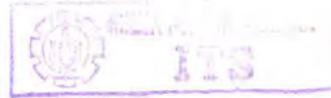


19.504 / ITS / H / 2004



**TUGAS AKHIR
(KP 1701)**

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK SUHU TRANSISI,
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT KEKERASAN PADA LOGAM
INDUK, LOGAM LAS DAN DAERAH PENGARUH PANAS (HAZ)
BAJA TAHAN KARAT AISI 304 SETELAH DIANNEALING PADA
BERMACAM-MACAM SUHU**



RSPe
671-36
Har
5-1
2003

OLEH :

HARRIS ABDI SM
NRP : 4198.100.035

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2003**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	9-4-2003
Terima Dasi	4
No. Angk	217042

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK SUHU TRANSISI,
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT KEKERASAN PADA LOGAM
INDUK, LOGAM LAS DAN DAERAH PENGARUH PANAS (HAZ)
BAJA TAHAN KARAT AISI 304 SETELAH DIANNEALING PADA
BERMACAM-MACAM SUHU**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Perkapalan
Pada

Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing,



Wing Hendroprasetyo
Wing Hendroprasetyo, S.T., M.Eng.
NIP. 132.133.972

**SURABAYA
JANUARI, 2003**

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK SUHU TRANSISI,
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT KEKERASAN PADA LOGAM
INDUK, LOGAM LAS DAN DAERAH PENGARUH PANAS (HAZ)
BAJA TAHAN KARAT AISI 304 SETELAH DIANNEALING PADA
BERMACAM- MACAM SUHU**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Perkapalan
Pada**

**Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing



Wing Hendroprasetyo, S.T, M.Eng.

NIP : 132.133.972

SURABAYA

JANUARI, 2003

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK SUHU TRANSISI,
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT KEKERASAN PADA LOGAM
INDUK, LOGAM LAS DAN DAERAH PENGARUH PANAS (HAZ)
BAJA TAHAN KARAT AISI 304 SETELAH DIANNEALING PADA
BERMACAM- MACAM SUHU**

TUGAS AKHIR

Telah Direvisi Sesuai Dengan Hasil Sidang Ujian Tugas Akhir

Pada

**Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**



Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing

Wing Hendroprasetyo, S.T, M.Eng.

NIP : 132.133.972

**SURABAYA
JANUARI, 2003**

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**ABSTRAK****FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN****JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN****SARJANA TEKNIK (S1)**

Studi Perbandingan Karakteristik Suhu Transisi, Struktur Mikro dan Sifat Kekerasan Pada Logam Induk, Logam Las dan Daerah Pengaruh Panas (HAZ) Baja Tahan Karat AISI 304 Setelah Diannealing Pada Berbagai macam Suhu

Studi perbandingan karakteristik suhu transisi, struktur mikro dan sifat kekerasan dilakukan pada logam induk, logam las dan daerah pengaruh panas baja tahan karat AISI 304 setelah diannealing pada suhu antara 1008°C sampai 1120 °C. Suhu pada pengujian impak dilakukan pada bermacam-macam suhu, suhu terendah -196°C (suhu *cryogenic*) dan suhu tertinggi 31°C (suhu kamar), dimana pengujian ini dilakukan untuk memperoleh kurva suhu transisi pada logam induk, logam las dan daerah pengaruh panas (HAZ) yang menunjukkan hubungan antara prosentase kepecahan ulet-getas (*shear fracture*) dengan suhu. Suhu transisi yang paling rendah terletak pada daerah HAZ dan yang paling tinggi terletak pada daerah logam las.

Uji kekerasan pada logam induk, logam las, dan daerah pengaruh panas (HAZ) dilakukan dengan pengujian kekerasan vickers, dimana pengujian ini

menggunakan piramida intan sebagai penekan (*indentor*). Hasil uji kekerasan pada baja AISI 304 dengan perlakuan menunjukkan nilai kekerasan logam las < logam induk < daerah pengaruh panas (HAZ), sedangkan tanpa perlakuan menunjukkan nilai kekerasan Logam dasar < logam las < daerah pengaruh panas (HAZ). Gambar mikrostruktur logam induk, logam las dan daerah pengaruh panas (HAZ) dengan perbesaran 400 X diambil dengan menggunakan foto mikro setelah terlebih dahulu digosok dan dietsa. Hasil foto mikro menunjukkan adanya presipitasi karbida krom ($Cr_{23}C_6$) pada daerah pengaruh panas (HAZ) yang dapat mengurangi ketangguhan dan ketahanan korosi, terbentuknya butir-butir baru yang equiaxe pada daerah logam dasar sehingga terjadi penurunan nilai kekerasan dan kekuatan logam, struktur dendritik pada logam las yang terdiri austenitik dan delta ferrite .

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**ABSTRACT****FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY****DEPARTEMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING****DEGREE IN ENGINEERING (S1)****The Study of Comparison Characteristic of Transition Temperature, Micro structure and Hardness on Base Metal, Weld Metal and Heat Effective Zone (HAZ) of Stainless Steel AISI 304 After Annealing in Various Temperature**

The comparison characteristic of base metal, weld metal and heat affective zone (HAZ) of stainless steels AISI 304 was studied in impact test, hardness test and microstructure after heat treated by annealing which temperature between 1008°C to 1120 °C. The temperature of impact test was held in various, the low temperature was -196°C (the cryogenic temperature) and the higher temperatur was 31°C (room temperature) and it was to aimed the transition temperature curves of percentage shear fracture versus temperature each of the three elements (base metal, weld metal and heat affective zone) of specimens. The lowest transition temperature was on heat effective zone and the higher transition temperature was on weld metal.

Hardness test was using vickers test with diamond pyramid indentor to resulted the hardness value of base metal, weld metal and heat affective zone (HAZ). The resulted of hardness test on stainless steel AISI 304 with heat treatment shown

hardness value of weld metal < base metal < heat effective zone (HAZ), and without heat treatment shown hardness value of base metal < weld metal < heat effective zone (HAZ). Microstructure image of base metal, weld metal and heat affective zone (HAZ) magnified 400 X was taken by using photo micro after the three elements had polished and etsa treated. Foto micro result of heat effective zone (HAZ) showing chromium carbide was precipitated in which reducing corrosion resistance and toughness, new equiaxe grains in which reducing hardness value and strength of steel was created., dendritic structure of weld metal contains austenitic and delta ferrite

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, Juru selamat dan penebus dosa-dosa umat manusia dan Bunda Maria, Bunda Allah, karenaNYalah penulis akhirnya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini, dimana laporan tugas akhir merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana (S1) Teknik Perkapalan.

Laporan tugas akhir ini penulis sadari masih banyak kekurangan dan kelemahan yang jauh dari sempurna, oleh karena itu semua kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis untuk menyempurnakan laporan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis berharap agar laporan tugas akhir ini dapat berguna bagi pembaca terutama bagi mahasiswa jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.

Penulis secara pribadi mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof.Ir. Soegiono, selaku Rektor ITS.
2. Ir. Budi Santosa M.T, selaku Dekan Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.
3. Ir. Djauhar Manfaat M.Sc, Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Ir. I.K.A.P Utama M.Sc, Ph.D, selaku Seketaris Jurusan Teknik Perkapalan.
5. Wing Hendroprasetyo S.T, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah membantu dan mengarahkan selama pengerjaan tugas akhir.
6. Pak. Mudjito, Pak Thoriq (Poltek Kapal), Pak Didik dan Pak Yanto, yang membantu dalam menyelesaikan spesimen impak.
7. Kedua orang tua dan saudara-saudara saya, Bapak, Mamak, Heri, Yanti dan Mei. Doa kalian selalu menyertaiku.
8. Yohanna Kristiani Tarigan, Nande tigan sayangku yang selalu memberi semangat juang padaku, doa ndu i kabul ken Dibata.
9. Iwan K. Siringo-ringo, terima kasih atas semua bantuan yang telah kau berikan. I'll always remember you anywhere.

10. Teman-teman seperjuangan Farid dan Endro, We have glory now !!!
11. Nangin, Don Yuan D'Marco (Play Boy cap sendok makan), Thanks for the room and fasility (6 \$ / month).
12. Arek-arek 98', ingat selalu bang BIRING.
13. Teman-teman IKKSU, maaf telah mengecewakan kalian selama ini, semoga Tuhan mengampuniku.
14. Teman-teman Permata GBKP, sorry jarang ikut PA.
15. Segenap kru kos-kosan F1, Inang dan Amang Pangabean, Volta, MelAnton, Daniel (thanks atas grafiknya), Sunda, Umi, Lidia, Ira, bang Pungu (repair jendela Sunda) .
16. Teman –teman kalak KARO ITS, mejuah-juah kerina.
17. Teman-teman main bola di San Siro (Fix Purba, Wayang (Jimmy jangkrik), Jahudi, Andi, Raul mumbang.
18. Dan semua pihak yang membantu Tugas akhir ini, dan yang tidak ada namanya mohon maaf, soalnya ini dikerjakan jam 03.14 WIB.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2. HIPOTESIS	2
1.3. PERUMUSAN MASALAH	3
1.4. TUJUAN	3
1.5. MANFAAT	4
1.6. BATASAN MASALAH	4
BAB II DASAR TEORI	
2.1. BAJA TAHAN KARAT	5
2.2. BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK	6
2.3. BAJA TAHAN KARAT FERITIK	7
2.4. BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK	9
2.5. Perlakuan Panas	11
2.5.1 Pengaruh PWHT Pada Baja Tahan Karat Austenitik (AISI 304)	12
2.6. Ketangguhan Austenitik Stainless Steel Pada Suhu Cryogenic dan Suhu Ruangan	13
2.6.1. Ketangguhan Pada Suhu Cryogenic	13

2.6.2. Ketangguhan Pada Suhu Ruangan	14
2.7. Pengelasan Baja Tahan Karat Austenitik	15
2.7.1. Perubahan Struktur Mikro Austenitik Stainless Steel Pada Proses Pengelasan	17
2.8. Charpy Impact Test (ASTM A 370)	21
2.8.1. Pendahuluan	21
2.8.2. Arti dan Kegunaan	22
2.8.3. Peralatan	24
2.8.4. Efek Nocth	29
2.9. Pengujian Kekerasan	31
2.9.1. Uji Vickers	33
2.9.1.1. Prinsip	33
2.9.1.2. Definisi	33
2.9.1.3. Simbol	34
2.9.1.4. Beban Uji dan Bahan Uji	35
2.9.1.5. Penentuan Nilai Uji Kekerasan	36

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alur Penelitian	37
3.2. Bahan dan Peralatan	38
3.3. Proses Pengelasan	39
3.4. Proses Perlakuan Panas	43
3.4.1. Proses Pendinginan	44
3.5. Pengujian Impact	44
3.5.1. Persiapan	44
3.5.2. Suhu Pengujian	46
3.5.3. Pelaksanaan	46
3.6. Pengujian kekerasan Vickers	47
3.6.1. Persiapan	47
3.6.2. Pelaksanaan	48
3.7. Pengujian Struktur Mikro (Metalografi)	49
3.7.1. Persiapan dan Pelaksanaan Uji	49
3.7.2. Perhitungan Ukuran Butir (Grain Size)	51

3.8. Perhitungan Shear Fracture	52
BAB IV ANALISA DATA	
4.1. Hasil Uji Impact dan Perhitungan Shear Fracture	54
4.2. Analisa Data Uji Impact dan Shear Fracture	57
4.3. Analisa hasil Uji Foto Mikro	62
4.4. Analisa Uji Kekerasan	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. KESIMPULAN	70
5.2. SARAN	72
DAFTAR PUSTAKA	73

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	2.1.	Mikrostruktur dasar austenitik stainless steel	17
GAMBAR	2.2.	Skema perubahan mikrostruktur baja setelah mengalami pengerjaan dingin	18
GAMBAR	2.3.	Presipitasi karbida didaerah pengaruh panas (HAZ)	18
GAMBAR	2.4.	Rekristalisasi pada daerah pengaruh panas (HAZ)	19
GAMBAR	2.5.	Mikrostruktur batas daaerah pengaruh panas dan logam lasan	20
GAMBAR	2.6.	Struktur solidifikasi lasan austenitic stainless steel	21
GAMBAR	2.7.	Uji impak charpy	22
GAMBAR	2.8.	Sudut notch	26
GAMBAR	2.9.	Uji vickers	35
GAMBAR	3.1.	Sudut pengelasan material untuk spesimen weld metal dan HAZ	40
GAMBAR	3.2.	Grafik suhu PWHT	43
GAMBAR	3.3.	Bidang sisi datar spesimen	45
GAMBAR	3.4.	Ukuran spesimen dan notch	45
GAMBAR	3.5.	Panjang garis potong pertemuan dua bidang kemiringan keempat sisi piramid	48
GAMBAR	3.6.	Skema elektrolisa	50
GAMBAR	3.7.	Luas penampang spesimen setelah diuji	52
GAMBAR	4.1.	Asumsi perhitungan luas spesimen setelah diuji	55
GAMBAR	4.2.	Kurva hubungan temperatur dan shear fracture pada baja AISI 304 setelah diannealing	57
GAMBAR	4.3.	Mikrostruktur base metal baja AISI 304 setelah diannealing (perbesaran 400 kali)	62
GAMBAR	4.4.	Mikrostruktur weld metal baja AISI 304 setelah diannealing (perbesaran 400 kali)	63
GAMBAR	4.5.	Mikrostruktur daerah pengaruh panas (HAZ) baja AISI 304 setelah diannealing (perbesaran 400 kali)	64

DAFTAR TABEL

TABLE	2.1. Komposisi kimia baja tahan karat martensit	7
TABLE	2.2. Komposisi kimia baja tahan karat ferritik	8
TABLE	2.3. Komposisi kimia baja tahan karat austenitik	10
TABLE	2.4. Simbol vickers	34
TABLE	2.5. Beban uji dan bahan uji	35
TABLE	3.1. Pengelasan material I (l=291.5 mm)	40
TABLE	3.2. Pengelasan material II-A (l=251.5 mm)	41
TABLE	3.3. Pengelasan material II-B (l=251.5 mm)	42
TABLE	3.4. Data untuk ukuran butir austenitk menurut standard ASTM	51
TABLE	4.1. Energi absorb pada beberapa macam variasi suhu pengujian impak AISI 304 setelah diannealing	54
TABLE	4.2. Perhitungan shear fracture pada base metal	55
TABLE	4.3. Perhitungan shear fracture pada weld metal	56
TABLE	4.4. Perhitungan shear fracture pada daerah HAZ	56
TABLE	4.5. Suhu transisi pada baja AISI 304 setelah diannealing	60
TABLE	4.6. Hasil uji kekerasan vickers baja AISI 304 setelah diannealing	66
TABLE	4.7. Hasil uji kekerasan vickers baja AISI 304 tanpa perlakuan	67
TABLE	4.8. Prosentase nilai kekerasan baja AISI 304 akibat diberi perlakuan panas (annealing)	67

DAFTAR LAMPIRAN

- Gambar 1. Mesin uji impak dan nitrogen cair
- Gambar 2. Dry ice dan alkohol
- Gambar 3. Nitrogen cair
- Gambar 4. Thermokopel
- Gambar 5. Oven untuk PWHT
- Gambar 6. Spesimen setelah diuji impak
- Gambar 7. Vickers tester
- Gambar 8. Alat ukur shear
- Gambar 9. Metallography test
- Gambar 10. Pengukuran luas shear fracture pada Logam Induk (71.76 %)
- Gambar 11. Pengukuran luas shear fracture pada Logam Las (80.24 %)
- Gambar 12. Pengukuran luas shear fracture pada Daerah pengaruh Panas (HAZ)
(47.95 %)



BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Baja tahan karat AISI 304 sangat banyak digunakan dalam pembangunan suatu konstruksi (kapal, jembatan, tangki, pipa dan lain – lain). Dimana konstruksi tersebut bekerja mulai dari suhu rendah (cryogenic) sampai pada suhu tinggi. Pengoperasian pada suhu rendah menyebabkan terjadinya kepecahan getas sehingga seluruh peralatan dan struktur konstruksi akan mengalami kerusakan yang parah. Sedangkan pengoperasian pada suhu tinggi, logam – logam konstruksi akan memperlihatkan perubahan bentuk atau deformasi plastis sebelum mengalami kegagalan. Salah satu cara untuk mengurangi terjadinya kerusakan - kerusakan tersebut adalah dengan memberikan perlakuan panas (heat treatment) dalam hal ini adalah annealing, yang akan menjadikan baja lebih lunak (ulet/ductile) . Setelah dilakukan proses annealing, suhu pengoperasian untuk menghindari kegagalan atau patah getas belum dapat diketahui, untuk itu diperlukan suatu kurva suhu transisi yang menyatakan hubungan antara suhu pengoperasian dengan prosentase kepecahan geser, dengan demikian perubahan sifat – sifat material ulet (ductile) menjadi getas (brittle) dapat diketahui.

Pendekatan suhu transisi digunakan secara luas untuk tujuan perbandingan material. Dalam satu kelas material –material dengan kekuatan hampir sama, umumnya memiliki harga suhu transisi rendah sehingga memiliki ketahanan terhadap kepecahan lebih besar daripada material dengan harga suhu transisi tinggi [Viswanathan, 1989].

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan pengujian karakteristik suhu transisi ductile to brittle terhadap kuat impak V – notch, struktur mikro dan sifat kekerasan baja tahan karat AISI 304.

1.2. HIPOTESIS

- Suhu transisi daerah pengaruh panas (HAZ) lebih besar daripada logam induk dan logam las baja tahan karat AISI 304 yang sudah diannealing.
- Adanya perbedaan struktur mikro dan sifat kekerasan pada logam las, logam induk dan daerah pengaruh panas (HAZ) baja tahan karat AISI 304 sesudah diannealing.

1.3. PERUMUSAN MASALAH

- Apakah suhu transisi daerah pengaruh panas (HAZ) lebih besar daripada logam induk dan logam las baja tahan karat AISI 304 yang sudah diannealing.
- Apakah ada perbedaan struktur mikro dan sifat kekerasan pada logam las, logam induk dan daerah pengaruh panas (HAZ) baja tahan karat AISI 304 sesudah diannealing.

1.4. TUJUAN

- a. Untuk memperoleh data perbandingan karakteristik suhu transisi, struktur mikro dan sifat kekerasan pada logam induk, logam las dan daerah pengaruh panas (HAZ) baja tahan karat AISI 304 setelah diannealing.
- b. Untuk mengetahui besarnya energi absorb pada logam induk, logam las dan daerah pengaruh panas (HAZ) baja tahan karat AISI 304 setelah diannealing.

1.5. MANFAAT

Manfaat yang diperoleh dari pengujian ini adalah sebagai bahan referensi dalam pembangunan konstruksi yang akan menggunakan baja tahan karat AISI 304 yang akan dioperasikan pada suhu rendah sehingga terhindar dari kerugian finansial yang besar akibat terjadinya kepecahan getas.

1.6. BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Baja yang digunakan adalah baja tahan karat AISI 304.
- b. Temperatur annealing adalah 950°C
- c. Suhu terendah pengujian baja tahan karat AISI 304 adalah - 196°C s/d 30°C
- d. Pengujian impak dilakukan dengan 36 spesimen.



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 tahan karat terdiri dari :

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

Paduan utama penyusun baja tahan karat adalah kromium (Cr) dan Nickel (Ni), beberapa unsur paduan lainnya seperti Mangan (Mn), Silicon (Si) dan Molebdenum (Mo) juga sering ditambahkan sebagai penstabil [Peckner, 1977].



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 yang melekat pada permukaan baja yang melindungi baja ini dari lingkungan korosif.

Berdasarkan komposisi kimia dan struktur mikronya secara umum stainless steel dibedakan dalam tiga kelompok yaitu:

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

2.2 BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK

Baja ini mempunyai kadar krom antara (11-18) % dan kadar karbon antara (0,15 – 1,2) % [Peckner, 1977]. Baja tahan karat ini dikembangkan untuk mendapatkan paduan yang mempunyai sifat tahan korosi yang baik dan dapat dikeraskan dengan perlakuan panas (heat treatment). Kadar karbon yang tinggi menyebabkan daerah gamma (austenit) akan bertambah besar sehingga ketika dipanaskan akan terbentuk fase austenit yang memungkinkan untuk melakukan quench – hardening. Kelompok baja tahan karat ini memiliki beberapa sifat khusus antara lain bersifat magnetik, hot work, cold work, dapat dikeraskan,

machinability yang baik dan memperlihatkan sifat tahan korosi terhadap cuaca dan beberapa chemical 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, 431, 440A, 440B, 440C. Yang paling dikenal adalah tipe 410 dan 416 yang sering digunakan untuk turbin blade dan benda tuangan tahan korosi.

Table 2.1. Komposisi kimia baja tahan karat martensitik [Peckner, 1977]

Tipe AISI No	Komposisi				
	C	Mn	Cr	Ni	Others
403	0,15 max	1,0	11,5-13	-	-
410	0,15 max	1,0	11,5-13	-	-
416	0,15 max	1,2	12-14	-	0,15S min
420	0,15 min	1,0	12-14	-	-
431	0,20 max	1,0	15-17	1,2-2,5	-
440A	0,60-0,75	1,0	16-18	-	0,75 Mo max
440B	0,75-0,95	1,0	16-18	-	0,75 Mo max
440C	0,95-1,20	1,0	16-18	-	0,75 Mo max

2.3. BAJA TAHAN KARAT FERRITIK

Baja tahan karat ferritik adalah baja krom antara (14-27)% dan karbon antara (0,08-0,2)% [Pecner, 1977]. Baja ini mempunyai struktur mikro berupa ferrite alfa dan struktur kristal/lattice *body centered cubic* (BBC). Pada baja ini krom merupakan elemen pembentuk ferrite (ferrite former) semakin tinggi kadar krom dalam paduan akan membuat fase ferrite

menjadi stabil. Kestabilan ferrite yang mencapai temperature kamar membuat baja ini tidak dapat dikeraskan dengan laku panas, tetapi dapat dilakukan pengerjaan dingin (cold work) dan diannealing. Selain itu kadar krom yang tinggi dalam paduan menyebabkan daerah austenit akan menjadi sempit sebaliknya daerah ferrit akan bertambah luas.

Satu-satunya proses laku 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 relative 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 2.2. Komposisi kimia baja tahan karat ferritik [Peckner, 1977]

Tipe AISI No	Komposisi			
	C	Mn	Cr	Others
430	0,08 max	1,0	16,0-18,0	-
430F	0,12 max	1,25	16,0-18,0	0,6 Mo max
430F Se	0,12 max	1,25	16,0-18,0	0,15Se min
446	0,20 max	1,5	23,0-27,0	0,25N max

2.4. BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK

Baja ini terdiri dari baja krom – nikel (seri 3xx) dan baja krom nikel – mangan (seri 2xx) dengan jumlah kadar karbon dan nikel tidak kurang dari 23% [Peckner, 1977]. Berstruktur mikro austenit, struktur kristal/ *lattice face centred cubic (FCC)*, non magnetik, non hardenable, mudah dilakukan pengerjaan panas (hot work) dan agak sulit dilakukan pengerjaan dingin (cold work). Baja tahan karat ini dihasilkan dengan menambahkan elemen penstabil austenit (austenit stabilizer) seperti nikel atau mangan pada paduan besi kromium.

Austenitic stainless steel mempunyai sifat non magnetic jika dibandingkan dengan type ferritic dan martensitic stainless steel. Paduan austenitic yang paling umum adalah logam-logam besi, chromium, nikel yang disebut sebagai seri 300. Hal ini akan menyebabkan suatu logam akan mempunyai sifat tahan karat karena mempunyai kandungan chromium dan karbon yang tinggi. Tipe 300 merupakan tipe yang mempunyai ketahanan korosi paling tinggi jika dibandingkan dengan tipe-tipe lainnya salah satunya adalah jenis AISI seri 304.

Table 2.3. Komposisi kimia baja tahan karat austenitic [Peckner, 1977]

AISI Type No	Nominal composition, %				
	C	Mn	Cr	Ni	Others
301	0.15 max	2.0	16 – 18	6 – 8	
302	0.15 max	2.0	17 – 19	8 – 10	
304	0.08 max	2.0	18 – 20	8 – 12	
304L	0.03 max	2.0	18 – 20	8 – 12	
309	0.20 max	2.0	22 – 24	12 – 15	
310	0.25 max	2.0	24 – 26	19 – 22	
316	0.08 max	2.0	16 – 18	10 – 14	2 – 3Mo
316L	0.03 max	2.0	16 – 18	10 – 14	2 – 3Mo
321	0.08 max	2.0	17 – 19	9 – 12	(5x%C) Ti min
347	0.08 max	2.0	17 – 19	9 – 13	(10x%C)Cb-Ta min

AISI 304 adalah jenis austenitic stainless steels gabungan dari carbon dan low alloy steels. Salah satu jenis AISI seri 300 ini paling banyak digunakan saat ini karena mudah untuk diproduksi dan mempunyai tahanan korosi (corrosion resistance) yang tinggi. Komposisi AISI 304 terdiri dari 0,08 % C, 2 % Mn, (18-20)% Cr dan (8-12)% N [Peckner, 1977]. Komposisi AISI tipe 304 ini termasuk dalam komposisi yang tidak stabil (unstabilized compositions), dimana tidak dapat dikeraskan melalui perlakuan panas (heat treatment) tetapi akan keras bila diberikan perlakuan dingin.

Untuk menghindari masalah-masalah tersebut dan tegangan yang terjadi pada material baja tahan karat AISI 304 (relief stress) maka perlu dilakukan suatu perlakuan panas yaitu annealing. Annealing merupakan salah satu perlakuan panas (heat treatment) yang dapat digunakan pada baja tahan karat jenis AISI 304. Dimana suhu yang dapat digunakan



untuk melakukan annealing pada baja tahan karat jenis AISI 304 ini adalah antara $(1850 - 2050)^{\circ}\text{F}$ atau $(1008 - 1120)^{\circ}\text{C}$ [Croft, 1996].

2.5. PERLAKUAN PANAS

Perlakuan panas atau heat treatment dapat didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu yang bertujuan untuk memperoleh sifat tertentu [Suherman, 1998]. Selama pemanasan dan pendinginan akan terjadi beberapa perubahan struktur mikro, dapat berupa perubahan fase dan bentuk atau ukuran yang menyebabkan terjadinya perubahan sifat dari logam atau paduan tersebut.

Struktur mikro yang terjadi pada akhir suatu proses laku panas, selain ditentukan oleh komposisi kimia dari logam atau paduan dan proses laku panas yang dialami juga ditentukan oleh struktur atau 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 atau kondisi awal berbeda.

Beberapa jenis perlakuan panas :

- Out gassing or hydrogen bake-ou
- Post-heat
- Post-Weld Heat Treatment (PWHT)
- Normalishing

2.5.1. Pengaruh PWHT Pada Baja Tahan Karat Austenitik (AISI 304)

PWHT sangat diperlukan sekali pada baja tahan karat austenitik, karena bertujuan untuk memberikan perbaikan terhadap faktor-faktor yang tidak diinginkan akibat proses pengelasan. Khusus untuk baja tahan karat AISI 304 jenis PWHT yang sangat tepat adalah melalui annealing dengan suhu antara $(1850 - 2050)^{\circ}\text{F}$ atau $(1008 - 1120)^{\circ}\text{C}$ yang ditahan selama 1 jam per inchi (25,4 mm) ketebalan material [Peckner, 1977]. Setelah dilakukan annealing pada baja tahan karat jenis AISI 304 maka selanjutnya perlu dilakukan pendinginan cepat (rapid cooling) ± 3 menit, dapat digunakan dengan pendinginan air (water cooling).

Pengaruh PWHT melalui annealing pada baja tahan karat jenis AISI 304 yaitu :

- Akan menyebabkan lebih cepat terjadinya pencairan garis batas butir (grain boundary) chromium carbide sehingga menambah ketangguhan baja.
- Akan mengubah sigma (larutan padat karbon dalam baja untuk austenitic) kembali menjadi alpha (larutan padat karbon dalam baja untuk ferrit).
- Akan melunakkan baja.

2.6. Ketangguhan Austenitic Stainless Steel Pada Suhu Cryogenic dan Suhu Ruangan

2.6.1. Ketangguhan Pada Suhu Cryogenic

Logam-logam yang digunakan untuk komponen-komponen yang bekerja pada suhu pengoperasian rendah harus memiliki sifat-sifat tertentu yang mampu menahan kondisi tersebut. Pengalaman yang diperoleh dari kejadian-kejadian pada perang dunia II, dimana banyak terjadi kepecahan pada baja lambung kapal akibat kepecahan getas telah memperlihatkan bahwa logam-logam yang memiliki daya kerja yang baik pada suhu ruangan belum tentu memiliki sifat yang baik pula pada suhu pengoperasian rendah (cryogenic) [Peckner,1977]. Bahaya yang terjadi pada pengoperasian suhu rendah adalah kepecahan getas yang dapat mengakibatkan kerusakan besar-besaran pada peralatan dan struktur konstruksi suatu bangunan. Pada pengoperasian suhu tinggi, logam-logam konstruksi akan memperlihatkan perubahan bentuk atau deformasi plastis sebelum mengalami kegagalan. Sebaliknya pada pengoperasian suhu rendah, logam-logam yang tadinya memiliki sifat liat atau ulet tiba-tiba dapat mengalami kegagalan tanpa memperlihatkan adanya deformasi plastis, bahkan pada tingkat pembebanan yang rendah sekalipun, kegagalan jenis ini dikenal sebagai kegagalan getas [Mc Clintock, 1977].

Untuk mengatasi masalah kegagalan getas, peralatan dan struktur harus didesain untuk meminimumkan konsentrasi tegangan dan harus dibuat dari material yang berdasarkan pengujian dan pengalaman pengoperasian, memperlihatkan sifat ketangguhan yang tinggi pada kondisi pengoperasiannya.

Banyak jenis baja yang memiliki unjuk kerja memuaskan pada kondisi pengoperasian pada suhu rendah, namun hanya sedikit jenis baja yang sesuai untuk penyimpanan gas-gas yang dicairkan seperti nitrogen, oksigen, hydrogen, dan helium. Gas-gas yang dicairkan tersebut mendidih pada apa yang dinamakan sebagai suhu cryogenic, yaitu dibawah suhu -101°C . Dalam klasifikasi baja tahan karat, hanya baja tahan karat jenis austenitic yang sesuai untuk kondisi cryogenic [Mc Clintock, 1977]. Pada Cr-Ni austenitic dan Cr-Mn-N austenitic stainless tidak menunjukkan sifat tangguh pada suhu cryogenic.

2.6.2. Ketangguhan Pada Suhu Ruangan

Austenitic stainless steel sesuai dengan namanya mempunyai struktur mikro austenitic dan struktur kristal/lattice *face centered cubic (FCC)* pada suhu ruangan dan tidak bisa dikeraskan dengan perlakuan panas, meskipun jenis ini bisa dikeraskan dengan perlakuan dingin. Sebagai contoh pada suhu ruangan logam ini menunjukkan yield strengths antara 30 dan 200 ksi (206.9 dan 1379 MN/m^2) tergantung dari perlakuan

dingin dan komposisi dari logam. Logam ini juga menunjukkan keuletan dan ketangguhan yang tinggi meskipun logam ini juga mempunyai kekuatan yang tinggi.

2.7. PENGELASAN BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK

Austenitik Stainless steel tidak mengalami banyak kesukaran dalam proses pengelasannya, karena baja jenis ini tidak membentuk martensite pada proses pendinginan [Okumura, 1981].

Walaupun demikian, pada pengelasan baja ini, proses pemanasan yang terjadi pada daerah pengaruh panas bisa menempatkan baja ini pada temperatur sensitis (400°C - 800°C) yang selanjutnya dapat berakibat turunnya ketahanan korosi didaerah tersebut.

Turunnya ketahanan korosi akibat proses pengelasan ini dapat menimbulkan suatu cacat yang dikenal dengan nama *weld decay* [Jhon, 1977]. Suatu hasil pengelasan austenitic stainless steels yang berada dalam suatu larutan korosif akan mengalami suatu perubahan metalurgis pada suatu daerah dengan jarak tertentu dari fusion line [Fontana, 1987].

Daerah ini adalah daerah yang mengalami temperatur sensitis sebagai akibat dari suatu siklus panas tertentu. Siklus panas ini akan

mengakibatkan terbentuknya presipitasi chromium carbide (Cr_{23}C_6) pada batas-batas butir.

Fenomena ini menyebabkan turunnya kadar chromium pada daerah disekitar batas butir yang akan memperendah ketahanan korosi didaerah tersebut, hal ini dapat menyebabkan terjadinya korosi intergranular apabila baja tersebut berada dalam suatu larutan korosif.

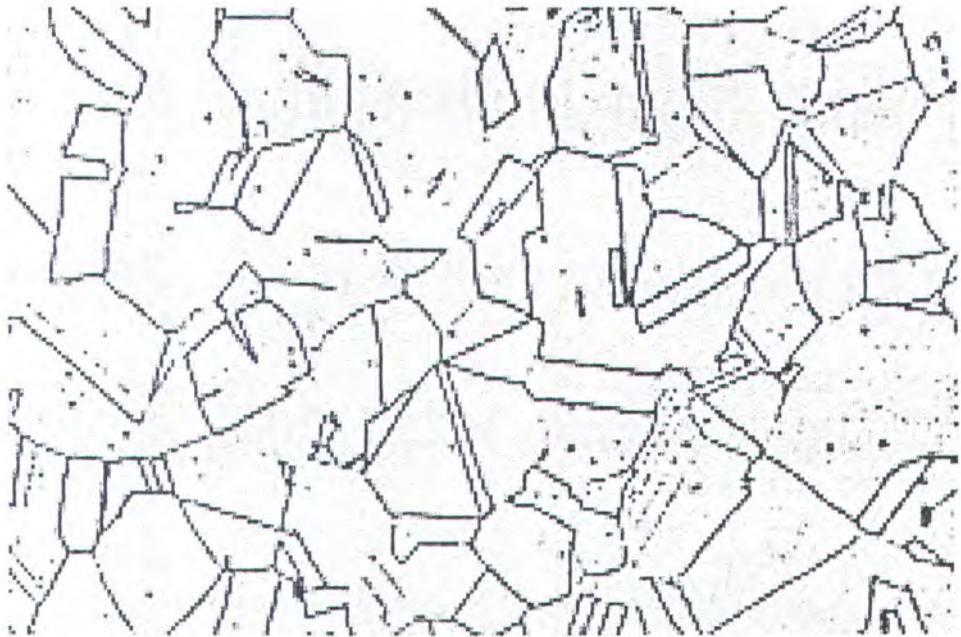
Pengelasan dengan intensitas panas yang tinggi bisa mengurangi terjadinya cacat semacam ini. Cara-cara penanggulangan yang lebih efektif dapat disebutkan antara lain :

- Mengadakan suatu post heat treatment untuk baja yang telah mengalami proses pengelasan dengan tujuan mendorong terjadinya dissolusi chromium carbide (Cr_{23}C_6) dan mengembalikan kadar chromium pada daerah didekat batas butir.
- Mengurangi kadar karbon pada baja untuk mencegah terbentuknya chromium carbide (Cr_{23}C_6).
- Menambahkan elemen-elemen seperti titanium, tantalum atau columbium yang mempunyai affinitas tinggi terhadap karbon.



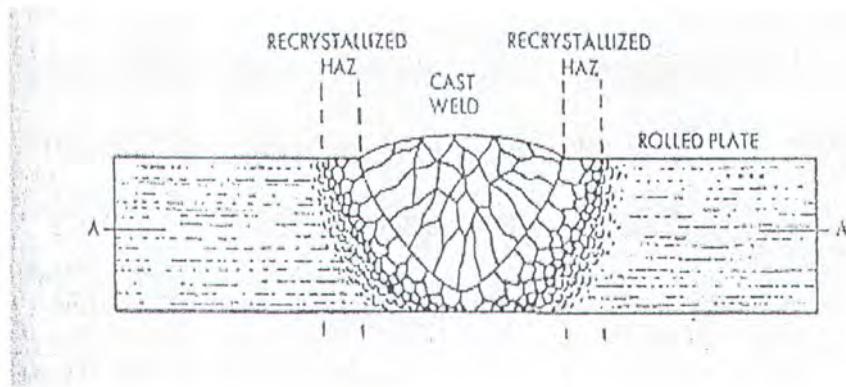
2.7.1. Perubahan Struktur mikro Austenitik Stainless Steel pada proses pengelasan.

Gambar 2.1 sampai dengan 2.2 menunjukkan mikrostruktur dari austenitic stainless steel untuk beberapa kondisi yang dialami.



Gambar 2.1. Mikrostruktur dasar austenitic stainless steel [Metals Handbook Vol.7, 1973]

Gambar 2.1. menunjukkan mikrostruktur dasar dari baja ini. Tampak dalam gambar ini butir-butir equiaxe yang menunjukkan bahwa logam merupakan hasil suatu pengerjaan panas. Tampak juga disini bidang-bidang twin yang sering dijumpai pada logam dengan struktur austenitic.



Gambar 2.2..Skema perubahan mikrostruktur baja setelah mengalami pengerjaan dingin
[Metals Handbook Vol.7, 1973]

Skema perubahan mikrostruktur dari baja ini setelah mengalami pengerjaan dingin ditunjukkan pada gambar 2.2. Dapat dilihat disini perubahan-perubahan yang terjadi akibat pengerjaan dingin yang dialami. Deformasi plastis yang dialami oleh logam dapat dilihat dari banyaknya bidang-bidang slip pada butir-butir.



Gambar 2.3. Presipitasi karbida didaerah pengaruh panas (HAZ)

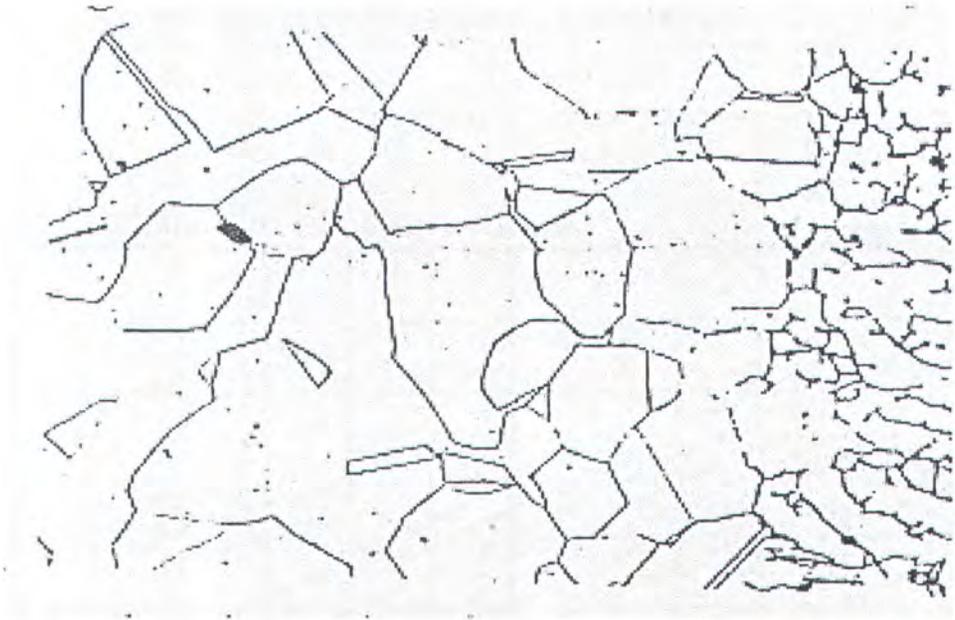
[Metals Handbook Vol.7, 1973]

Gambar 2.3. menunjukkan mikrostruktur dari daerah pengaruh panas yang terjadi pada saat pengelasan baja ini. Panas pengelasan menyebabkan daerah ini berada pada suatu temperatur sensitis yang mendorong terbentuknya presipitasi fase chromium carbide ($Cr_{23}C_6$). Bintik-bintik hitam pada batas butir dan pada bidang-bidang slip menunjukkan adanya presipitasi karbida ini.



Gambar 2.4. Rekristalisasi pada daerah pengaruh panas (HAZ) [Metals Handbook Vol.7, 1973]

Pada daerah yang lebih dekat dengan logam las, temperatur yang cukup tinggi mendorong terjadinya proses rekristalisasi. Gambar 2.4. menunjukkan mikrostruktur didaerah ini dimana tampak adanya butir-butir yang baru tumbuh dan berukuran kecil.



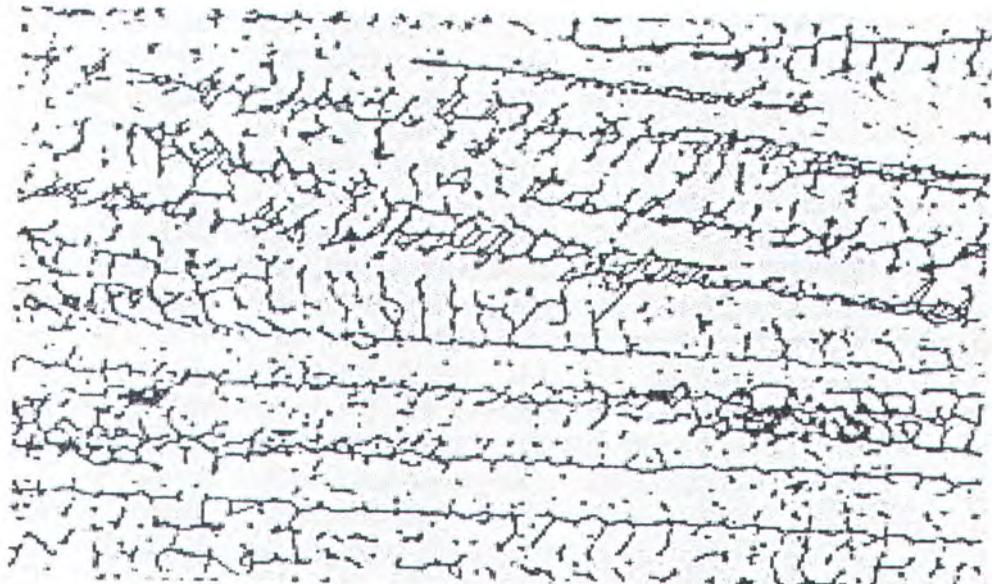
Gambar 2.5. Mikrostruktur batas daerah pengaruh panas (HAZ) dan logam lasan

[Metals Handbook Vol.7, 1973]

Gambar 2.5. selanjutnya menunjukkan mikrostruktur perbatasan antara daerah pengaruh panas dan logam lasan. Tampak dalam gambar ini proses rekristalisasi yang telah sempurna ditandai dengan terbentuknya butir-butir yang bebas regangan dan berukuran besar. Tidak tampak dalam gambar ini adanya presipitasi karbida; pendinginan yang cepat yang dialami daerah ini pada rentang temperatur sensitif tidak memberi kesempatan terbentuknya presipitasi karbida. Dapat dilihat pada mikrograph ini garis fusi yang merupakan batas antara daerah pengaruh panas dan daerah lasan.

Batas ini ditunjukkan dengan perubahan dari struktur kristal daerah pengaruh panas yang equiaxe, menjadi struktur dendritik yang merupakan karakteristik daerah lasan [Esterling, 1992]. Struktur

solidifikasi pada logam lasan ditunjukkan dengan lebih jelas pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Struktur solidifikasi lasan austenitic stainless steel [Metals Handbook Vol.7, 1973]

2.8. Charpy Impact Test (ASTM A370)

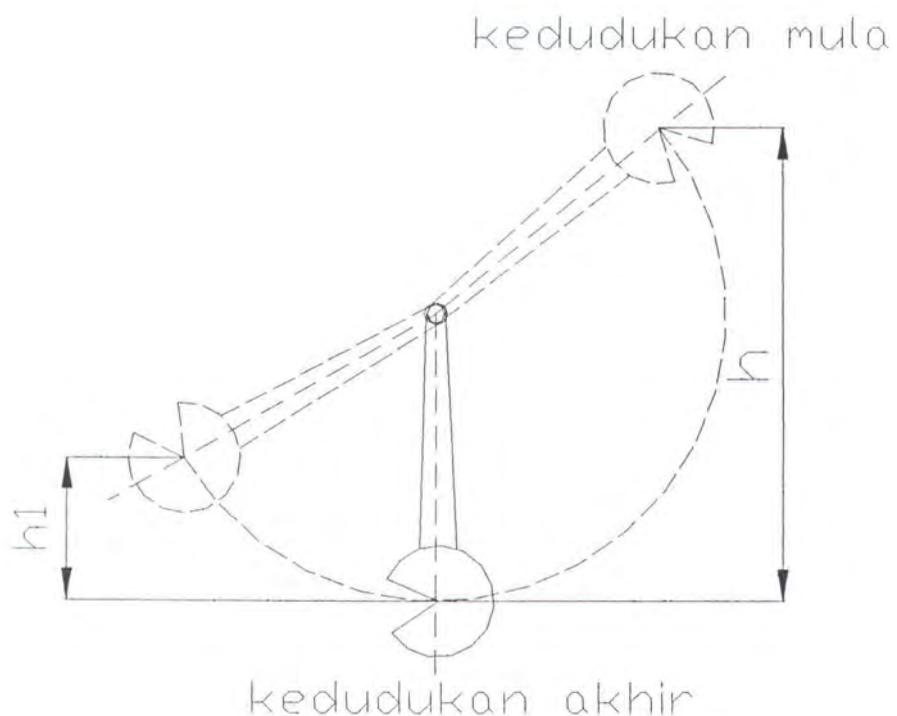
2.8.1. Pendahuluan

- **Menurut ASTM A370, 19.1**

Impact charpy V-notch adalah dynamic test dimana spesimen impact dipukul dan patah oleh satu ayunan yang dilakukan oleh mesin uji impact. Pengukuran harga test menggunakan energi yang terserap, prosentase shear fracture, lateral expansion dari notch atau kombinasi dari hal-hal tersebut.

- Menurut ASTM A370, 19.2

Temperatur uji yang berbeda dengan suhu ruangan merupakan hal umum yang diminta dalam pengujian ini. Meskipun temperatur uji kadang-kadang berhubungan dengan temperatur *service*, kedua temperatur tersebut tidak perlu harus sama.



Gambar 2.7. uji impak charphy

2.8.2. Arti dan kegunaan

- Menurut ASTM A370, 20.1.

Sifat ductile vs. brittle, *body centered cubic (BCC)* atau paduan logam ferritic menunjukkan perubahan yang besar ketika diuji impact lebih dari range suhu operasinya. Pada temperatur diatas

transisi, spesimen uji impact menunjukkan mekanisme patah ulet, menyerap energi relatif lebih besar. Pada temperatur rendah akan terjadi kepecahan getas dengan penyerapan energi yang rendah. Pada daerah transisi kepecahan merupakan kombinasi dari daerah yang patah ulet dan patah getas.

- **Menurut ASTM A370, 20.2.**

Range suhu atau batas suhu yang digunakan tergantung dari material yang akan diuji. Perubahan sifat ditentukan dengan bermacam-macam cara.

- **Menurut ASTM A370, 20.2.1.**

Dari hasil uji akan dihasilkan energi minimum yang terserap, sifat kepecahan, lateral expansion atau kombinasinya pada temperatur yang ditentukan.

- **Menurut ASTM A370, 20.2.2.**

Dari hasil uji akan ditentukan temperatur transisi dengan menggunakan besarnya energi yang terserap atau sifat kepecahan ketika pengujian dilakukan diatas suhu operasinya.

2.8.3. Peralatan

a. Mesin Uji

- **Menurut ASTM A370, 21.1.1.**

Mesin impact Charpy adalah merupakan suatu alat dimana spesimen impak patah oleh satu pukulan dari pendulum yang berayun bebas. Pendulum dilepaskan dari ketinggian yang tetap. Selama tinggi awal pendulum, tinggi akhir dari pendulum setelah berayun dan massa pendulum diketahui, maka energi yang digunakan untuk memukul spesimen diketahui. Hal tersebut merupakan suatu cara untuk menentukan besarnya energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen.

- **Menurut ASTM A370, 21.1.2.**

Prinsip lain dari mesin ini adalah mempunyai desain tumpuan yang fix. Tumpuan tersebut direncanakan sedemikian rupa sehingga permukaan notch vertical. Pendulum memukul bagian yang tidak mempunyai/ berlawanan dengan notch.

- **Menurut ASTM A370, 21.1.3.**

Mesin Charpy biasanya digunakan untuk logam yang mempunyai range energi antara 220 sampai 300 ft.lbf (300 sampai 400 J). Kadang-kadang mesin yang mempunyai kapasitas lebih rendah juga

digunakan. Kecepatan linear dari pendulum adalah antara 16 sampai 19 ft/s (4.9 sampai 5.8 m/s).

b. Temperatur Media

- **Menurut ASTM A370, 21.2.1.**

Untuk pengujian yang berbeda dengan suhu ruangan, diperlukan pengkondisian spesimen Charpy ke suatu media yang dapat dikontrol temperaturnya.

- **Menurut ASTM A370, 21.2.2.**

Media temperatur rendah biasanya fluida-fluida dingin (seperti air, air dan es, dry ice ditambah dengan cairan lainnya seperti alkohol atau nitrogen cair).

- **Menurut ASTM A370, 21.2.3.**

Media temperatur tinggi biasanya menggunakan larutan yang dipanaskan seperti mineral atau silicone oils). Oven sirkulasi udara juga bisa digunakan.

c. Penjepit (Handling Equipment)

- **Menurut ASTM A370, 21.3**

Penjepit, yang digunakan untuk memposisikan notch dari spesimen impact, biasanya digunakan untuk memindahkan spesimen dari media pengkondisian dan menempatkannya ke landasan.

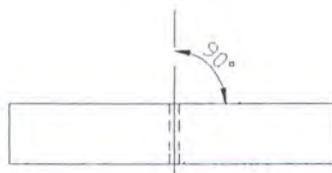
d. Jumlah Spesimen dan Toleransi

- **Menurut ASTM A370, 22.1.2.3.**

Untuk penentuan suhu transisi, maka delapan sampai dua belas spesimen biasanya dibutuhkan.

Toleransi yang diijinkan adalah:

- Sudut yang dibentuk antara pusat notch (ditarik garis vertikal) dengan bidang sisi datar adalah $90^{\circ} \pm 10 \text{ min}$



Gambar 2.8.sudut notch

- Koreksi untuk ukuran melintang $\pm 0,025 \text{ mm}$
- Koreksi untuk panjang spesimen $\pm 0, -2,5 \text{ mm}$
- Koreksi untuk sudut notch $\pm 1^{\circ}$
- Koreksi untuk radius dari notch $\pm 0,025 \text{ mm}$

- Koreksi jarak dari notch ke bottom $8 \pm 0,025$ mm
- Kekasaran yang diijinkan dari permukaan notch $1,6 \mu\text{m}$ max dan untuk permukaan lainnya $3,2 \mu\text{m}$

e. Temperatur kontrol

- **Menurut ASTM A370, 24.1.**

Beda suhu yang diijinkan dari kondisi yang ditentukan dan media yang digunakan adalah $\pm 1^{\circ}\text{C}$, karena efek dari perbedaan suhu pada charpy impact test akan sangat besar.

f. Prosedur

➤ **Temperatur**

- **Menurut ASTM A370, 25.1.1.**

Mengkondisikan spesimen yang akan diimpact didalam sebuah temperatur media, waktu yang dibutuhkan untuk mengkondisikan setidaknya 5 menit untuk media cair dan 30 menit untuk media gas.

- **Menurut ASTM A370, 25.1.2.**

Pada tiap pengujian, menjaga agar penjepit yang digunakan untuk memindahkan spesimen mempunyai suhu yang sama dengan spesimen, agar tidak mempengaruhi temperatur dari spesimen.



➤ **Posisi mematahkan spesimen**

• **Menurut ASTM A370, 25.2.1.**

Memposisikan center dari spesimen pada landasan dan melepaskan pendulum untuk mematahkan spesimen.

• **Menurut ASTM A370, 25.2.2.**

Jika pendulum belum dilepaskan dalam waktu 5 detik setelah spesimen diangkat dari media pengkondisian, maka tidak diijinkan untuk mematahkan spesimen, spesimen harus dikondisikan lagi ke media seperti waktu yang ditentukan pada A370, 25.1.1.

➤ **Kenampakan kepecahan**

• **Menurut ASTM A370, 25.4.2.1.**

- Menentukan prosentase shear fracture area dengan menggunakan metode
- Mengukur panjang dan lebar dari daerah brittle pada permukaan patahan dan kemudian menentukan prosentase shear area dari tabel 4 atau 5 (pada ASTM A 370) tergantung dari unit dimensi yang digunakan
- Membandingkan kepecahan yang tampak dari spesimen dengan chart kenampakan kepecahan yang ada di gambar 13 pada ASTM A370

- Memperbesar permukaan patahan dan membandingkannya dengan chart yang ada atau mengukur prosentase shear fracture area dengan planimeter
- Foto terhadap permukaan patahan yang diperbesar dan mengukur prosentase shear fracture area dengan planimeter

2.8.4. Efek Notch (ASTM A370, A5)

- **Menurut ASTM A370, A5.1.1**

Pada Charpy dan Izod tes terdapat sebuah spesimen yang mempunyai notch dan diberi beban yang lebih besar dari kemampuan spesimen. Besarnya energi yang didapat dari hasil uji bisa dibandingkan dengan spesimen-spesimen uji lainnya, tetapi tidak dapat dikonversi kedalam harga energi yang digunakan untuk perhitungan desain teknik.

- **Menurut ASTM A370, A5.1.2.**

Sifat notch pada paduan logam yang mempunyai struktur kristal/lattice *face centered cubic(FCC)*, yang merupakan kelompok besar dari logam non ferrous dan baja austenitic dapat ditentukan dari tensile propertisnya. Jika logam mempunyai sifat getas dalam uji tarik maka logam tersebut akan getas ketika diuji impact dan sebaliknya.

- **Menurut ASTM A370, A5.2.1.**

Adanya notch akan menyebabkan *multiaxial stress*. Pada kasus brittle fracture, permukaan patahan akan tampak seperti berkrystal dan pada ductile fracture permukaan patahan akan tampak seperti berserabut, dan pada kombinasi antara ductile dan brittle fracture permukaan patahan akan berkrystal dan sebagian lagi berserabut.

- **Menurut ASTM A370, A5.2.4.**

Jika notch dibuat lebih drastis dan tajam maka tegangan juga akan semakin meningkat dan cenderung akan membentuk patahan brittle fracture.

- **Menurut ASTM A370, A5.3.1.**

Pertambahan dari tebal dan lebar akan menyebabkan bertambahnya volume dari spesimen dan hal ini menyebabkan bertambahnya energi yang diserap ketika spesimen patah.

- **Menurut ASTM A370, A5.4.1**

Ketika temperatur uji cukup dingin untuk membuat kepecahan getas, maka akan terjadi penurunan harga impact yang drastis. Energi yang turun drastis dimulai ketika spesimen mulai menunjukkan kepecahan getas yang tampak seperti kristal.

- **Menurut ASTM A370, A5.4.2.**

Beberapa definisi dari temperatur transisi yang digunakan:

- Merupakan temperatur terendah dimana spesimen menunjukkan 100 % fibrous fracture
- Merupakan temperatur dimana, kepecahan menunjukkan 50 % berkristal dan 50 % berserabut
- Temperatur dimana energi yang terserap adalah 50 % dari data range energi yang diperoleh dan fibrous fracture 0 %

- Untuk spesimen Charpy maupun Izod yang mempunyai perbedaan notch yang cukup besar antara spesimen yang satu dengan spesimen yang lain maka tidak akan menghasilkan temperatur transisi yang diharapkan.

2.9. PENGUJIAN KEKERASAN

Kekerasan suatu bahan merupakan salah satu sifat mekanik yang penting. Hal ini disebabkan pelaksanaan pengujian yang lebih sederhana dibanding dengan pengujian lain. Adapun definisi kekerasan sangat tergantung pada cara pengujian tersebut dilakukan.

Beberapa dari definisi tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Ketahanan terhadap indentasi permanen akibat beban dinamis atau statis kekerasan indentasi.
- b. Energi yang diserap pada beban impact – kekerasan pantul.
- c. Kekerasan terhadap goresan –kekerasan goresan.
- d. Ketahanan terhadap abrasi – kekerasan abrasi.
- e. Ketahanan terhadap pemotongan atau pengeboran- mampu mesin.

Pengujian kekerasan yang banyak dilaksanakan adalah yang berdasarkan indentasi permanen atau deformasi plastis akibat beban statis.

Hasil pengujian kekerasan tidak dapat langsung digunakan dalam desain seperti halnya hasil pengujian tarik. Namun demikian pengujian kekerasan banyak dilakukan, sebab hasilnya dapat digunakan sebagai berikut:

- Pada bahan yang sama dapat diklasifikasikan berdasarkan kekerasannya. Dengan kekerasan tersebut dapat ditentukan penggunaan dari bahan tersebut.
- Sebagai kontrol kualitas suatu produk seperti mengetahui homogenitas akibat suatu proses pembentukan dingin, pemaduan dan heat treatment, *case hardening* dan sebagainya. Dengan demikian dapat juga sebagai kontrol terhadap proses yang dilakukan.

Pengujian kekerasan ini berdasarkan material yang lebih keras dapat menggores material yang lebih lunak oleh sebab itu hasil pengujian bersifat relatif. Angka kekerasan dinyatakan dengan skala *mohs* yaitu talk material yang terluak dengna angka 1 dan diamond material yang terkeras dengan angka 15.

Pengujian kekerasan yang berdasarakan penetrasi beban statis diantaranya Brinell, Rock Well, Vickers dan Mikro Hardness.

2.9.1. Uji Vickers [Devies, 1977]

2.9.1.1. Prinsip

Permukaan benda uji ditekan dengan penetrator intan berbentuk piramid, penekanan dilakukan dengan beban dan waktu pembebanan tertentu kemudian setelah beban diangkat akan memperlihatkan bekas penetrator berbentuk bujur sangkar dan selanjutnya diagonal bujur sangkar tersebut diukur untuk menentukan dasar nilai vickers.

2.9.1.2. Definisi

Nilai keras vickers adalah hasil bagi antara beban tekan statis dan luas bidang bekas penetrator.

2.9.1.3. Simbol

Tabel 2.4. simbol vickers

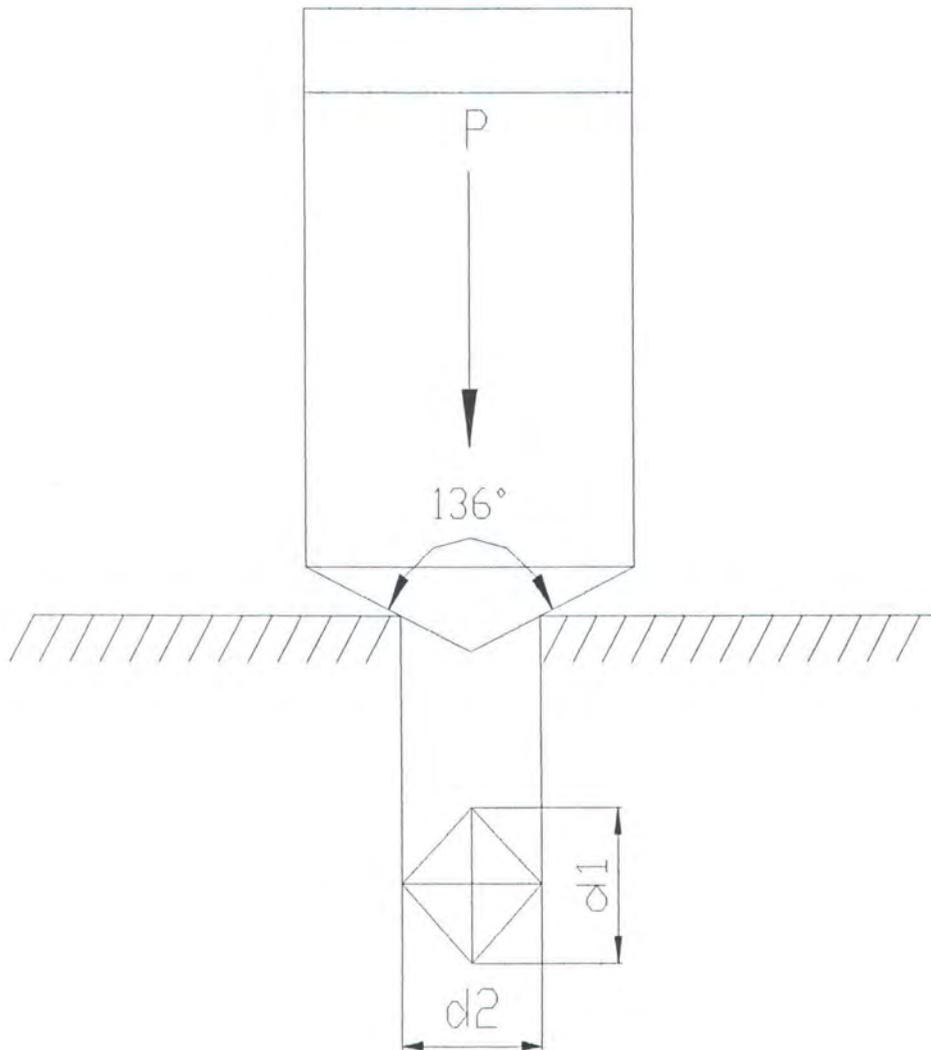
Simbol	Keterangan
P	Beban tekan (kg)
α	Sudut puncak piramida intan 136°
$d_1 \& d_2$	Diagonal penetrasi (mm)
d	Diagonal rata-rata penetrasi (mm)
HV	Kekerasan (kg/mm^2)

Catatan:

Simbol keras Vickers dicantumkan tulisan HV, dengan dibubuhi indeks pertama yang menunjukkan nilai keras Vickers dan indeks berikutnya beban tekan. Jangka waktu pembebanan diluar waktu normal (10-15 detik).

Contoh:

640 HV 30 artinya nilai keras Vickers sebesar 640 kg/mm^2 diukur pada beban 310 kg dan dalam waktu penekanan 10-15 detik.



Gambar 2.9. Uji vickers

2.9.1.4. Beban Uji dan Bahan Uji

Tabel 2.5. Beban uji dan bahan uji

Beban Uji (kg)	Bahan yang diuji
10	Untuk semua bahan logam
30	Untuk semua bahan logam
100	Untuk semua bahan logam

2.9.1.5. Penentuan Nilai Uji Kekerasan

Nilai keras Vickers dihitung menurut rumus:

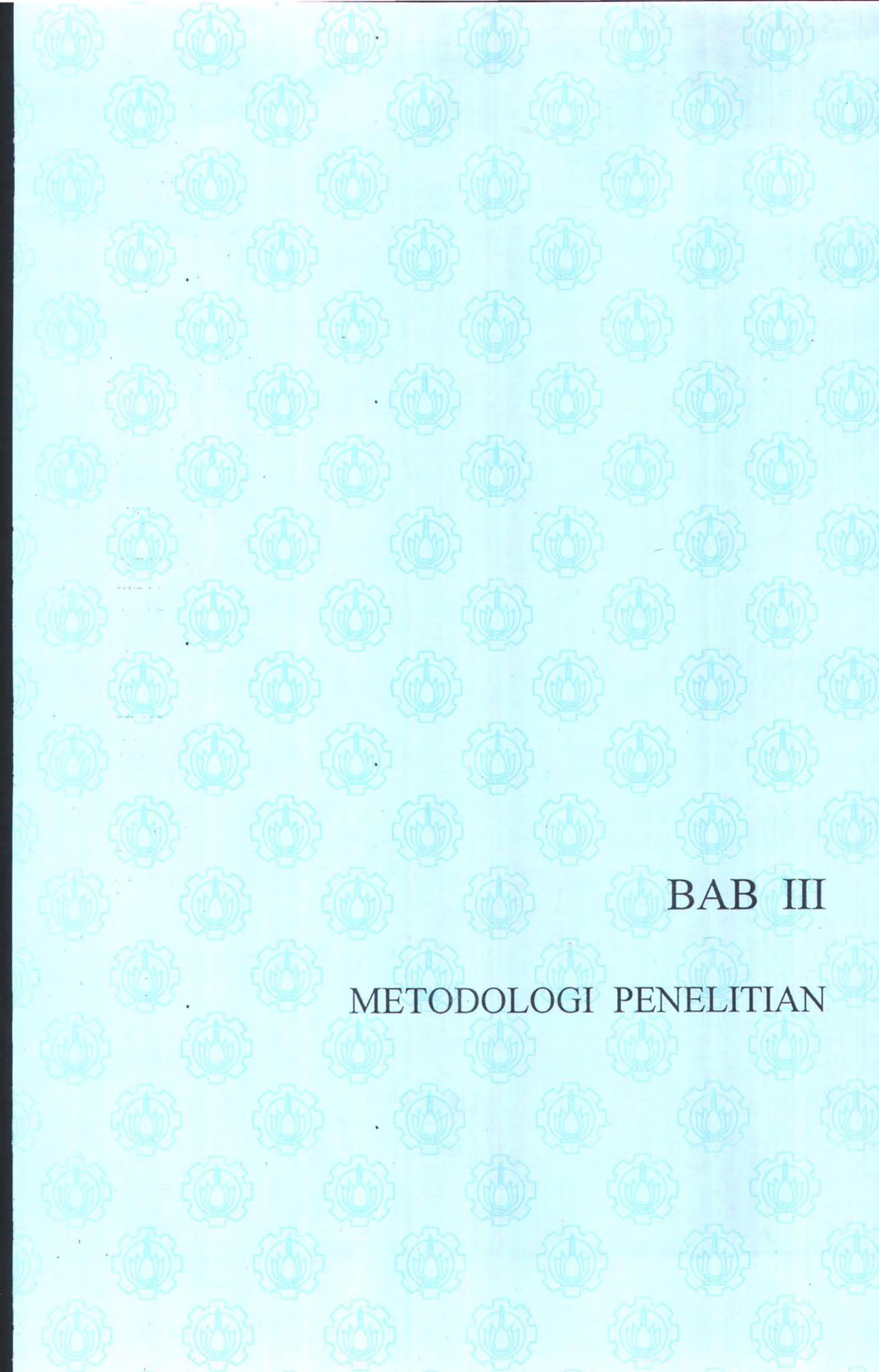
$$HV = \frac{P}{A} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$\text{Dimana : } A = \frac{d^2}{2 \sin \alpha / 2}$$

$$\alpha = 136^\circ$$

maka :

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

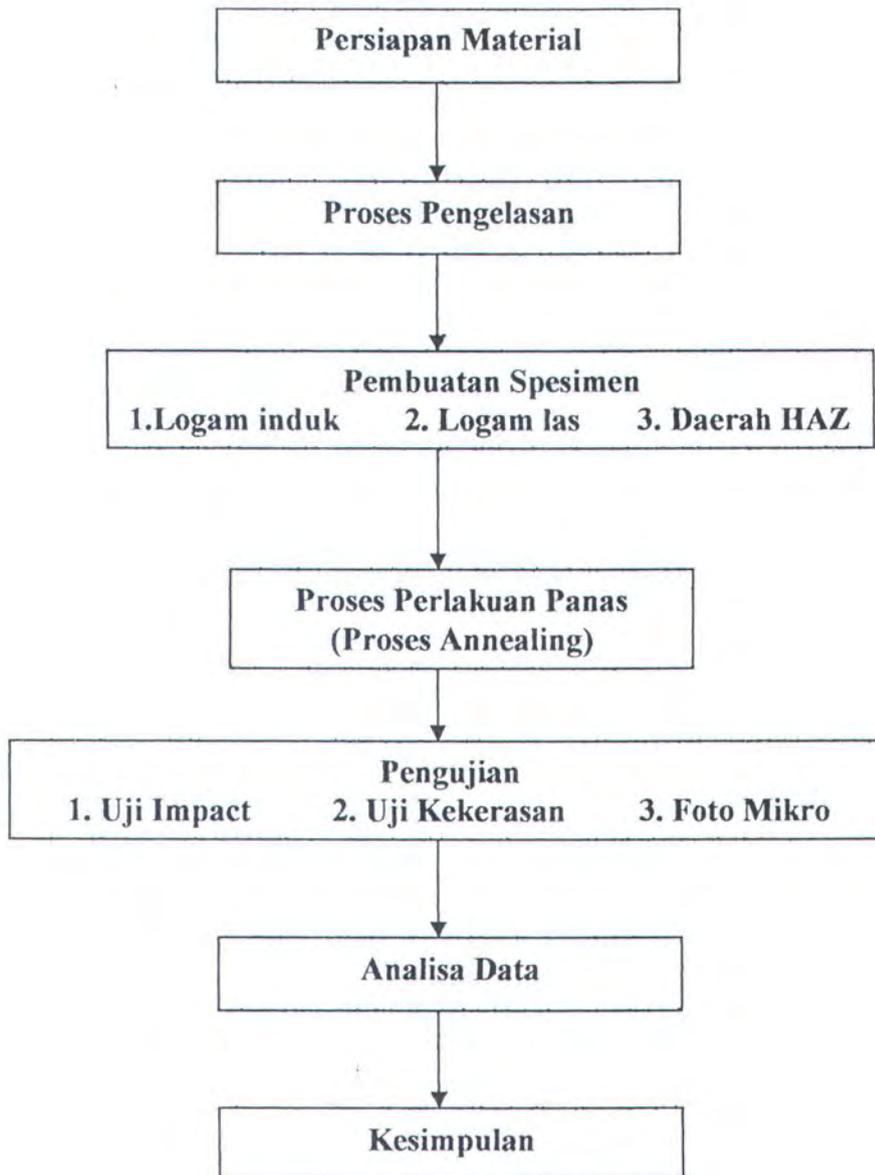


BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. DIAGRAM ALUR PENELITIAN



3.2 BAHAN DAN PERALATAN

a. Bahan penelitian yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Material baja tahan karat AISI 304
- Kertas Gosok grid 3-2000
- Alkohol
- Air
- Es Kering
- Nitrogen Cair
- Kain Bludru
- Bubuk Alumina
- Asam Nitrat

b. Peralatan yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Mesin Potong
- Mesin Las SMAW
- Mesin Polisher
- Mesin Uji Vickers
- Indentor Piramida Intan
- Mesin Impact
- Mesin Frais
- Mesin Pemanas / Oven
- Mikroskop Optis

- Kamera untuk Foto Mikro
- Thermo Couple
- Stop Wacth
- Gerinda
- Kikir
- Jangka Sorong
- Mikrometer

3.3. PROSES PENGELASAN

a. Persiapan Benda Kerja

Benda kerja yaitu AISI 304 dengan komposisi kimia 0,08 % C, 2 % Mn, (18-20)% Cr dan (8-12) % N dengan ukuran material 1 (291,5 x 100 x 12), material 2A dan 2B (251,5 x 100 x 12) dan jenis alur bentuk V dengan sudut 30°

Pengelasan dilakukan dengan menggunakan proses las SMAW

Jenis Elektrode : E-308

Diameter electrode (\emptyset) : 3.2 mm

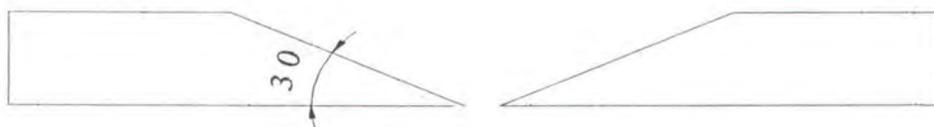
Merk : CHO –SUN

Welding Electrodes

(Made In Korea)

Mesin las : SMAW

Merk : ESAB LHE 300



Gambar 3.1. Sudut pengelasan material untuk spesimen weld metal dan HAZ

Table 3.1. Pengelasan Material I ($l = 291,5\text{mm}$)**Material I ; $l = 291,5\text{ mm}$**

Layer	Panjang (mm)	Waktu	Ampere	Volt
I	80	1'24"17	85	18
	90	1'27"12	60	16
	100	1'28"28	55	16
	21,5	0'42"00	50	16
II	125	1'2"47	95	20
	166,5	1'6"16	95	20
III	90	0'51"40	110	22
	100	0'55"19	110	22
	101.5	0'57"00	110	22

IV	75	0'51"12	110	22
	90	0'58"00	110	22
	90	0'53"66	110	22
	36.5	0'36"31	110	22
V	65	0'50"94	100	20
	70	0'59"87	100	20
	70	0'57"11	100	20
	86.5	0'56"38	100	20

Table 3.2. Pengelasan Material II.A (l = 251,5 mm)

Material II-A ; l = 251,5 mm

Layer	Panjang (mm)	Waktu	Ampere	Volt
I	110	1'29"21	55	16
	100	1"27"49	55	16
	41,5	0'34"96	55	16
II	130	0'52"13	100	20
	121,5	0'56"00	100	20
III	95	0'55"22	110	22
	110	0'55"29	110	22
	46.5	0"21"44	110	22
IV	95	0'54"31	110	22
	100	0'55"72	110	22
	56.5	0'34"65	110	22

V	60	0'55''41	100	20
	70	0'59''78	100	20
	55	0'57''69	100	20
	66.5	0'48''22	100	20

Table 3.3. Pengelasan Material II.B (l = 251,5 mm)

Material II-B ; l = 251,5 mm

Layer	Panjang (mm)	Waktu	Ampere	Volt
I	110	1'37''25	55	16
	110	1'39''60	55	16
	31.5	0'42''72	55	16
II	140	0'56''82	100	20
	111.5	0'52''15	100	20
III	110	0'49''34	110	22
	110	0'51''31	110	22
	31.5	0'35''28	110	22
IV	40	0'21''22	110	22
	105	0'49''63	110	22
	101.5	0'47''91	110	22
	5	0'09''50	110	22
V	80	0'56''50	100	22
	85	0'54''12	100	22
	86.5	0'57''25	100	22

3.4. Proses Perlakuan Panas (Annealing)

Setelah spesimen telah selesai dikerjakan maka dilakukan PWHT yaitu Annealing dimana suhu yang dipakai adalah suhu 950 °C. Waktu penahanan 25 menit dari perhitungan:

Dimana waktu penahanan :

1 jam per inchi (25,4 mm) ketebalan.

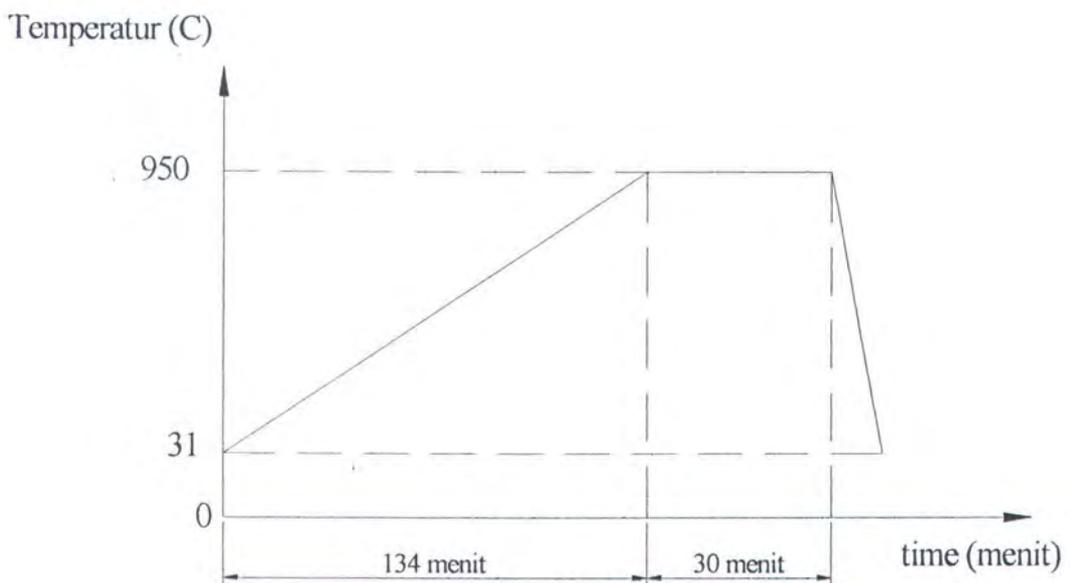
Tebal spesimen = 10 mm

Maka :

$$t = 10/25,4 \times 60 \text{ menit}$$

$$= 23,62 \text{ menit}$$

Diambil $t = 30 \text{ menit}$



Gambar 3.2. Grafik suhu PWHT

Data teknis Mesin Pemanas / Oven adalah sebagai berikut:

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

3.4.1. Proses Pendinginan

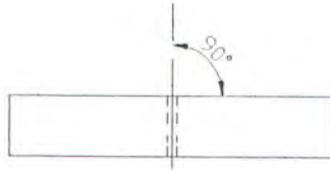
Proses pendinginan dilakukan setelah benda uji yang mengalami laku panas telah mencapai temperatur yang diinginkan dan ditahan. Proses pendinginan ini dilakukan dengan cepat (quenching) kurang dari 3 menit yaitu dengan menggunakan media air.

3.5. Pengujian Impact

3.5.1. Persiapan

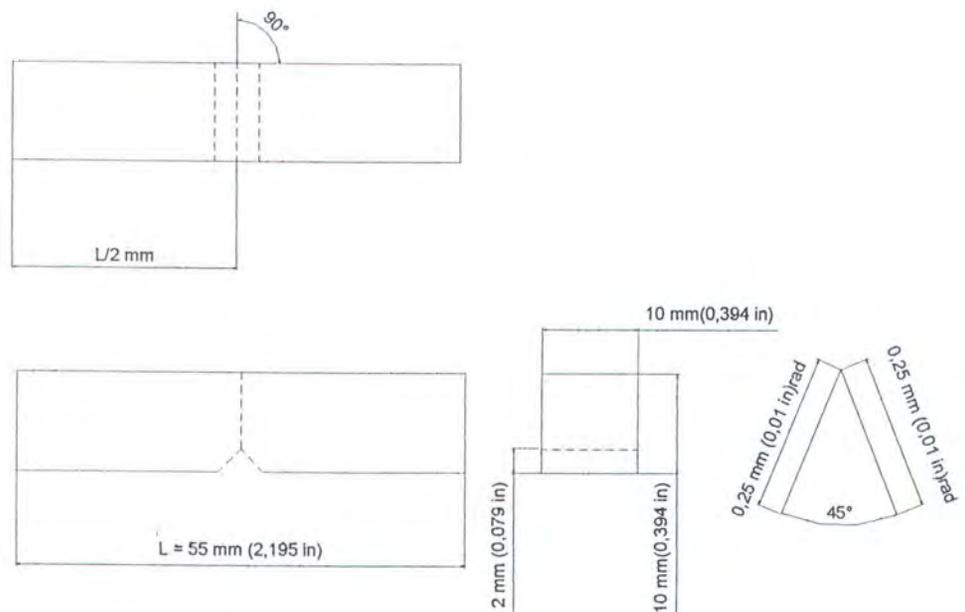
Pembuatan spesimen uji berdasarkan standard ASTM A 370

- Pembuatan notch spesimen uji dengan toleransi yang diijinkan adalah:
 - Sudut yang dibentuk antara pusat notch (ditarik garis vertikal) dengan bidang sisi datar adalah $90^0 \pm 10$ min



Gambar 3.3. Bidang sisi datar specimen

- Koreksi untuk ukuran melintang $\pm 0,025$ mm
- Koreksi untuk panjang spesimen $\pm 0, -2,5$ mm
- Koreksi untuk sudut notch $\pm 1^0$
- Koreksi untuk radius dari notch $\pm 0,025$ mm
- Koreksi jarak dari notch ke bottom $8 \pm 0,025$ mm
- Kekasaran yang diijinkan dari permukaan notch $1,6 \mu\text{m max}$
dan untuk permukaan lainnya $3,2 \mu\text{m}$



Gambar 3.4. Ukuran specimen dan notch



3.5.2. Suhu Pengujian

Suhu uji terbagi dua yaitu suhu cryogenic dan suhu panas / kamar

- Suhu cryogenic dibagi dua yaitu suhu -196°C dan suhu diatas -60°C
Untuk suhu -196°C diperoleh dengan cara menggunakan Nitrogen cair . Untuk suhu diatas -60°C dengan menggunakan kombinasi es kering (dry ice) dan alkohol.
- Suhu panas dengan menggunakan suhu kamar 30°C .

3.5.3. Pelaksanaan

- Berdasarkan ASTM, A 370, 25.1.1, spesimen yang sudah di PWHT dimasukkan kedalam media pengkondisi suhu dan ditahan selama ≥ 5 menit) karena media pengkondisi suhu adalah cair.
- Berdasarkan ASTM, A 370, 25.2.2, waktu yang diijinkan untuk mengangkat spesimen dari kondisi yang ditentukan sampai pendulum mengenai spesimen maximum 5 detik, jika waktunya lebih dari 5 detik maka harus dikondisikan lagi sesuai dengan suhu yang ditentukan.

3.6. Pengujian Kekerasan Vickers

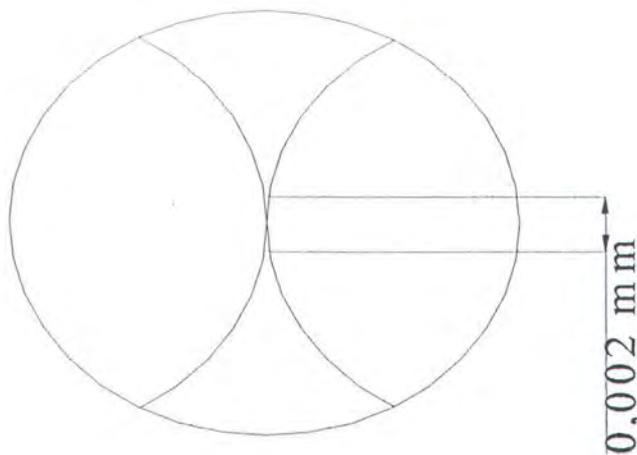
3.6.1. Persiapan

- Permukaan benda yang harus diuji harus halus dan bersih sehingga memudahkan untuk pengukuran diagonal penetrasi.
- Pengerjaan persiapan benda uji tidak boleh dilakukan dengan cara yang dapat menimbulkan pengaruh panas atau perubahan bentuk dingin pada permukaan benda yang akan diuji.
- Tebal benda uji harus cukup, sehingga setelah pengujian tidak memperlihatkan tanda-tanda deformasi pada permukaan.
- Sebelah atas dan bawah benda uji harus rata, sejajar, halus dan bersih atau harus diklem kokoh sehingga tidak mungkin bergerak.
- Benda uji harus terletak pada landasan yang kokoh dengan kedudukan yang tetap.
- Selama pembebanan berlangsung, mesin uji harus terhindar dari getaran-getaran dan sentakan-sentakan. Lamanya waktu pembebanan antara 10-15 detik.
- Pengukuran bekas penetrator dilakukan dengan jangka sorong yang sudah terpasang pada mesin uji.
- Jarak titik pusat dua buah bekas penetrator yang berdampingan tidak boleh kurang dari 4 kali panjang diagonal dan jarak titik pusat dengan sisi tidak boleh kurang dari 0,2 kali diagonal

- Untuk menentukan kekerasan dari suatu benda uji, harus diambil rata-rata dari 2 atau 3 kali uji.

3.6.2. Pelaksanaan

- Suhu uji dilakukan pada suhu kamar antara 27°C - 32°C
- Mesin uji harus kokoh, dipasang pada dasar yang kuat dan stabil berdiri tegak lurus serta dapat memberikan beban tekan yang diperlukan.
- Penetrator intan mempunyai bentuk piramid sempurna dengan penampang dasar bujur sangkar, sudut puncak antara dua bidang yang berhadapan adalah 136° dengan ketelitian $\pm 30\%$.
- Keempat sisi piramid mempunyai kemiringan yang sama terhadap sumbu dan bertemu pada satu titik apabila terjadi pertemuan antara dua bidang yang berupa garis potong, maka panjang garis-garis tersebut tidak diperkenankan lebih panjang dari 0,002 mm, seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Panjang garis potong pertemuan dua bidang kemiringan keempat sisi piramid

- Titik puncak piramida harus tajam sisi bidang-bidang piramida harus dipoles dan harus bersih serta bebas dari cacat permukaan.
- Mesin uji harus dikalibrasi menurut syarat-syarat yang ditentukan mesin uji Vickers.

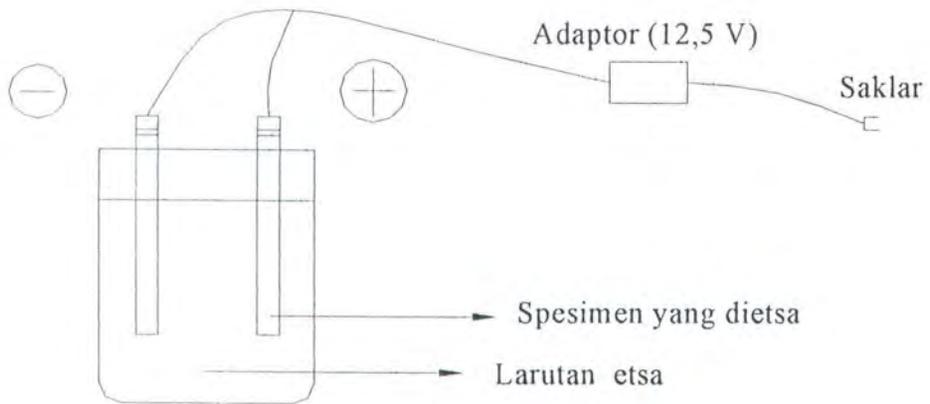
3.7. PENGUJIAN STRUKTUR MIKRO (METALOGRAFI)

Uji metalografi ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro material yang telah mengalami pengelasan, perlakuan panas atau perlakuan dingin.

3.7.1 Persiapan dan Pelaksanaan Uji

- Penghalusan permukaan
Spesimen digosok permukaannya dengan menggunakan kertas gosok kasar grid 3, 120, 180, 240, 320, 400 dan 600
- Penggosokan dan pemolesan dengan mesin polisher
Setelah digosok dengan grid 600 penggosokan dilanjutkan dengan menggunakan kertas gosok yang lebih halus lagi yaitu 800,1000,1200 dan 2000 diatas mesin polisher sampai permukaan spesimen mengkilat.
- Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, selanjutnya dilakukan penggosokan dengan menggunakan kain bludru yang ditaburi polishing powder (bubukan alumina)

- Setelah permukaan spesimen licin seperti kaca maka dilakukan elektrolisa selama ± 1 menit, skema elektro lisa dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Skema elektrolisa

Larutan yang digunakan untuk elektrolisa adalah:

- 15 ml Nitrid acid (HNO_3) 1,4
- 30 ml Hydrochloric acid (HCL) 1,19
- 45 ml Glycerol ($\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$)

- Benda uji yang telah mengalami etsa diamati dibawah mikroskop dengan perbesaran 400 kali, kemudian dilakukan pengambilan foto image struktur mikro melalui mikroskop optik. Gambar akhir yang dihasilkan berupa foto image yang akan digunakan sebagai input untuk proses analisa.

3.7.2. Perhitungan Ukuran butir (Grain Size)

Perhitungan ukuran butir (grain size) berdasarkan standard ASTM, Part 1-A, 1946 sesuai dengan tabel 3.4.

Dimana rata-rata jumlah butir tiap inchi kuadrat pada perbesaran 100 kali = 2^{n-1} , n = nomor indeks ukuran butir ASTM yaitu No.1 sampai No.8

Tabel 3.4. Data untuk ukuran butir austenitik menurut standard ASTM

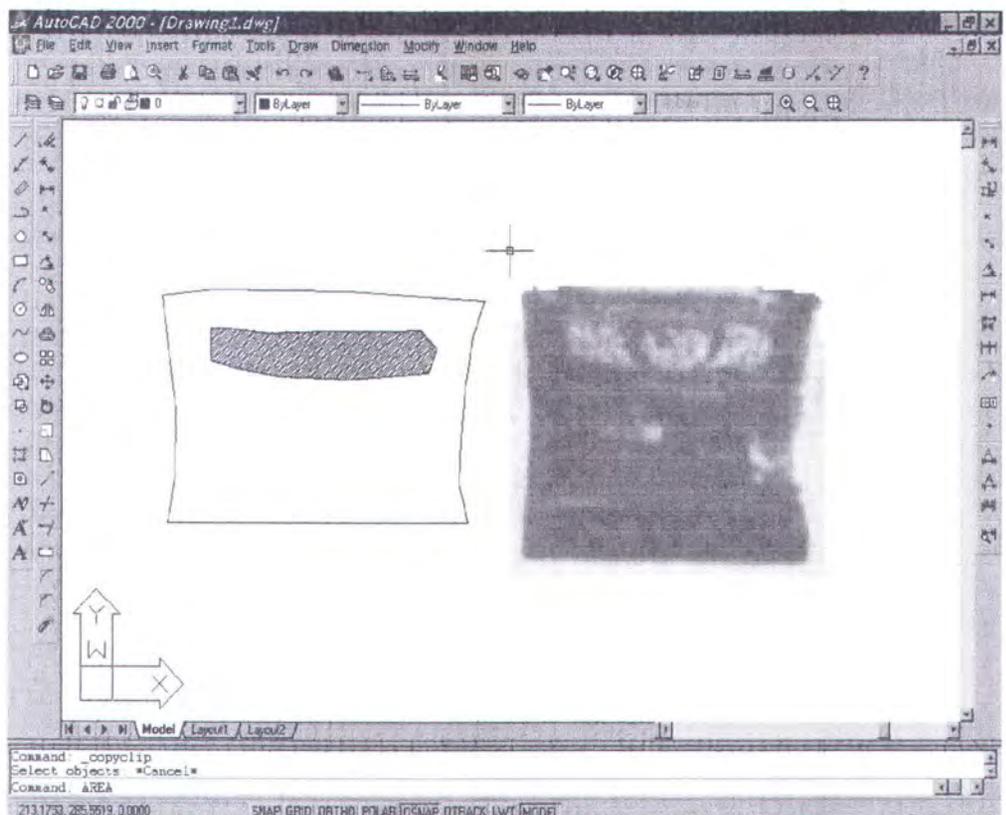
Nomor indeks ukuran butir ASTM	Jumlah butir tiap inchi kuadrat dengan perbesaran 100 x		Diameter butir (tidak diperbesar)		Rata-rata garis potong butir tiap inchi kuadrat
	Rata-rata	Kisaran	In	mm	
1	1	0.75-1.5	0.01130	0.287	10000E-8
2	2	1.5-3	0.0080	0.023	5000E-8
3	4	3-6	0.00567	0.144	250E-8
4	8	6-12	0.00400	0.101	125E-8
5	16	12-24	0.00283	0.0718	62.5E-8
6	32	24-48	0.00200	0.0507	31.3E-8
7	64	48-96	0.00142	0.0359	15.6E8
8	128	96-192	0.00100	0.0254	7.8E-8

Untuk menghitung jumlah butir dengan perbesaran 400 kali dapat dilakukan dengan cara membuat luasan 1x1 inchi kuadrat menjadi 4x4 inchi kuadrat. Alat yang digunakan untuk menghitung ukuran butir dengan cepat dan akurat sesuai dengan standard ASTM yaitu *special microscope grain size eyepiece*. Dimana alat ini mempunyai 8 disket, yang tiap disketnya mempunyai luasan buitrans sesuai dengan standard

ASTM No.1 sampai No.8. Disket ini berguna untuk mencocokkan luasan butiran spesimen dengan luasan butiran di tiap disket.

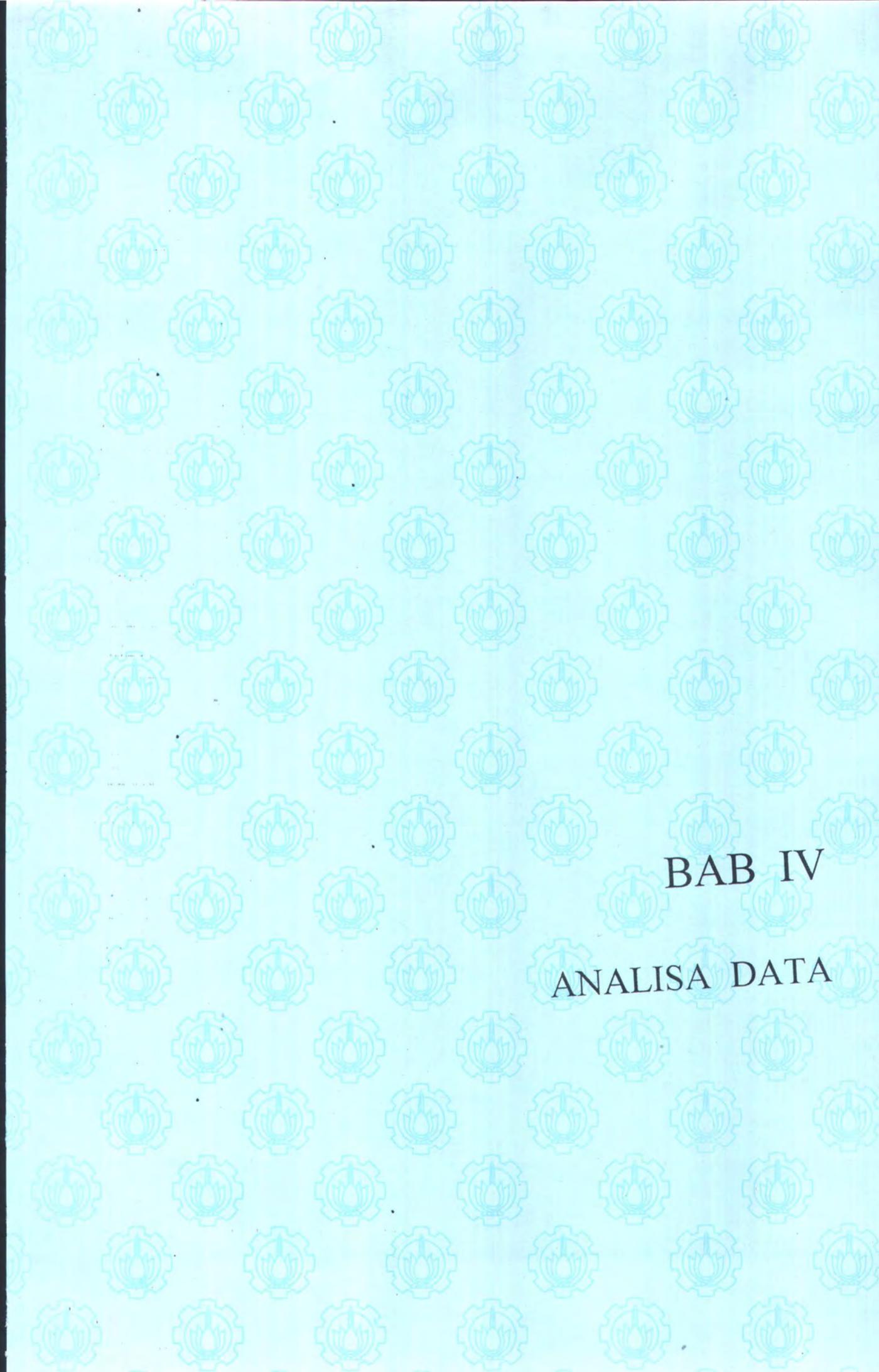
3.8. PERHITUNGAN SHEAR FRACTURE

- Perhitungan shear fracture diperoleh dengan membandingkan luasan daerah yang mengkilap dengan luas spesimen setelah diuji.
- Spesimen setelah diuji lalu difoto dan foto tersebut dicopy ke Auto Cad lalu dihitung luas spesimen dan luas shear fracture-nya seperti gambar dibawah :



Gambar 3.7. Luas penampang spesimen setelah diuji

- Kriteria suhu transisi yang digunakan adalah kepecahan yang menunjukkan 100 % kepecahan berserat (fibrous fracture) pada temperature terendah dan kepecahan yang menunjukkan 50 % daerah berkristal (shiny) dan 50% daerah berserabut (fibrous fracture)



BAB IV

ANALISA DATA

BAB IV

ANALISA DATA

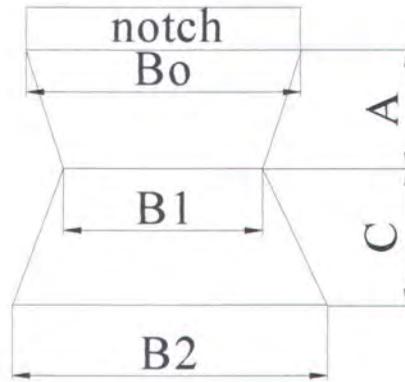
4.1. Hasil Uji Impact dan Perhitungan Shear Fracture

Dari hasil pengujian impact Charpy V-notch yang telah dilakukan di Laboratorium Pengujian Material PT. Petrokimia Gresik diperoleh data – data hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 4.1. Energi absorb pada beberapa macam variasi suhu pengujian impact AISI 304 setelah diannealing.

Base Metal		Weld Metal		HAZ	
Suhu (°C)	Energi Absorb (J)	Suhu (°C)	Energi Absorb (J)	Suhu (°C)	Energi Absorb (J)
-196	135	-196	148	-196	130
-180	138	-180	152	-180	135
-160	144	-160	158	-160	138
-140	148	-140	162.5	-140	144
-120	156	-120	165	-120	151
-100	162	-100	168.5	-100	157.5
-80	166	-80	171	-80	164
-60	174	-60	176.5	-60	170
-40	184	-40	188	-40	178
-20	193.5	-20	195	-20	188
0	207.5	0	210	0	197
30	216	30	222.5	30	213

Untuk menghitung shear fracture dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah dijelaskan pada metodologi penelitian. Asumsi perhitungan luas spesimen setelah diuji dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Asumsi perhitungan luas spesimen setelah diuji

Tabel 4.2. Perhitungan shear fracture pada base metal

Suhu (°C)	B ₀ (mm)	B ₁ (mm)	B ₂ (mm)	A (mm)	C (mm)	Luas (mm ²)	Shiny Area (mm ²)	%Shear fracture (%)
30	10	9.10	11.55	2.85	5.15	80.39	0	100
0	10	9.15	11.40	2.90	5.10	80.17	0	100
-20	10	9.20	11.25	3.00	5.00	79.93	0	100
-40	10	9.20	11.20	2.90	5.10	79.86	0	100
-60	10	9.30	11.10	3.10	4.90	79.89	0	100
-80	10	9.40	10.85	3.00	5.00	79.73	0	100
-100	10	9.55	10.70	3.20	4.80	79.88	0	100
-120	10	9.60	10.65	3.00	5.00	80.03	0	100
-140	10	9.65	10.50	3.10	4.90	79.83	0	100
-160	10	9.70	10.40	3.10	4.90	79.78	0	100
-180	10	9.70	10.30	3.20	4.80	79.52	18.56	76.66
-196	10	9.80	10.20	3.20	4.80	79.68	22.50	71.76

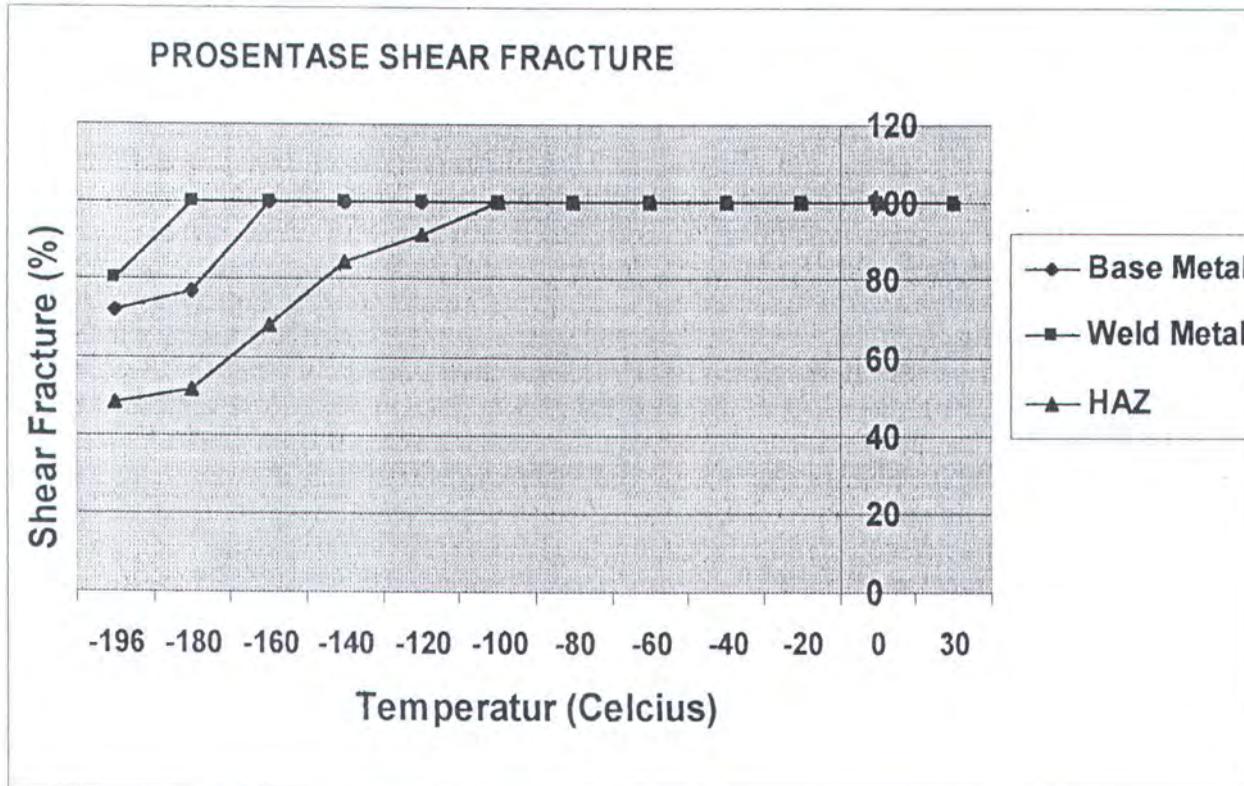
Tabel 4.3. Perhitungan shear fracture pada weld metal

Suhu (°C)	B0 (mm)	B1 (mm)	B2 (mm)	A (mm)	C (mm)	Luas (mm ²)	Shiny Area (mm ²)	%Shear fracture (%)
30	10	8.40	12.15	2.50	5.50	79.51	0	100
0	10	8.60	12.10	2.55	5.45	80.12	0	100
-20	10	8.65	12.00	2.60	5.40	80.00	0	100
-40	10	8.75	11.90	2.55	5.45	80.17	0	100
-60	10	8.80	11.75	2.60	5.40	79.92	0	100
-80	10	8.95	11.65	2.65	5.35	80.21	0	100
-100	10	9.10	11.50	2.70	5.30	80.38	0	100
-120	10	9.10	11.35	2.75	5.25	79.94	0	100
-140	10	9.15	11.10	2.70	5.30	79.52	0	100
-160	10	9.25	11.00	2.85	5.15	79.58	0	100
-180	10	9.30	10.80	2.85	5.15	79.26	0	100
-196	10	9.45	10.55	2.90	5.10	79.20	15.65	80.24

Tabel 4.4. Perhitungan shear fracture pada daerah HAZ

Suhu (°C)	B0 (mm)	B1 (mm)	B2 (mm)	A (mm)	C (mm)	Luas (mm ²)	Shiny Area (mm ²)	%Shear fracture (%)
30	10	9.20	11.40	2.80	5.20	80.44	0	100
0	10	9.25	11.30	2.85	5.15	80.35	0	100
-20	10	9.30	11.20	3.10	4.90	80.15	0	100
-40	10	9.40	11.10	3.00	5.00	80.35	0	100
-60	10	9.40	11.00	3.10	4.90	80.05	0	100
-80	10	9.50	10.80	3.10	4.90	79.96	0	100
-100	10	9.60	10.70	3.00	5.00	80.15	0	100
-120	10	9.65	10.60	3.20	4.80	80.04	6.75	91.56
-140	10	9.70	10.45	3.30	4.70	79.86	12.24	84.67
-160	10	9.75	10.30	3.20	4.80	79.72	25.64	67.83
-180	10	9.80	10.20	3.30	4.70	79.67	38.65	51.48
-196	10	9.90	10.10	3.30	4.70	79.84	41.56	47.95

Hubungan antara temperatur dan shear fracture pada daerah base metal, weld metal dan heat effective zone (HAZ) dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Kurva hubungan temperatur dan shear fracture pada baja AISI 304 setelah diannealing

4.2. Analisa data uji impact dan shear fracture

Dari data hasil uji impact pada tabel 4.1. dapat diketahui bahwa energi tertinggi yang diserap (energi absorb) spesimen uji impact baja AISI 304 yang takiknya terdapat pada logam las (weld metal), diikuti oleh logam induk (base metal) dan daerah HAZ. Dimana energi absorb logam las > logam induk > HAZ. Dari hasil shear fracture pada kondisi suhu

cryogenic juga memperlihatkan bahwa daerah HAZ memiliki prosentase shear fracture yang paling rendah. Hal ini disebabkan karena pada daerah HAZ mengalami daerah temperatur sensitis atau *weld decay* (400°C - 800°C) pada saat pengelasan. Dimana pada daerah tersebut akan menyebabkan terjadinya pengendapan (presipitasi) karbida krom (Cr_{23}C_6) dimana sifat karbida krom dapat menyebabkan material menjadi getas dan keras selain itu juga dapat menurunkan ketahanan korosi. Meskipun sudah dilakukan post heat treatment yaitu annealing pada baja AISI 304 untuk mendorong terjadinya pencairan (dissolute) kromium karbida (Cr_{23}C_6) dan mengembalikan kadar kromium pada daerah didekat batas butir tetapi hal ini tidak menyebabkan perubahan sifat mekanis yang besar khususnya pada daerah HAZ.

Pada logam las (weld metal) energi absorpsi dan prosentase shear fracture-nya paling tinggi dari logam dasar (base metal) dan daerah pengaruh panas (HAZ). Fenomena tersebut dapat dijelaskan melalui teori mekanisme penguatan daerah logam las. Menurut teori tersebut, pada baja tahan karat jenis austenitik sifat-sifat logam lasnya terutama kekuatan biasanya dikendalikan oleh mekanisme penguatan larutan padat dan pengaruh penguatan partikel-partikel halus. Pada keadaan ini, kandungan unsur mangan (Mn) pada logam las menjadi lebih tinggi dibandingkan logam induk meskipun kandungan karbonnya lebih rendah. Adanya kadar Mn yang lebih tinggi tersebut mengakibatkan ketangguhan logam las

meningkat karena unsur Mn berfungsi memperbaiki sifat ketangguhan logam.

Dari prosentase shear fracture pada logam induk, logam las dan daerah pengaruh panas (HAZ) dapat dilihat bahwa sifat kepecahan bersifat ductile (ulet). Hal ini terjadi karena adanya proses laku panas pada baja AISI 304.

Untuk menghitung suhu transisi dapat dilakukan dengan kriteria sebagai berikut:

1. Suhu terendah saat spesimen memperlihatkan kepecahan berserat (fibrous fracture) 100%
2. Suhu dimana permukaan kepecahan memperlihatkan 50% berserat dan 50% kristal.

Untuk kriteria yang pertama diperoleh suhu transisi sebagai berikut :

- Untuk logam induk : -160°C
- Untuk logam las : -180°C
- Untuk daerah HAZ : -100°C

Untuk kriteria yang kedua, pada daerah logam induk dan logam las tidak mengalami suhu transisi, sebab pada kedua daerah tersebut masing-masing pada suhu 196°C harga shear fracture-nya 71.76% dan 80.24%.



Sedangkan untuk daerah pengaruh panas (HAZ) suhu transisi terjadi pada interval suhu -180°C sampai suhu -196°C .

Untuk mengetahui suhu transisi maka dapat dilakukan dengan metode interpolasi Newton orde I :

$$f_{1(x)} = f_{(x_0)} + ((f_{(x_1)} - f_{(x_0)}) / (x_1 - x_0)) \cdot (x - x_0)$$

Dimana ;

$$X = 50 \%$$

$$X_0 = 51.48 \%$$

$$X_1 = 47.95 \%$$

$$f_{(x_0)} = -180$$

$$f_{(x_1)} = -196$$

$$f_{(50)} = -180 + ((-196 + 180) / (47.95 - 51.48)) \cdot (50 - 51.48)$$

$$f_{(50)} = -186.71^{\circ}\text{C}$$

Kedua kriteria tadi dapat dibuat dalam table sebagai berikut:

Tabel 4.5. Suhu transisi pada baja AISI 304 setelah diannealing

SUHU TRANSISI			
KRITERIA PERTAMA		KRITERIA KEDUA	
Base Metal	-160°C	Base Metal	Tidak mengalami
Weld Metal	-180°C	Weld Metal	Tidak mengalami
HAZ	-100°C	HAZ	-186.71°C

Dari tabel 4.5. diatas dapat dilihat bahwa suhu transisi baja AISI 304 rendah. Hal ini disebabkan oleh adanya proses laku panas yaitu annealing pada baja AISI 304 yang menyebabkan baja ini menjadi lebih lunak.

Karena suhu transisi menunjukkan suhu terjadinya transisi dari kepecahan ulet ke kepecahan getas, maka untuk pengoperasian baja AISI 304 yang dilas pada suhu cryogenic dapat memperhatikan suhu transisi diatas, dimana untuk konstruksi yang mengalami tekanan atau beban yang sangat besar saat dioperasikan pada suhu cryogenic diambil suhu transisi yang paling tinggi dari kedua kriteria diatas yaitu pada kriteria pertama di daerah HAZ dengan suhu -100°C . Dan untuk konstruksi yang mengalami tekanan atau beban yang tidak begitu besar pada saat digunakan pada suhu cryogenic dapat diambil suhu transisi yang rendah yaitu sebesar -186.71°C . Walaupun demikian untuk menghindari hal – hal yang tidak diinginkan dalam pengoperasian baja AISI 304 yang dilas pada suhu cryogenic diambil suhu transisi yang paling aman yaitu pada suhu -100°C dimana hal ini tergantung dari pihak perencana konstruksi atas pertimbangan-pertimbangan yang ada.

4.3. Analisa hasil uji foto mikro

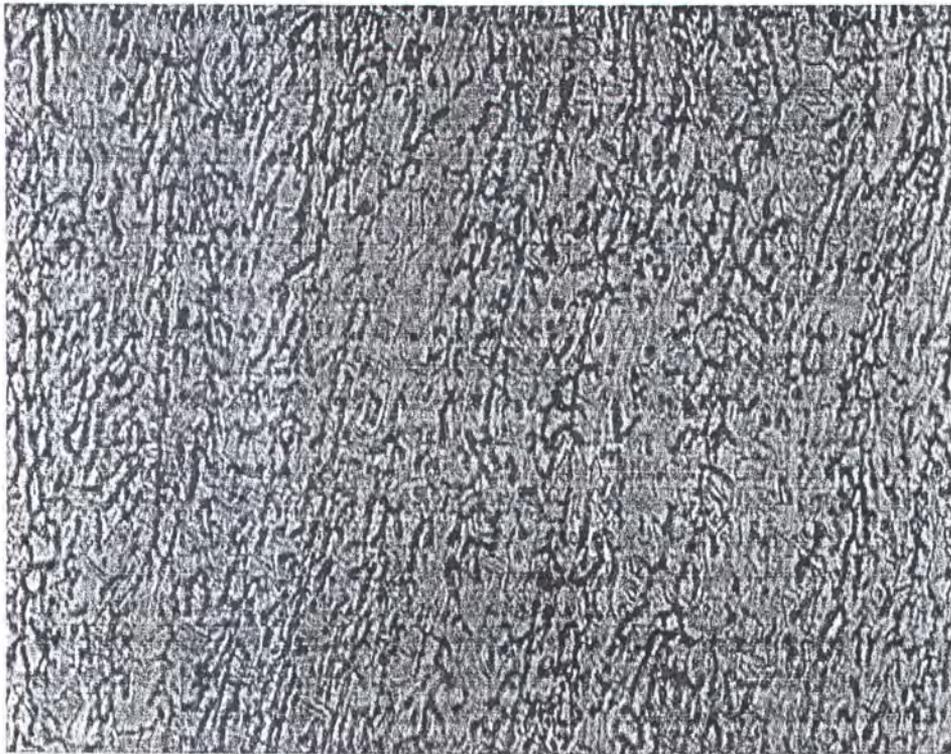
Dari hasil pengujian foto mikro pada daerah logam induk, logam las dan daerah pengaruh panas (HAZ) baja tahan karat AISI 304 setelah diannealing diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 4.3. Mikrostruktur base metal baja AISI 304 setelah diannealing (perbesaran 400 kali)

Gambar 4.3. menunjukkan mikrostruktur dari logam dasar/induk baja AISI 304 dimana tampak dalam gambar ini terbentuknya butir-butir baru berbentuk equiaxe yang menunjukkan logam merupakan suatu hasil pekerjaan panas [Metals Handbook Vol.7, 1973]. Butir-butir equiaxe yang baru terbentuk ini menyebabkan terjadinya penurunan nilai

kekerasan dan kekuatan logam. Dari perhitungan ukuran butir diperoleh jumlah butir 189, sehingga indeks ukuran butir menurut ASTM jatuh pada No.8. Suatu butir dikatakan halus menurut ASTM bila ukuran butir (grain size) terletak antara No.5 –No.8. Jumlah butir yang banyak akan menyebabkan material semakin ulet, dimana hal ini disebabkan oleh adanya pembentukan butir-butir baru yang equiaxe akibat dari proses perlakuan panas pada logam dasar.



Gambar 4.4. Mikrostruktur weld metal baja AISI 304 setelah diannealing
(perbesaran 400 kali)

Gambar 4.4. menunjukkan mikrostruktur logam las baja AISI 304 yang mempunyai struktur dendritik. Mikrostruktur ini terdiri dari matrik austenite dan ferrite dendrite [Metals Handbook Vol.7, 1973]. Akibat dari perlakuan panas yaitu annealing terjadi penguatan struktur solidifikasi, kandungan unsur mangan (Mn) pada logam las lebih tinggi dari logam induk. Adanya kadar Mn yang lebih tinggi tersebut mengakibatkan ketangguhan logam las menjadi meningkat. Karena unsur Mn berfungsi memperbaiki sifat ketangguhan logam.



Gambar 4.5. Mikrostruktur daerah pengaruh panas (HAZ) baja AISI 304 setelah diannealing (perbesaran 400 kali)

Gambar 4.5. menunjukkan mikrostruktur dari daerah pengaruh panas (HAZ) yang terjadi pada saat pengelasan baja ini. Panas pengelasan menyebabkan daerah ini berada pada suatu temperatur sensitis (400°C - 800°C) yang mendorong terbentuknya presipitasi fase chromium carbide (Cr_{23}C_6) [Metals Handbook Vol.7, 1973]. Bintik-bintik hitam pada batas butir dan pada bidang-bidang slip menunjukkan adanya presipitasi karbida. Meskipun pada baja ini sudah dilakukan proses laku panas yaitu annealing tetapi hanya memberikan penurunan kekerasan yang sedikit pada mikrostruktur daerah HAZ, sehingga daerah HAZ ini tetap merupakan daerah yang paling getas (brittle).

Gambar 4.5. juga menunjukkan mikrostruktur perbatasan antara daerah pengaruh panas dan logam lasan. Tampak dalam gambar ini proses rekristalisasi yang telah sempurna ditandai dengan terbentuknya butir-butir yang bebas regangan dan berukuran besar. Tampak dalam gambar ini adanya presipitasi karbida dalam jumlah yang kecil; proses perlakuan panas dan pendinginan yang cepat yang dialami daerah ini pada rentang temperature sensitis tidak memberi kesempatan terbentuknya presipitasi karbida krom (Cr_{23}C_6) dalam jumlah yang besar. Dapat dilihat pada mikrograhp ini garis fusi yang merupakan batas antara daerah pengaruh panas dan daerah lasan. Batas ini ditunjukkan dengan perubahan dari struktur kristal daerah pengaruh panas yang equiaxe, menjadi struktur dendritik yang merupakan karakteristik daerah lasan.

Dari hasil uji foto mikro diatas dapat diketahui bahwa daerah HAZ merupakan daerah yang paling rendah ketahanan korosinya akibat adanya presipitasi karbida krom (Cr_{23}C_6) pada batas-batas butir dimana hal ini dapat menyebabkan terjadinya korosi intergranular apabila baja tersebut berada dalam suatu larutan korosif. Selain itu presipitasi karbida krom (Cr_{23}C_6) yang bersifat keras dan getas dapat menyebabkan turunnya ketangguhan baja.

4.4. Analisa uji kekerasan

Dari pengujian kekerasan Vickers diperoleh data :

$$P = 10 \text{ kg}$$

$$t = 15 \text{ detik}$$

Tabel 4.6. Hasil uji kekerasan Vickers baja AISI 304 setelah diannealing

Bagian	Pengujian I (kg/mm^2)	Pengujian II (kg/mm^2)	Rata-Rata (kg/mm^2)	Simbol
Logam dasar	197	199	198	198 HV 10
Logam las	182	175	178.5	178.5 HV 10
HAZ	212	215	213.5	213.5 HV 10

Jadi dapat diurutkan nilai kekerasan vickers untuk baja AISI 304 dengan perlakuan yaitu:

$$\text{Logam las} < \text{Logam dasar} < \text{HAZ}$$

Tabel 4.7. Hasil uji kekerasan Vickers baja AISI 304 tanpa perlakuan

	Pengujian I (kg/mm ²)	Pengujian II (kg/mm ²)	Rata-Rata (kg/mm ²)
Logam dasar	211	215	213
Logam las	220	231	225.5
HAZ	230	226	228

Untuk baja AISI 304 tanpa perlakuan dapat diurutkan nilai kekerasan Vickers sebagai berikut :

Logam dasar < Logam las < HAZ

Tabel 4.8. Prosentase penurunan nilai kekerasan baja AISI 304 akibat diberi perlakuan panas (annealing)

Bagian	Nilai kekerasan Vickers baja AISI 304 (kg/mm ²)		Selisih nilai kekerasan (kg/mm ²)	Prosentase penurunan nilai kekerasan Vickers (%)
	Tanpa perlakuan	Dengan perlakuan		
Logam dasar	213	198	15	7,04
Logam las	225.5	178.5	47	20,84
HAZ	228	213.5	14.5	6,36

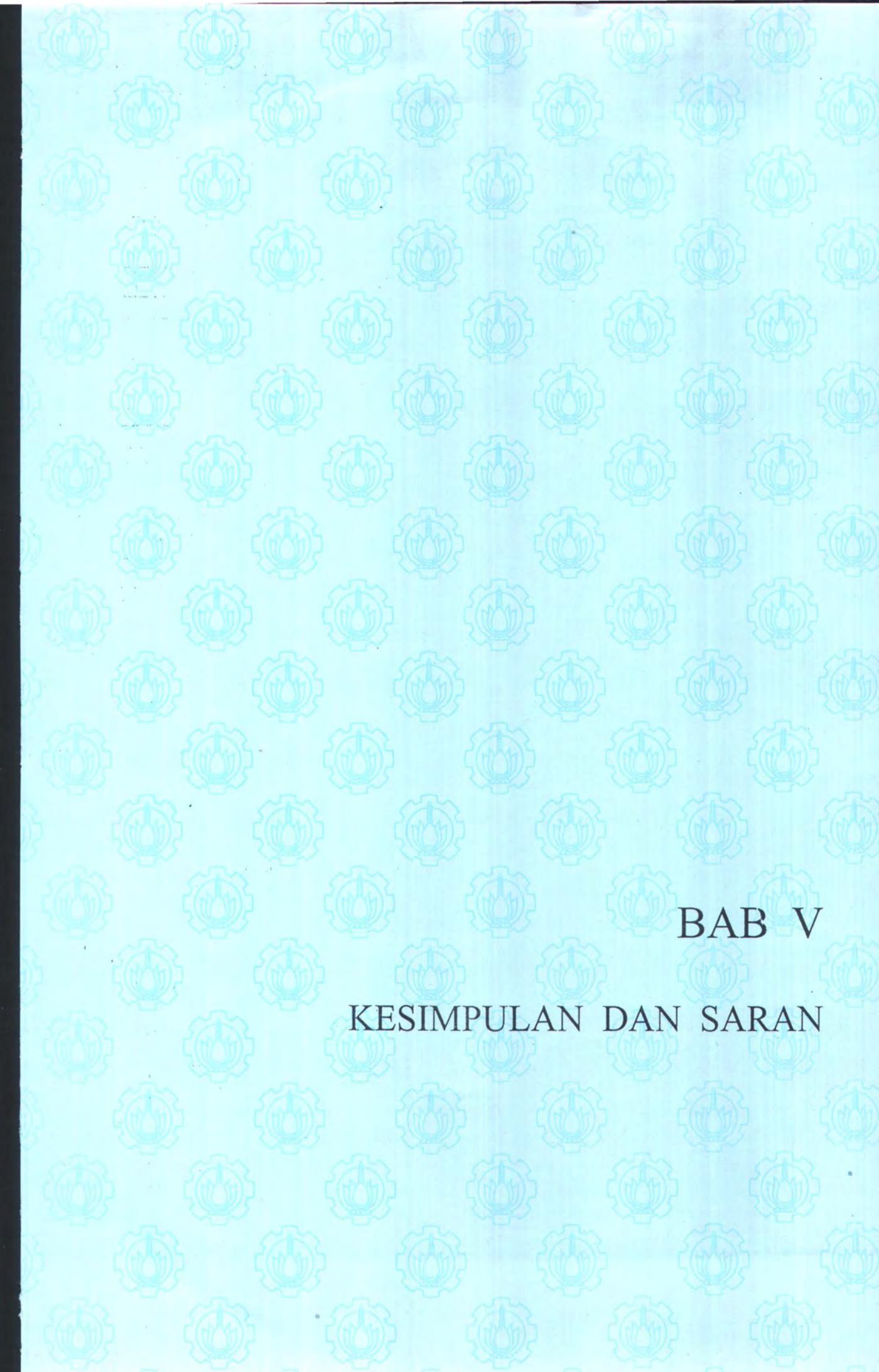
Dari tabel 4.8 diperoleh data penurunan nilai kekerasan baja AISI 304 akibat diberi perlakuan panas (annealing) untuk logam dasar sebesar 7,04 %, logam las sebesar 20,84 % dan daerah HAZ sebesar 6,36 %.

Dari hasil data uji kekerasan diatas dapat diketahui bahwa nilai kekerasan pada baja AISI 304 yang diberi perlakuan panas (annealing) lebih rendah daripada nilai kekerasan pada baja AISI 304 tanpa perlakuan. Hal ini terjadi karena apabila suatu logam mengalami suatu pemanasan diatas suhu rekristalisasi, maka akan terbentuk suatu butir-butir baru yang equiaxe yang berakibat pada turunnya nilai kekerasan dan kekuatan logam.

Dari data diatas juga dapat diketahui bahwa uji kekerasan vickers pada baja AISI 304 baik dengan perlakuan panas maupun tanpa perlakuan panas, daerah HAZ merupakan daerah yang paling keras dan getas karena nilai kekerasan vickersnya paling besar.

Terdapat perbedaan nilai kekerasan Vickers terkecil antara baja AISI 304 dengan perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas yaitu baja AISI 304 yang diberi perlakuan panas pada logam las (weld metal) yang mempunyai nilai kekerasan vickers yang terkecil sedangkan baja AISI 304 tanpa perlakuan nilai kekerasan Vickers terkecil terdapat pada logam induk , fenomena tersebut dapat dijelaskan melalui teori mekanisme penguatan daerah logam las. Menurut teori tersebut, pada baja tahan karat jenis austenitik sifat-sifat logam lasnya terutama kekuatan biasanya dikendalikan oleh mekanisme penguatan larutan padat dan pengaruh penguatan partikel-partikel halus. Pada keadaan ini, kandungan unsur mangan (Mn) pada logam las menjadi lebih tinggi dibandingkan logam

induk meskipun kandungan karbonnya lebih rendah. Adanya kadar Mn yang lebih tinggi tersebut mengakibatkan ketangguhan logam las meningkat karena unsur Mn berfungsi memperbaiki sifat ketangguhan logam. Ketangguhan yang tinggi ini mengakibatkan kekerasan pada logam las menurun.



BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari pengujian impak, uji foto mikro dan uji kekerasan Vickers, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut yaitu :

- Daerah pengaruh panas (HAZ) merupakan daerah yang mempunyai ketahanan korosi dan ketangguhan yang paling rendah, selain itu daerah ini mempunyai sifat kekerasan yang paling tinggi daripada logam las dan logam induk sehingga daerah HAZ merupakan daerah yang paling getas bila dioperasikan pada suhu cryogenic. Hal ini disebabkan oleh adanya presipitasi karbida krom ($Cr_{23}C_6$) pada batas-batas butir yang terjadi pada saat daerah ini mengalami temperatur sensitis ($400^{\circ}C-800^{\circ}C$).
- Proses perlakuan panas yaitu annealing pada baja AISI 304 tidak memberikan pengaruh yang begitu berarti pada perubahan mikrostruktur daerah HAZ . Tetapi dengan proses laku panas ini, memberikan penurunan kekerasan dimana dapat dilihat dari hasil uji kekerasan Vickers baja AISI 304 , yang diberi perlakuan panas lebih

rendah nilai kekerasannya daripada tanpa perlakuan panas. Dimana penurunan nilai kekerasan baja AISI 304 akibat diberi perlakuan panas (annealing) untuk logam dasar sebesar 7,04 %, logam las sebesar 20,84 % dan daerah HAZ sebesar 6,36 %.

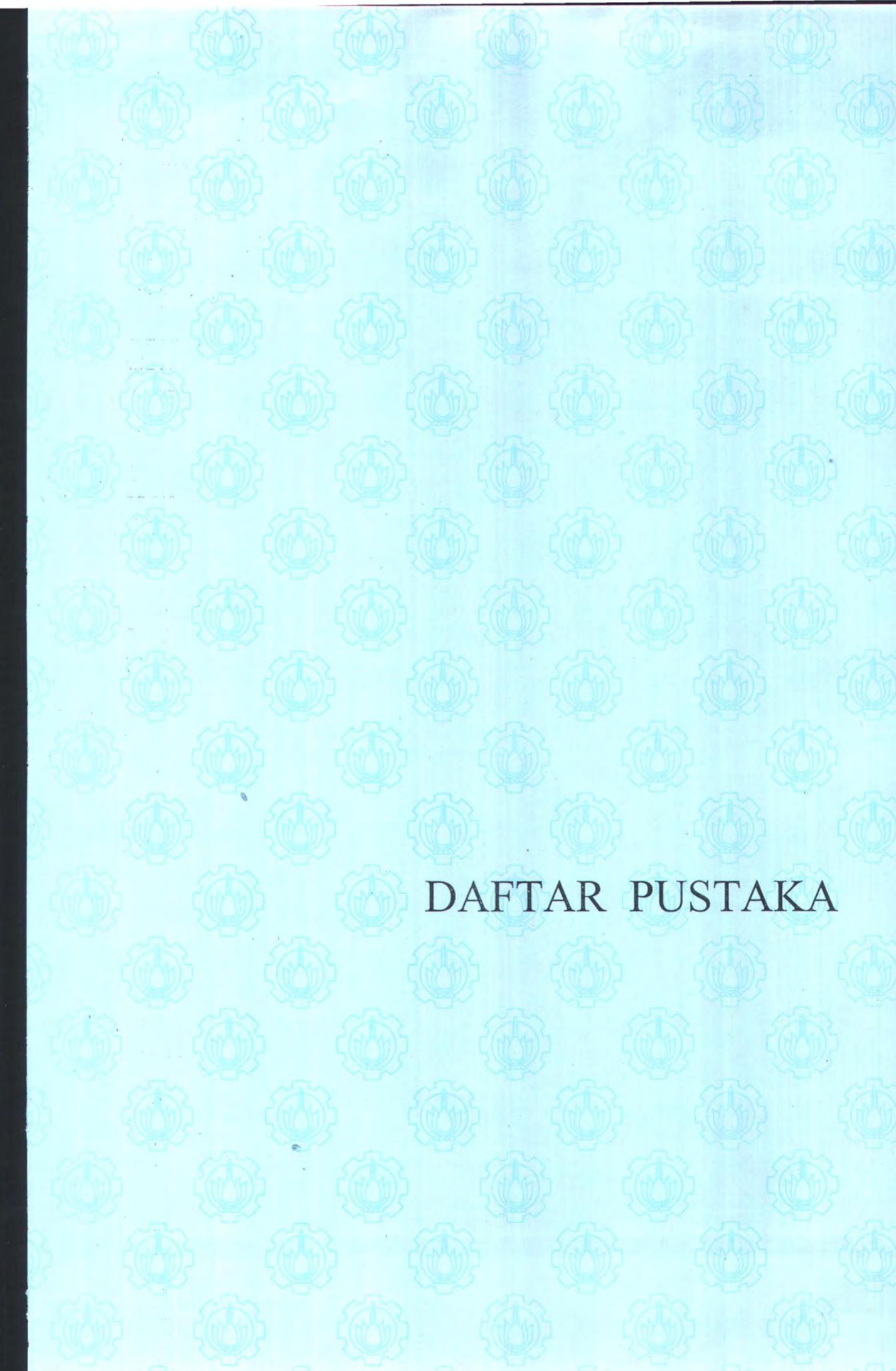
- Suhu transisi adalah suhu yang menunjukkan terjadinya transisi dari kepecahan ulet ke kepecahan getas, maka untuk pengoperasian baja AISI 304 yang dilas pada suhu cryogenic harus memperhatikan suhu transisi, dimana untuk konstruksi yang mengalami tekanan atau beban yang sangat besar saat dioperasikan pada suhu cryogenic diambil suhu transisi yang paling tinggi dari kedua kriteria yang ada yaitu pada kriteria pertama di daerah HAZ dengan suhu -100°C . Dan untuk konstruksi yang mengalami tekanan atau beban yang tidak begitu besar pada saat digunakan pada suhu cryogenic dapat diambil suhu transisi yang rendah yaitu sebesar -186.71°C . Walaupun demikian untuk menghindari hal – hal yang tidak diinginkan dalam pengoperasian baja AISI 304 yang dilas pada suhu cryogenic diambil suhu transisi yang paling aman yaitu pada suhu -100°C dimana hal ini tergantung dari pihak perencana konstruksi atas pertimbangan-pertimbangan yang ada.



5.2. SARAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilaksanakan serta kesimpulan yang didapat dalam penulisan tugas akhir ini, maka diberikan saran-saran sebagai berikut:

- Hasil pengujian impak sangat dipengaruhi oleh ukuran spesimen dan ukuran takik (notch), oleh karena itu diperlukan suatu alat yang khusus untuk membuat spesimen impak dengan ukuran spesimen dan ukuran takik (notch) yang lebih akurat sesuai dengan standard yang dipakai.
- Perlu dilakukan pengujian yang sama untuk jenis material-material yang lain, terutama material-material yang banyak digunakan dalam industri pembuatan konstruksi dan sensitif terhadap kepecahan getas.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

American Society for Metals (ASM), Atlas of Microstructure of Industrial Alloys, Metal Handbook Volume 7, AWS, 1973.

Annual Book of ASTM Standards, Iron and Steel Products, Philadelphia, 2002.

Avner, Sidney H, Introduction to Physical Metallurgy, McGraw Hill International, Singapore, 1974.

Croft, D.N., Heat Treatment of Welded Steel Structures, Abington Publishing, 1966.

Devies, Troxell, Wokocil, Principle of Testing and Inspection, McGraw Hill Book Company. Inc.1977.

Esterling, Kenneth, Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1992.

Fontana, Mars Guy, Corrosion Engineering, McGraw Hill Book Company, New York, 1987.

George, J.F., The Wrought Stainless Steel, McGraw Hill, Int. Book Company, New York, 1977.

John, A.S., Corrosion of Stainless Steel, John Willey and Sons, New York 1977.

McClintock, M., Cryogenics, Reinhold, New York, 1964.

Peckner, Donald and I.M. Bernstein, Handbook of Stainless Steels, McGraw Hill Book Company, New York, 1977.

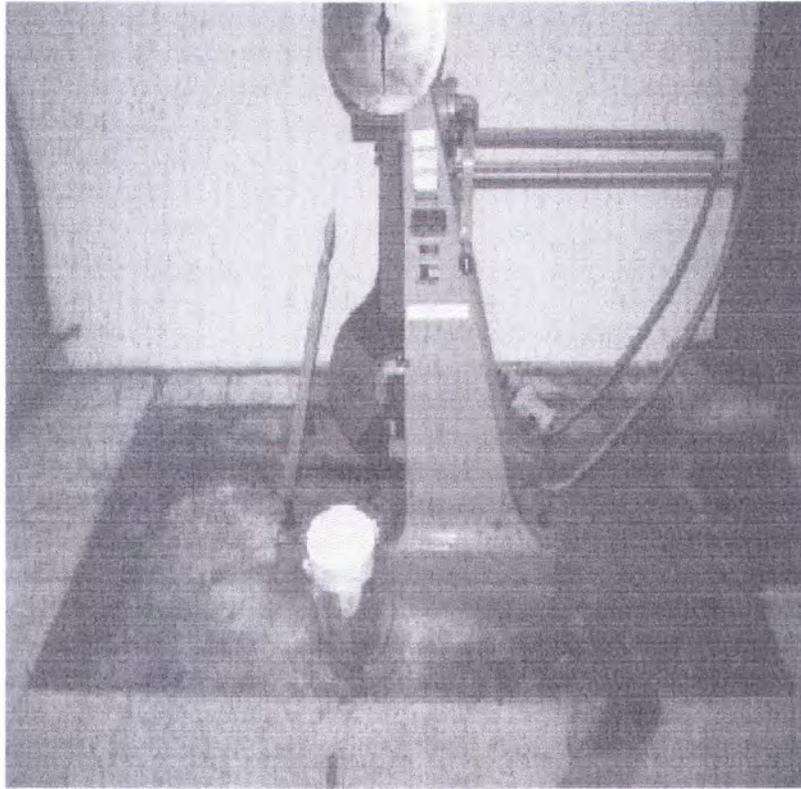
Richards, K.G., Brittle Fracture of Welded Structures, the Welding Institute, Cambridge, U.K., 1971.

Toshie Okumura dan Harsono W., Teknologi Pengelasan Logam, PT Pradya Paramita, 1981.

Viswanathan, R., Damage Mechanisms and Life Assesment of High-Temperature Components, ASM Internationa, Metal Park, Ohio, 1989.

Wahid Suherman, I.r., Perlakuan Panas, Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, 1998.

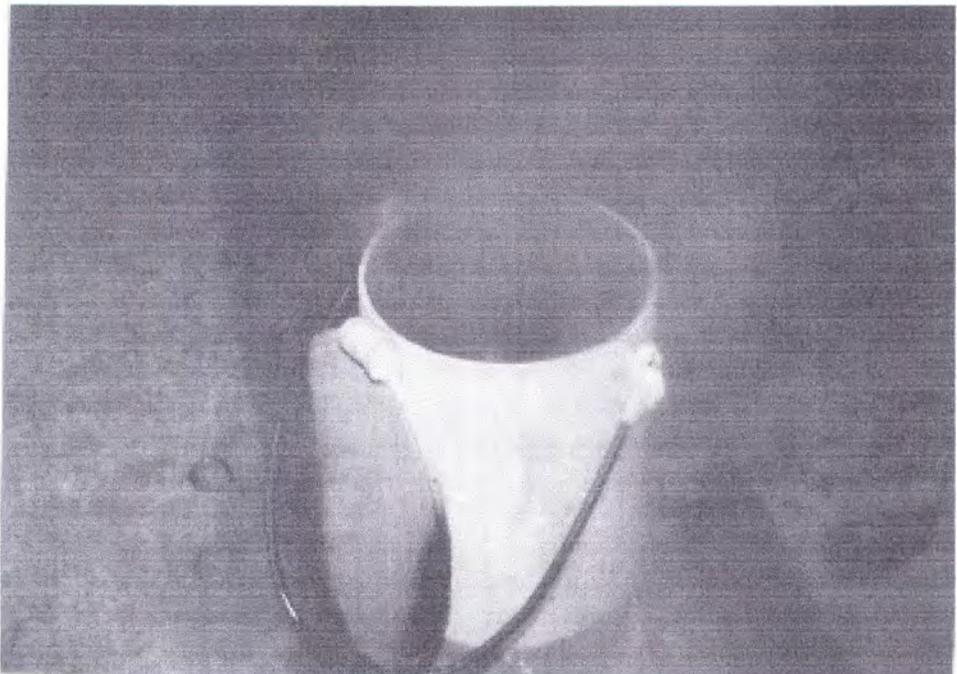
Weisman, Charlotte, Fundamentals of Welding, American Soceity, Miami, Florida, 1976.



Gambar 1. Mesin Uji Impak dan Nitrogen Cair



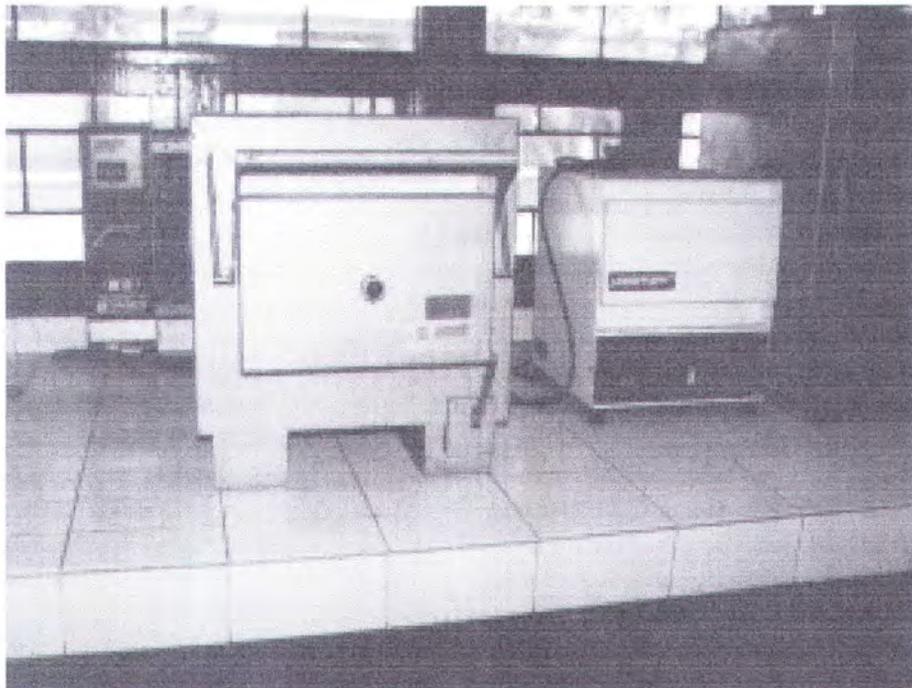
Gambar 2. Dry ice dan Alkohol



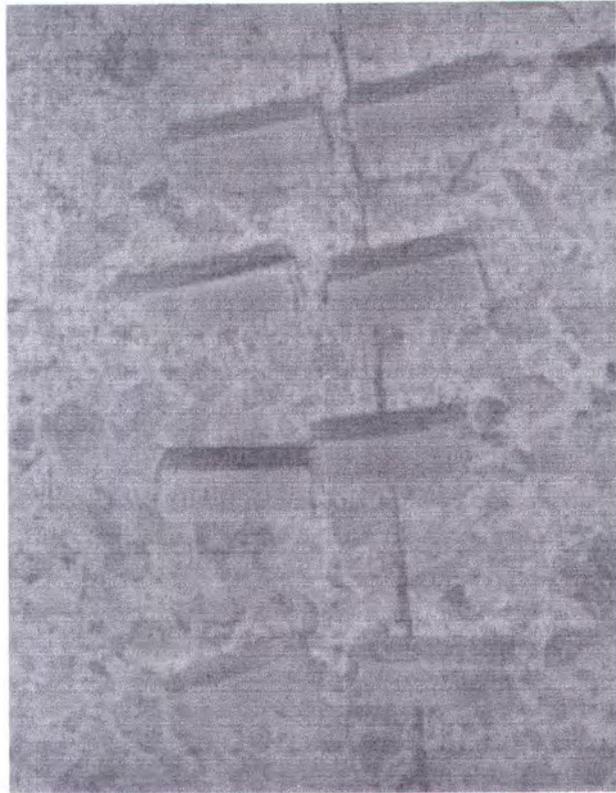
Gambar 3. Nitrogen cair



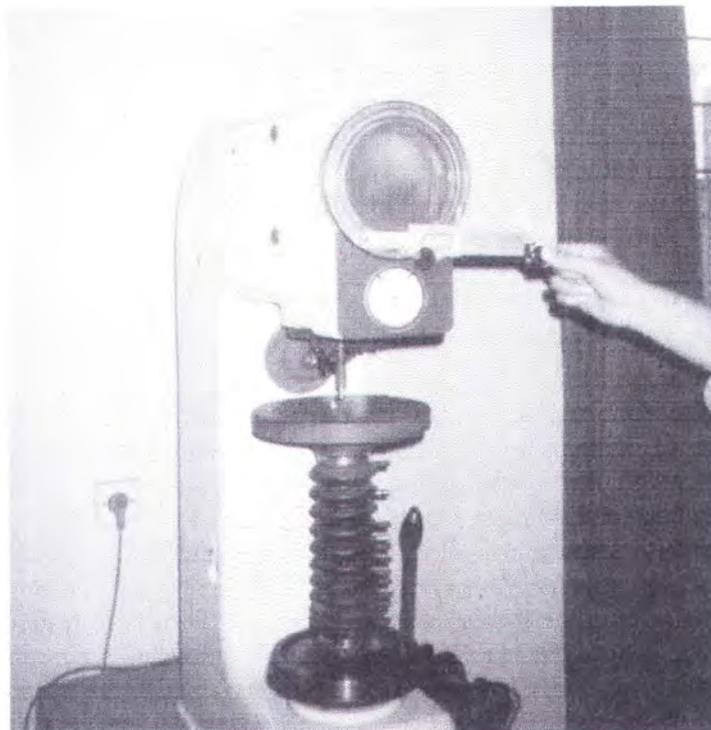
Gambar 4. Thermokopel



Gambar 5. Oven untuk PWHT



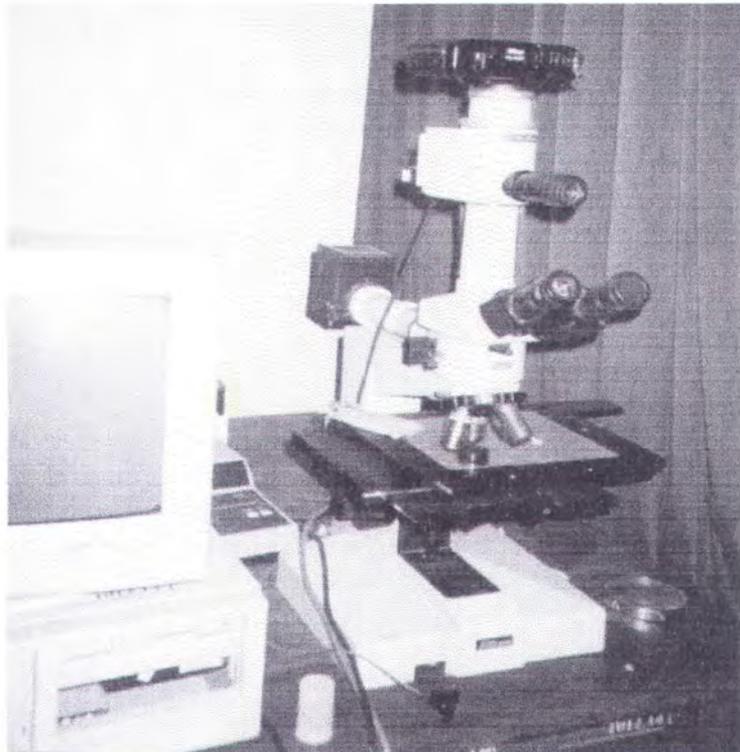
Gambar 6. Spesimen setelah diuji impact



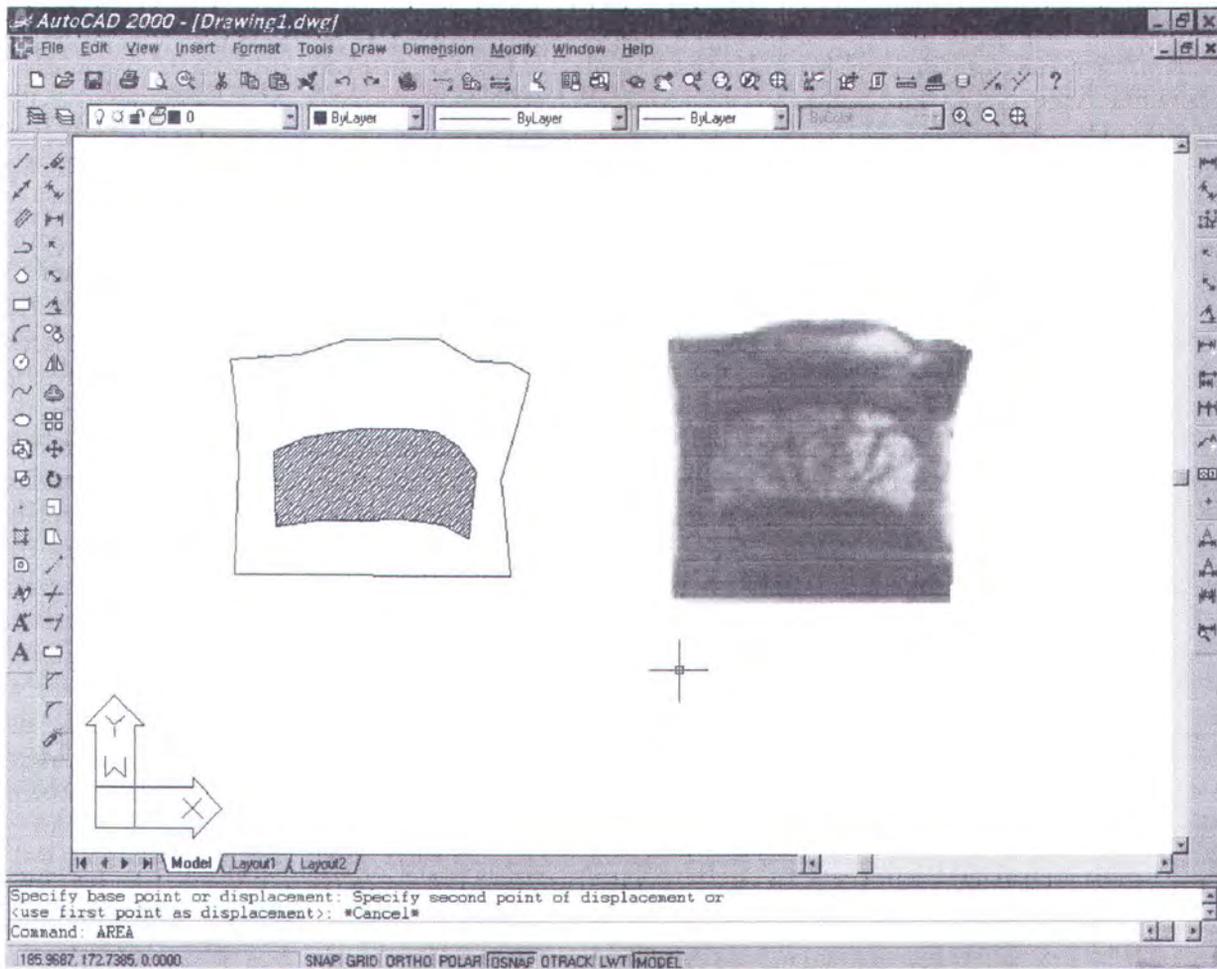
Gambar 7. Vickers tester



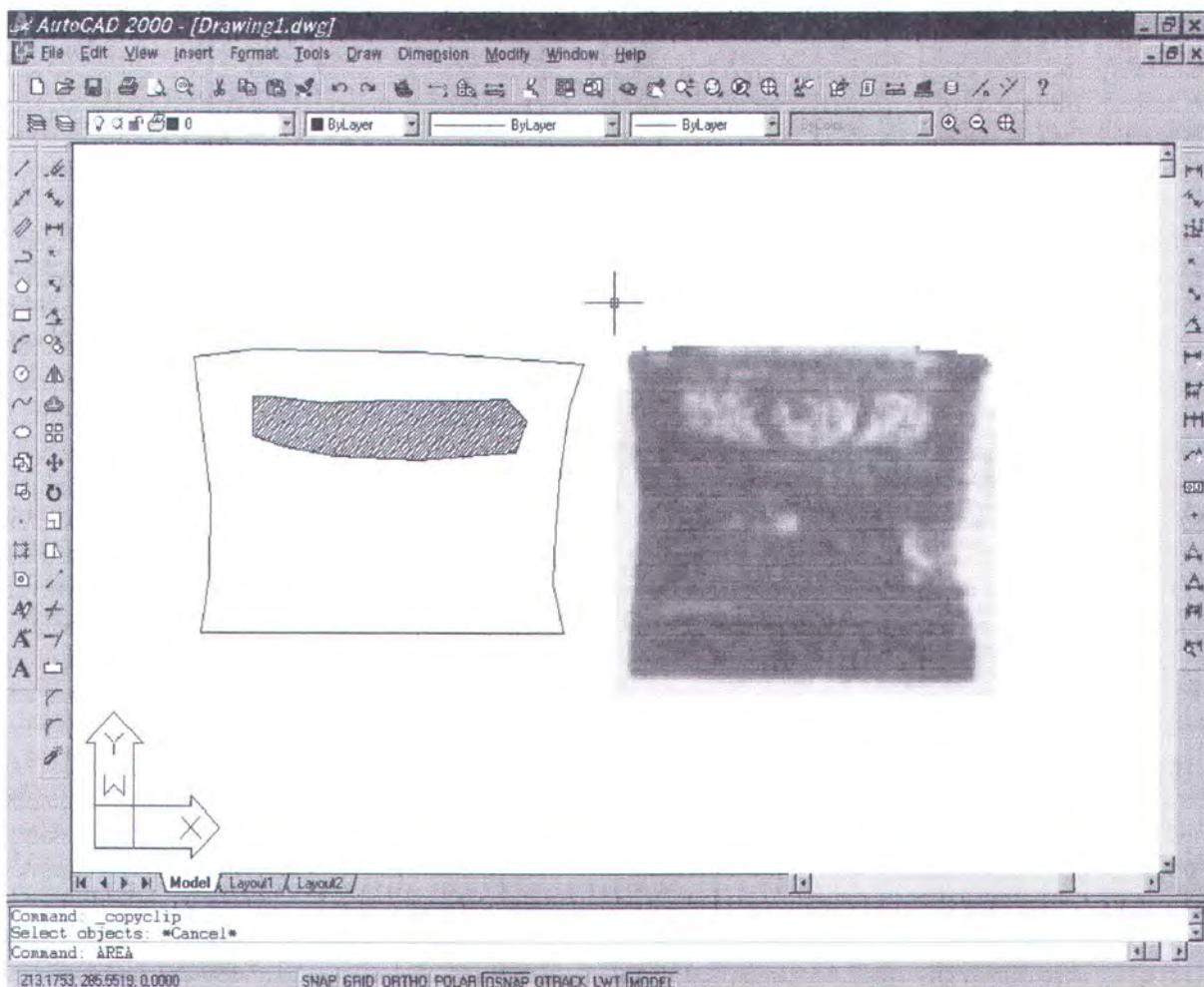
Gambar 8. Alat ukur shear



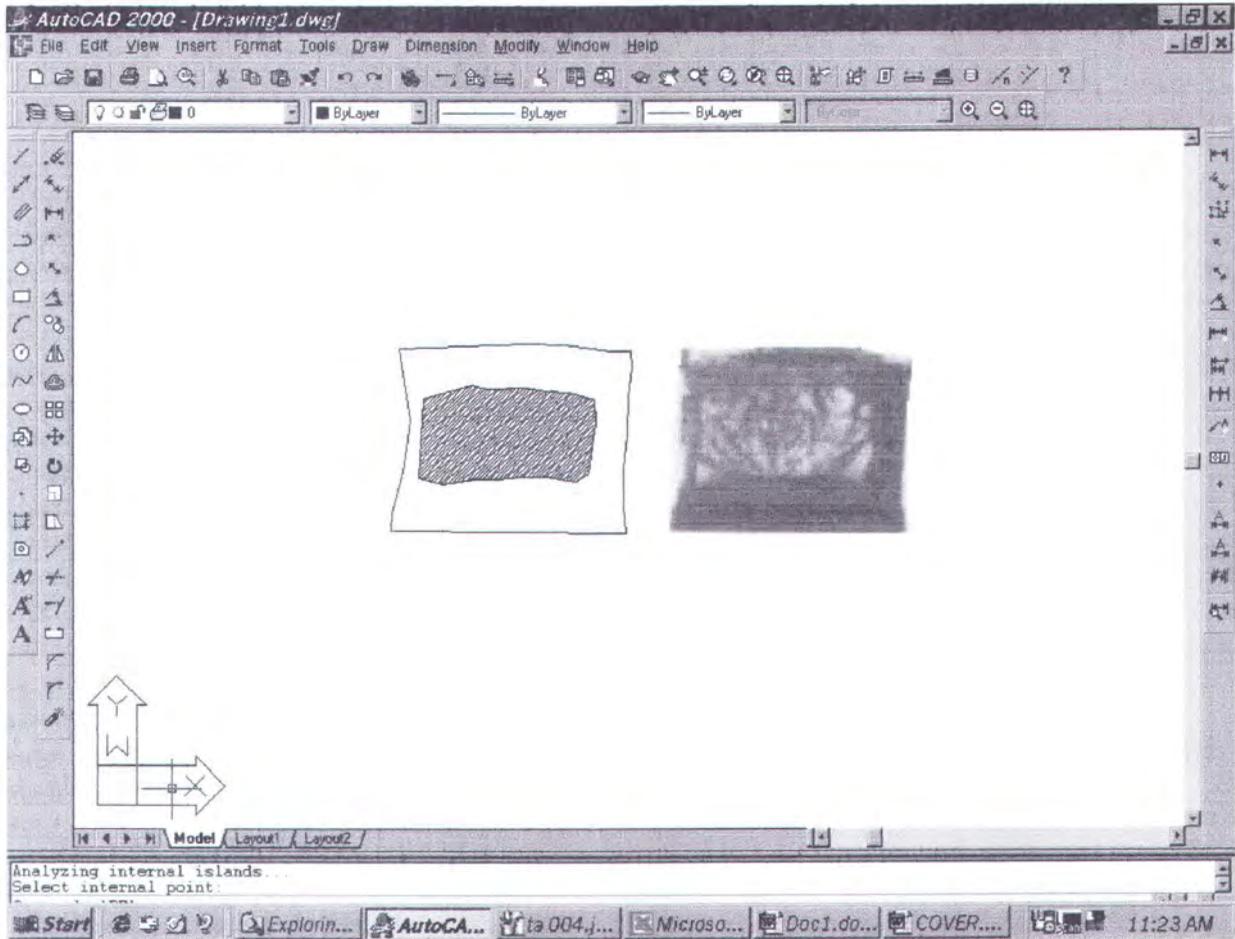
Gambar 9. Metallography test



Gambar 10. Pengukuran luas shear fracture pada Logam Induk (71.76 %)



Gambar 11. Perhitungan luas shear fracture pada Logam Las (80.24%)



Gambar 12. Perhitungan luas shear fracture pada Daerah Pengaruh Panas (HAZ) (47.95%)



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

Nama mahasiswa : Herys Abdi SM
N.R.P. : 4198100035
Tugas diberikan : Semester Gasal 2002 / 2003.
Tanggal mulai tugas : 04 September 2002
Tanggal selesai tugas : 24 Januari 2003
Dosen Pembimbing : 1. Wing Hendreprasetye AP, ST, M.Eng
2.

Tanggal	Uraian Kemajuan Tugas	Tanda Tangan
23 Sept 02	Pembuatan Specimen impak Base Metal	W. He.
26 Sept 02	Impak specimen impak Weld Metal HAZ	W. He.
30 Sept 02	Pengukuran dimensi specimen impak B.M.	W. He.
3 Okt 02	Mjn BAB I, OK	W. He.
17 Okt 02	Pengukuran dimensi specimen impak utb pada Weld Metal	W. He.
24 Okt 02	Revisi utb rjia program	W. He.
29 Okt 02	Aristem laporan lanjutan	W. He.
28 Nov 02	Aristem Bab II & Bab III, OK	W. He.

