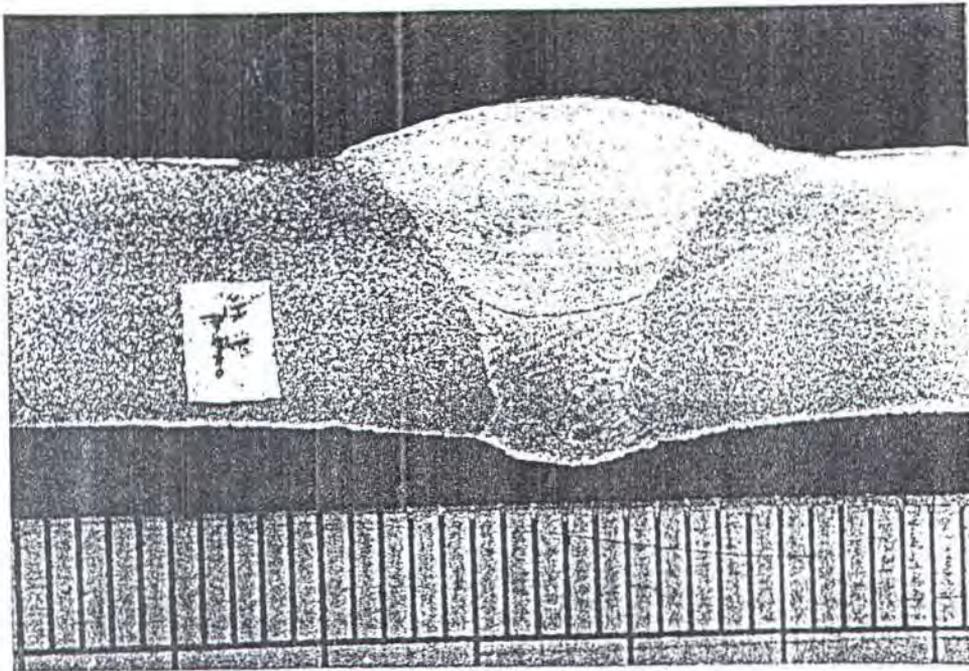
Gbr. 4 - 13 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75⁰ Tebal 15 mm (II)



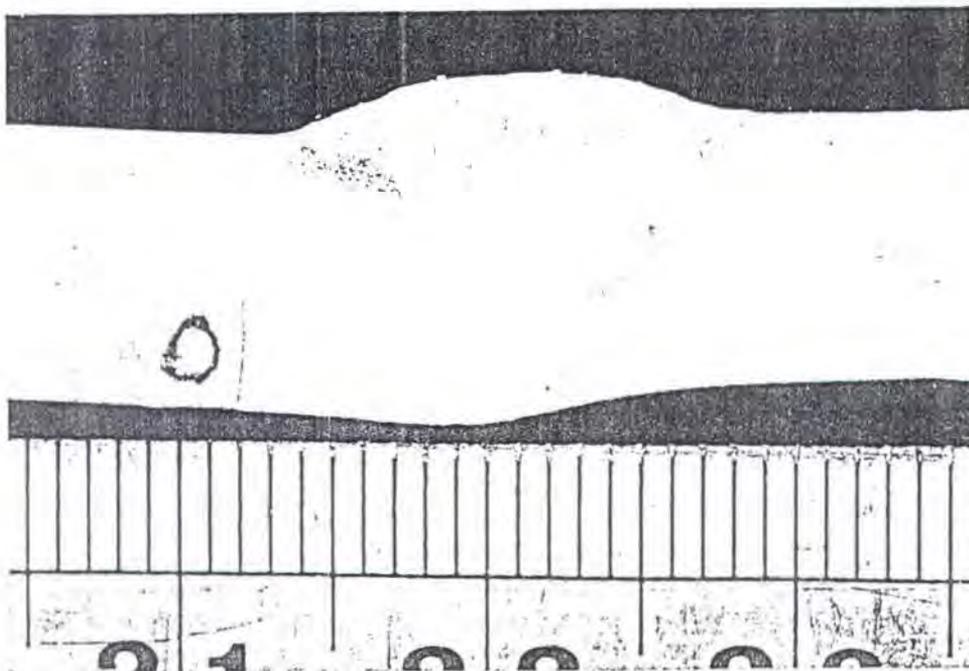
Gbr. 4 - 14 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75⁰ Tebal 10 mm (I)



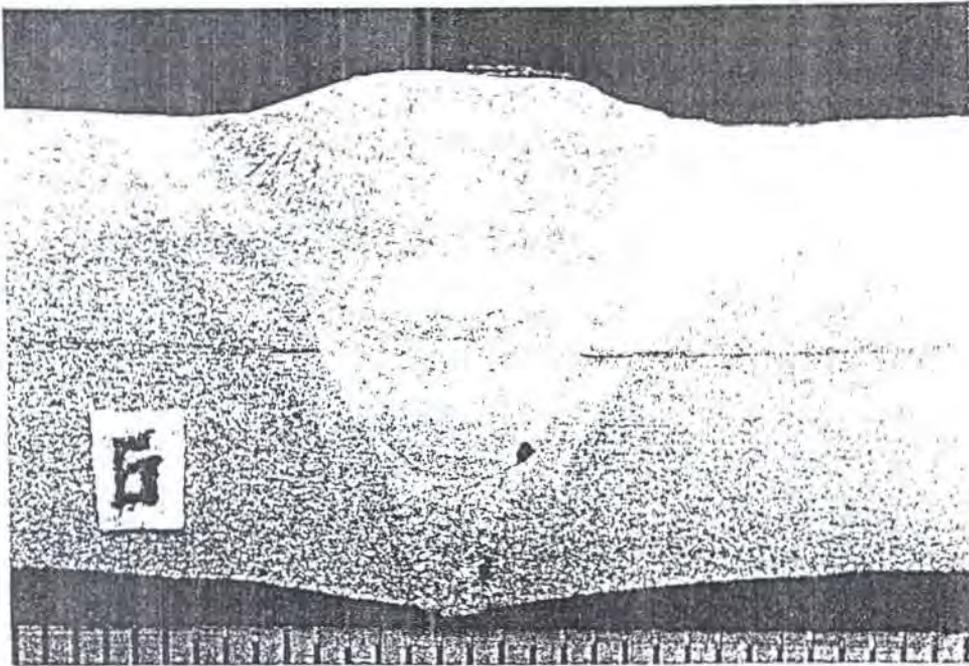
Gbr. 4 - 15 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75⁰ Tebal 10 mm (II)



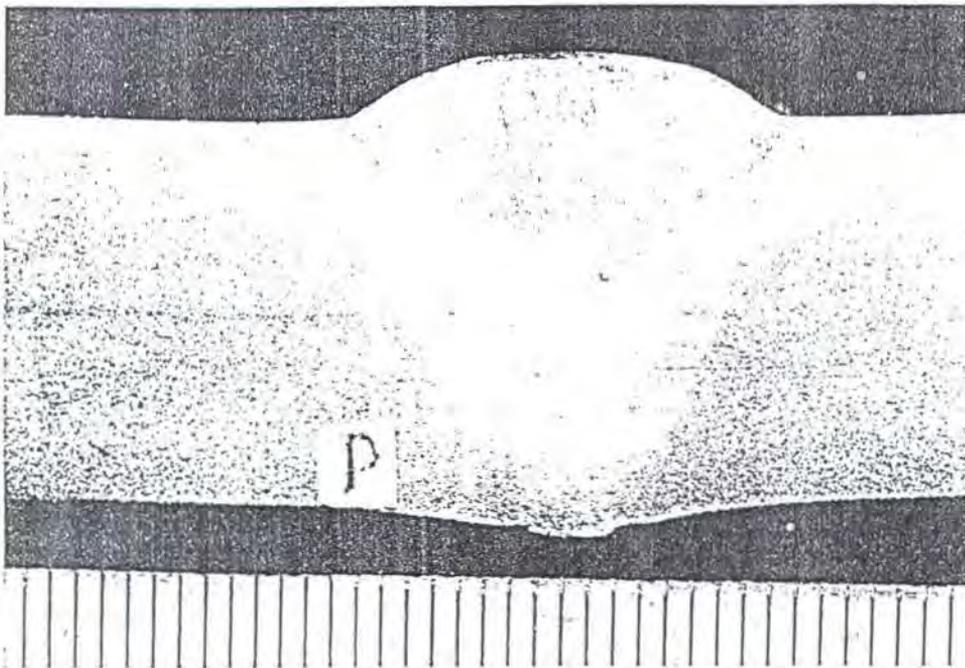
Gbr. 4 - 16 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75^0 Tebal 7 mm (I)



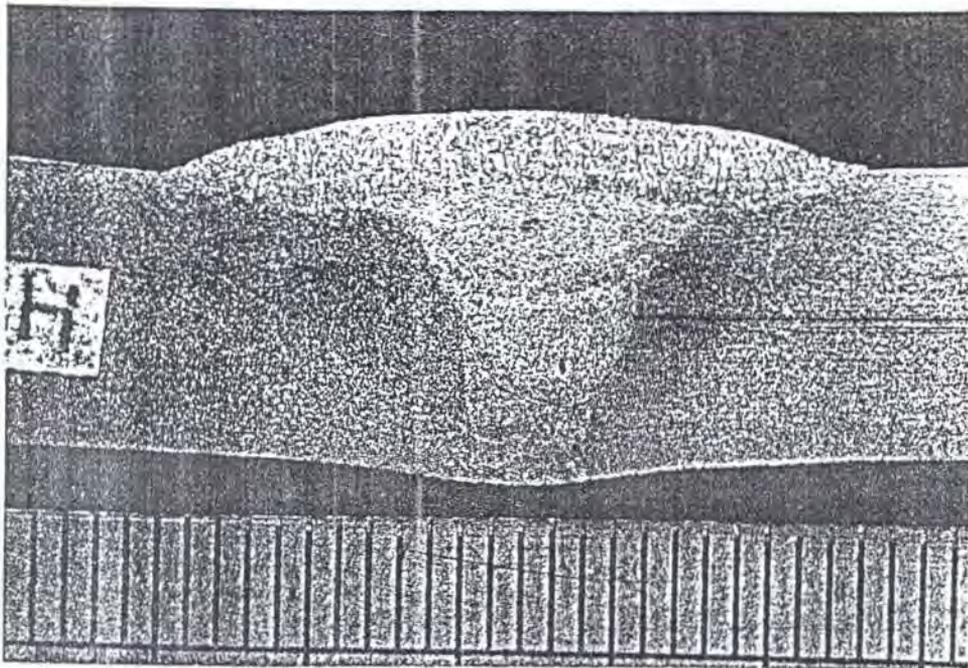
Gbr. 4 - 17 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 75^0 Tebal 7 mm (II)



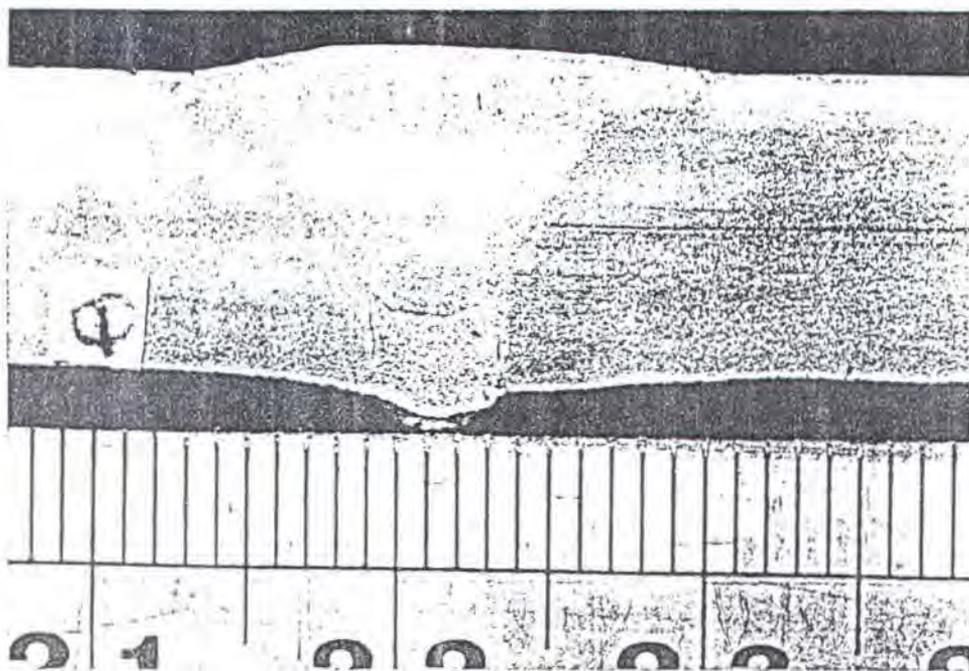
Gbr. 4 - 18 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60⁰ Tebal 15 mm (I)



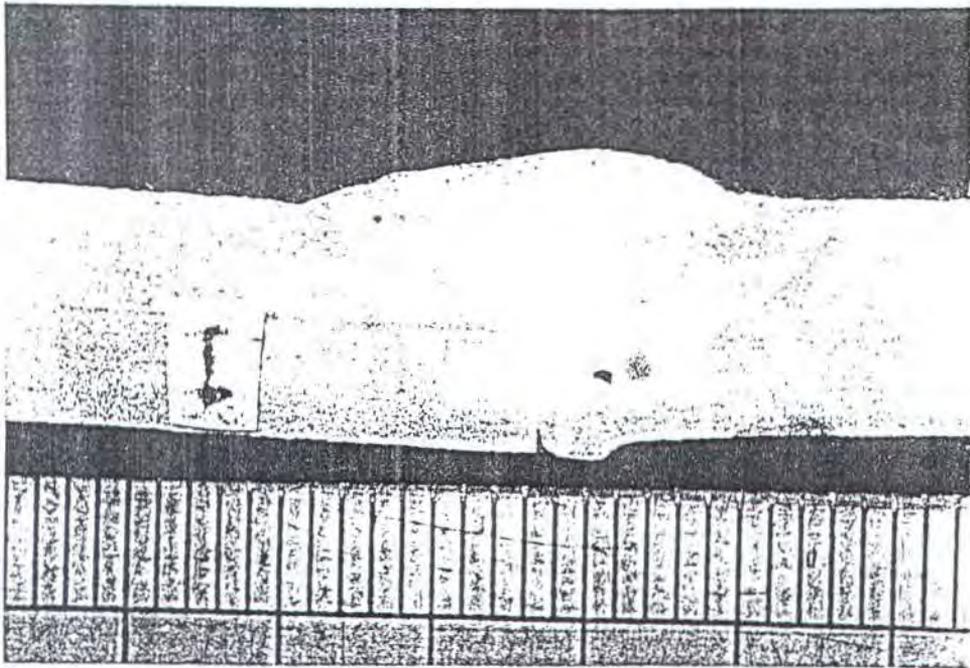
Gbr. 4 - 19 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60⁰ Tebal 15 mm (II)



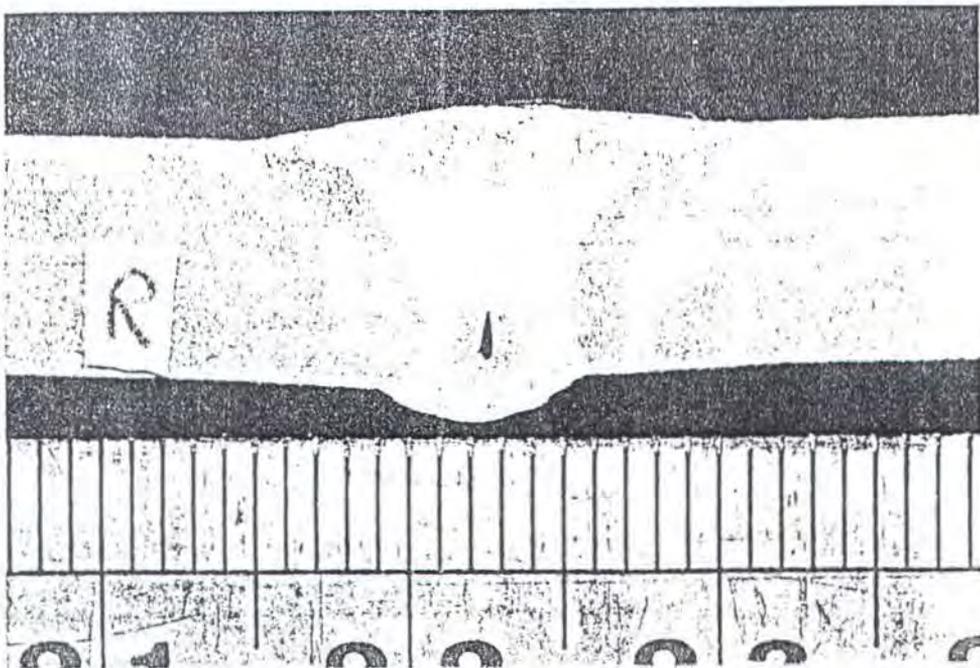
Gbr. 4 - 20 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60⁰ Tebal 10 mm (I)



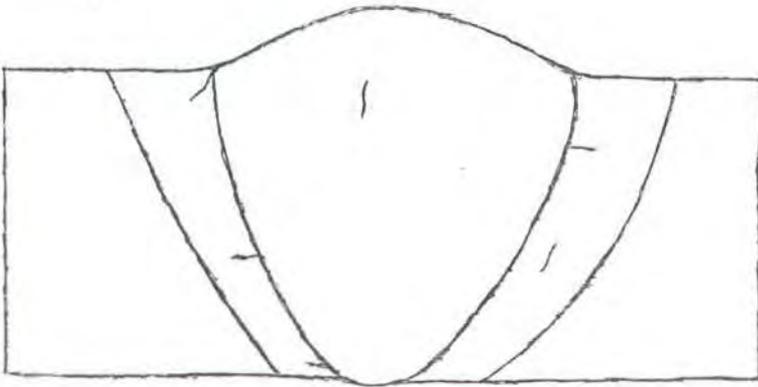
Gbr. 4 - 21 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60⁰ Tebal 10 mm (II)



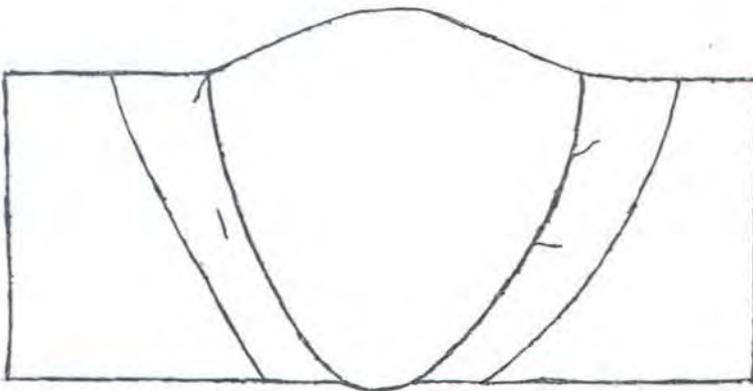
Gbr. 4 - 22 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60⁰ Tebal 7 mm (I)



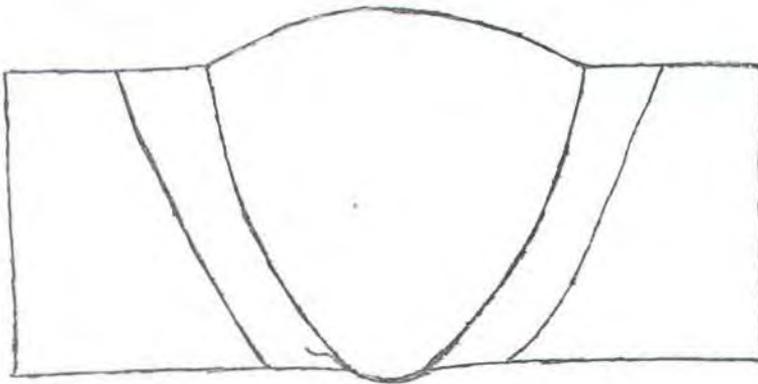
Gbr. 4 - 23 Hasil Pemotretan Spesimen Tanggem 60⁰ Tebal 7 mm (II)



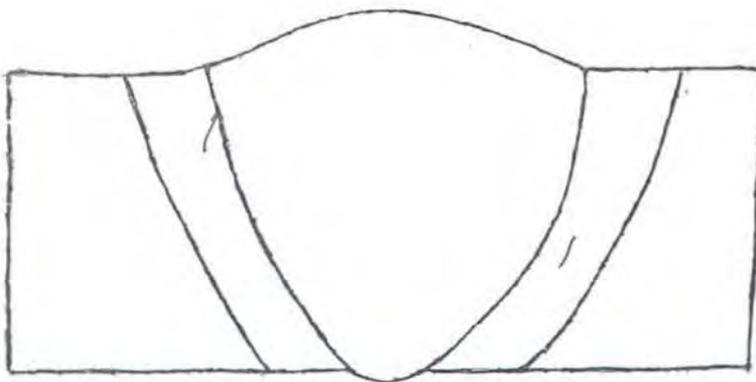
Gbr. 4 - 24 Letak Retak Spesimen Tanggem 90^0 Tebal 15 mm



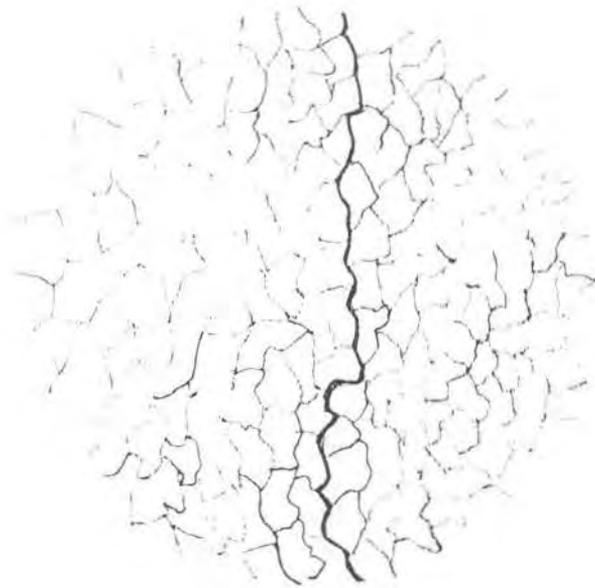
Gbr. 4 - 25 Letak Retak Spesimen Tanggem 90^0 Tebal 10 mm



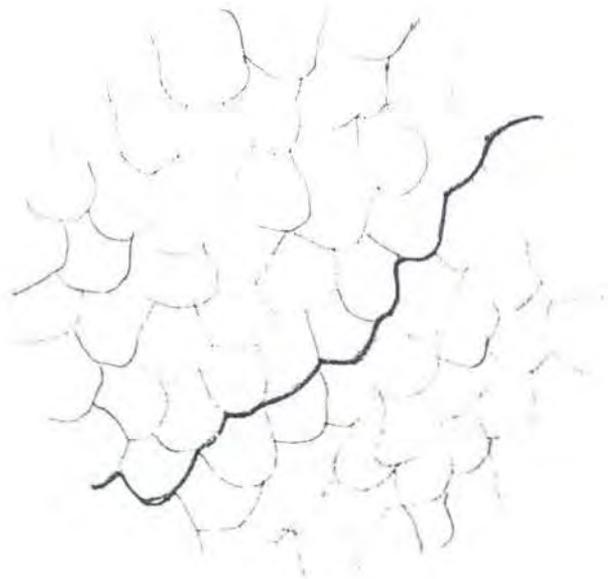
Gbr. 4 - 26 Letak Retak Spesimen Tanggem 90° Tebal 7 mm



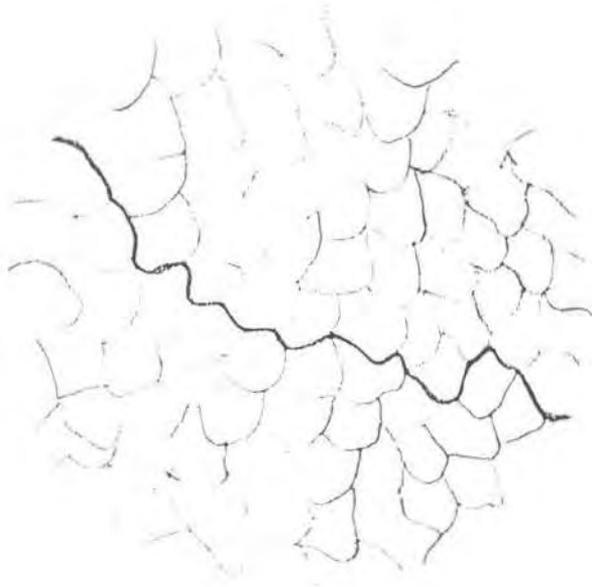
Gbr. 4 - 27 Letak Retak Spesimen Tanggem 75° Tebal 15 mm



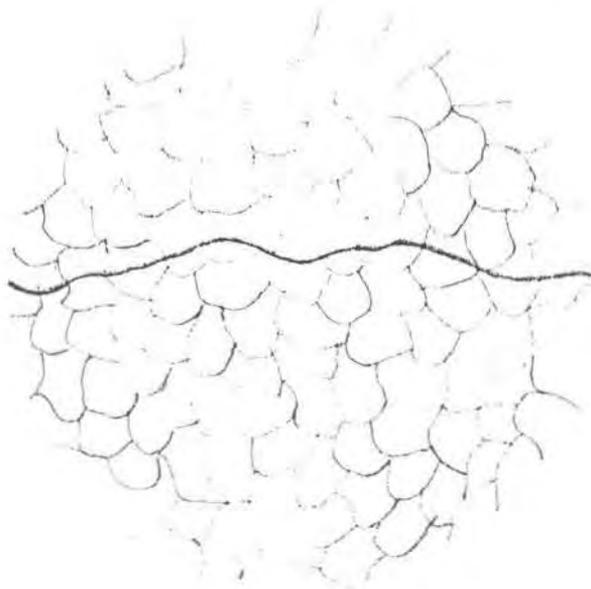
Gbr. 4 - 28 Hasil Pengamatan Mikroskop Spesimen Tanggem 90° Tebal 15 mm



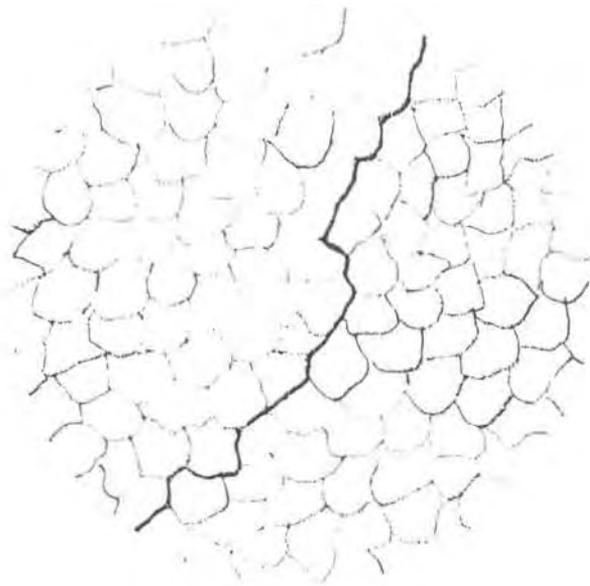
Gbr. 4 - 29 Hasil Pengamatan Mikroskop Spesimen Tanggem 90° Tebal 15 mm



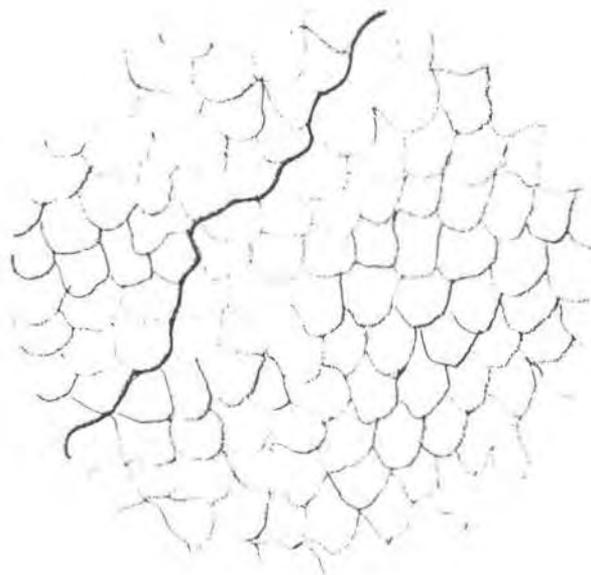
Gbr. 4 - 30 Hasil Pengamatan Mikroskop Spesimen Tanggem 90⁰ Tebal 15 mm



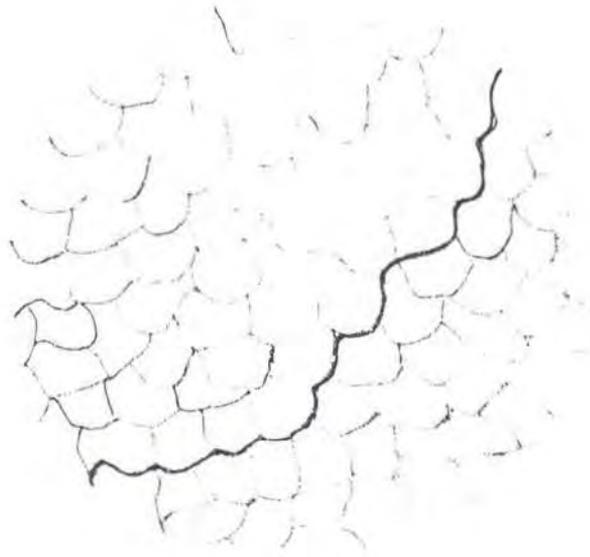
Gbr. 4 - 31 Hasil Pengamatan Mikroskop Spesimen Tanggem 90⁰ Tebal 15 mm



Gbr. 4 - 34 Hasil Pengamatan Mikroskop Spesimen Tanggem 90⁰ Tebal 10 mm



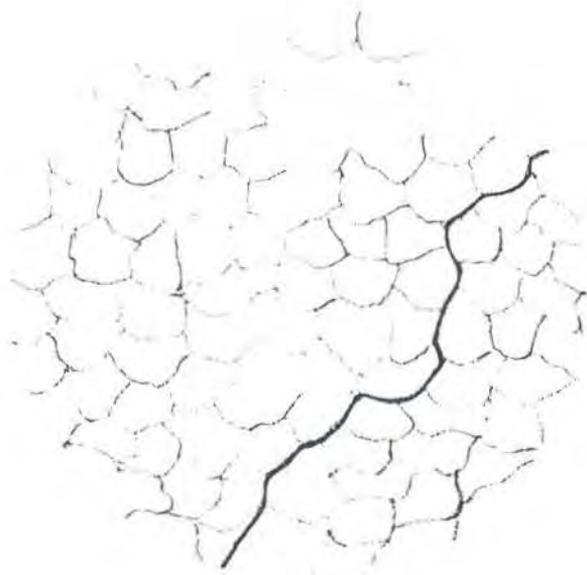
Gbr. 4 - 35 Hasil Pengamatan Mikroskop Spesimen Tanggem 90⁰ Tebal 10 mm



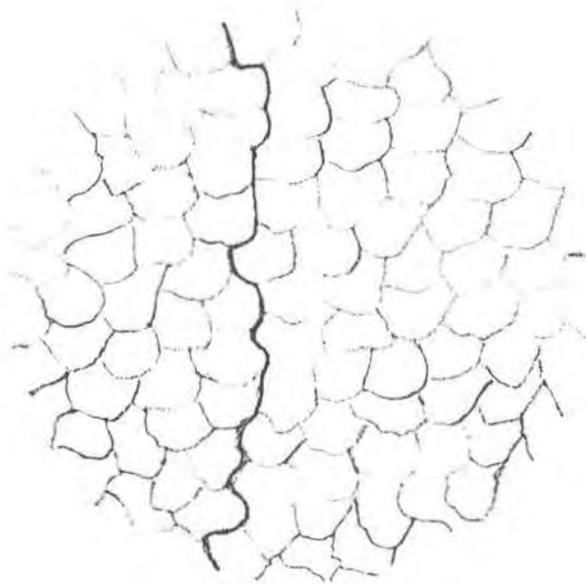
Gbr. 4 - 36 Hasil Pengamatan Mikroskop Spesimen Tanggem 90° Tebal 10 mm



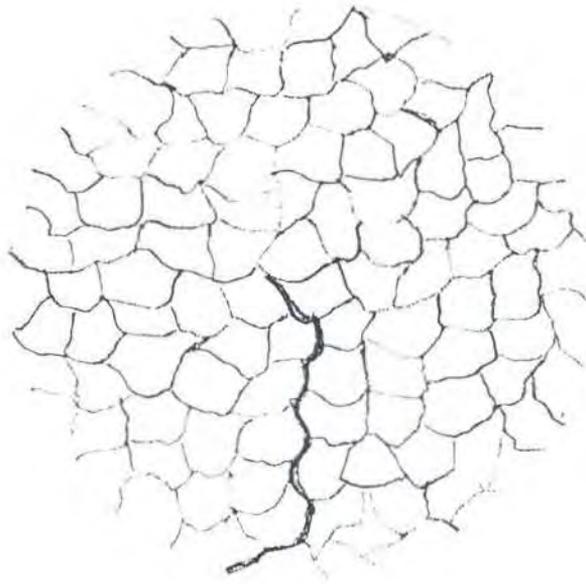
Gbr. 4 - 37 Hasil Pengamatan Mikroskop Spesimen Tanggem 90° Tebal 10 mm



Gbr. 4 - 38 Hasil Pengamatan Mikroskop Spesimen Tanggem 90⁰ Tebal 7 mm



Gbr. 4 - 39 Hasil Pengamatan Mikroskop Spesimen Tanggem 75⁰ Tebal 15 mm



Gbr. 4 - 40 Hasil Pengamatan Mikroskop Spesimen Tanggem 75⁰ Tebal 15 mm

BAB V

ANALISA HASIL PENGUJIAN

5.1 ANALISA HASIL PEMOTRETAN MAKRO

Dari pemotretan yang dilakukan pada seluruh spesimen yang berjumlah 18 buah, dengan pembesaran 5 X dapat diketahui lebar daerah HAZ serta cacat las yang terjadi. Sehingga dapat diketahui pengaruh tebal serta pengaruh variasi sudut tanggem terhadap lebar HAZ maupun cacat las yang terjadi.

Hasil yang didapat atau yang teramati dari foto makro adalah sebagai berikut :

Untuk tanggem 90^0 tebal 15 mm

- terjadi retak lamel
- batas antar layer tidak fusion
- lebar daerah pengaruh panas (HAZ) sebesar 2 mm

Untuk tanggem 90 tebal pelat 10 mm

- terjadi retak lamel
- lebar daerah pengaruh panas (HAZ) sebesar 2,5 mm

Untuk tanggem 90^0 tebal pelat 7 mm

- lebar daerah pengaruh panas (HAZ) sebesar 3,5 mm

Untuk tanggem 75^0 tebal pelat 15 mm

- lebar daerah pengaruh panas (HAZ) sebesar 3 mm

Untuk tanggem 75^0 tebal pelat 10 mm

- terjadi retak lamel
- lebar daerah pengaruh panas (HAZ) sebesar 3 mm

Untuk tanggem 75^0 tebal pelat 7 mm

- lebar daerah pengaruh panas (HAZ) sebesar 3,5 mm

Untuk tanggem 60^0 tebal pelat 15 mm

- terjadi retak lamel
- terdapat porositas
- lebar daerah pengaruh panas (HAZ) sebesar 2,5 mm

Untuk tanggem 60^0 tebal 10 mm

- terjadi retak lamel
- terdapat porositas
- lebar daerah pengaruh panas (HAZ) sebesar 3 mm

Untuk tanggem 60^0 tebal pelat 7 mm

- terdapat porositas
- lebar daerah pengaruh panas (HAZ) sebesar 3,5 mm

Dari uraian diatas dapat kita lihat bahwa retak lamel terjadi pada pelat tebal (15 mm dan 10 mm), kejadian ini dapat kita mengerti karena pada pelat tebal terutama pada daerah las (weld metal) terjadi tegangan yang besar sehingga sangat memungkinkan terjadinya retak , dalam hal ini retak lamel. Porositas terjadi pada sudut tanggem terkecil (sudut 60^0) , hal ini terjadi karena pada sudut tanggem terkecil diperoleh deformasi sudut terbesar sehingga terjadi

penyempitan luasan permukaan (face weld metal) logam las, hal ini menyebabkan sulitnya gas-gas dalam logam las untuk keluar dari logam las menuju ke udara bebas. Selain itu pada daerah permukaan las terjadi tegangan tekan ,sehingga diperlukan gaya yang lebih besar dari gas-gas agar dapat keluar dari logam las menuju udara bebas. Dari foto dapat terlihat semakin tipis pelat maka semakin lebar daerah HAZ nya ,hal ini disebabkan pada pelat tipis diperlukan lebar yang lebih besar untuk menampung panas (heat input) yang sama dibanding pelat tebal.

5.2 ANALISA HASIL PENGAMATAN MIKROSKOP

Dalam pengamatan ini mikroskop yang digunakan memiliki pembesaran 1000 X , dari pengamatan didapat bahwa struktur butir kristal daerah base metal (logam induk) tampak bentuk butir kristal pipih , pada daerah pengaruh panas (HAZ) strukturnya berbentuk butiran kristal yang besar ,hal ini disebabkan pada daerah HAZ mengalami pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan yang lebih tinggi dibanding daerah lain. Sedangkan pada daerah logam las (weld metal) strukturnya berbentuk butiran kristal yang sedikit runcing.

Dari pengamatan terlihat spesimen tanggem 90^0 tebal pelat 15 mm memiliki retak mikro sebanyak 6 buah dengan letak di weld metal 1 buah , di daerah HAZ 5 buah . Spesimen tanggem 90^0 tebal pelat 10 mm memiliki retak mikro sebanyak 4 buah yang terdapat kesemuanya di daerah HAZ. Spesimen tanggem 90^0 tebal pelat 7 mm memiliki retak mikro 1 buah yang berada di daerah HAZ. Spesimen tanggem 75^0 tebal pelat 15 mm memiliki retak mikro 2 buah yang terletak di daerah HAZ. Untuk spesimen tanggem 75^0 tebal pelat 10 mm , 7 mm dan tanggem 60^0 tebal pelat 15 mm , 10 mm , 7 mm tidak di temukan retak mikro. Untuk lebih jelasnya lihat tabel 4 - 1.

Tabel 5 - 1 Hasil Pengamatan Mikroskop

Sudut Tanggem	Tebal Pelat (mm)	Jumlah Retak	Panjang Retak (mm)	Total panjang retak (mm)
90 ⁰	15	6	0,6 (5) , 0,5	3,5
90 ⁰	10	4	0,4 (3) , 0,5	1,7
90 ⁰	7	1	0,3	0,3
75 ⁰	15	2	0,2 , 0,1	0,3
75 ⁰	10 , 7	0	0	0
60 ⁰	15 , 10 , 15	0	0	0

Ditinjau dari bentuk retak yang terjadi pada tanggem 90⁰ tebal 15 mm termasuk dalam retak toe , retak akar , retak memanjang dan retak bawah manik las. Pada tanggem 90⁰ tebal pelat 10 mm termasuk dalam retak toe dan retak bawah manik las. Pada tanggem 90⁰ tebal pelat 7mm terjadi retak akar, sedangkan pada tanggem 75⁰ tebal 15 mm terjadi retak bawah manik.

Dari pengamatan di mikroskop terlihat bahwa retak yang terjadi menjalar antara butir - butir kristal dan retak yang menjalar membelah butir-butir kristal.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari studi dalam tugas akhir ini dapat di ambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada sudut tanggem 90^0 pada pelat tebal (15mm , 10mm) banyak terjadi retak sedangkan dengan sudut tanggem 75^0 hanya terjadi sedikit retak. Hal ini karena pada tanggem 90^0 tingkat kekakuannya lebih besar dibanding kekakuan tanggem 75^0 .
2. Pada pelat tipis (7mm) dapat digunakan tanggem 90^0 karena retak yang terjadi sedikit dan penggunaan tanggem 75^0 , 60^0 tidak terjadi retak.
3. Pada tanggem 90^0 semakin tipis tebal pelat maka semakin pendek panjang retak yang terjadi.
4. Retak yang terjadi terletak pada daerah HAZ dan logam las (weld metal) .
5. Semakin kecil sudut tanggem yang digunakan pada pengelasan butt joint berarti semakin besar peluang terjadinya porositas.
6. Semakin tebal pelat yang dilas maka semakin besar peluang terjadinya retak lamel.
7. Semakin tipis pelat yang dilas maka semakin lebar daerah HAZnya.

Dengan mempertimbangkan terjadinya retak maka untuk pengelasan butt joint dengan menggunakan tanggem , disarankan menggunakan sudut tanggem 60^0 atau 75^0 untuk pelat tebal . Diusahakan menghindari penggunaan

sudut tnggem 90^0 karena dapat mengakibatkan terjadinya retak mikro , retak mikro ini akan berkembang menjadi retak makro akibat adanya gaya atau tegangan yang bekerja pada las-lasan.