

20.392/H/04



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR **(KP 1701)**

ANALISA PENGARUH PEMANASAN TERHADAP STRUKTUR MATERIAL *WELD METAL*



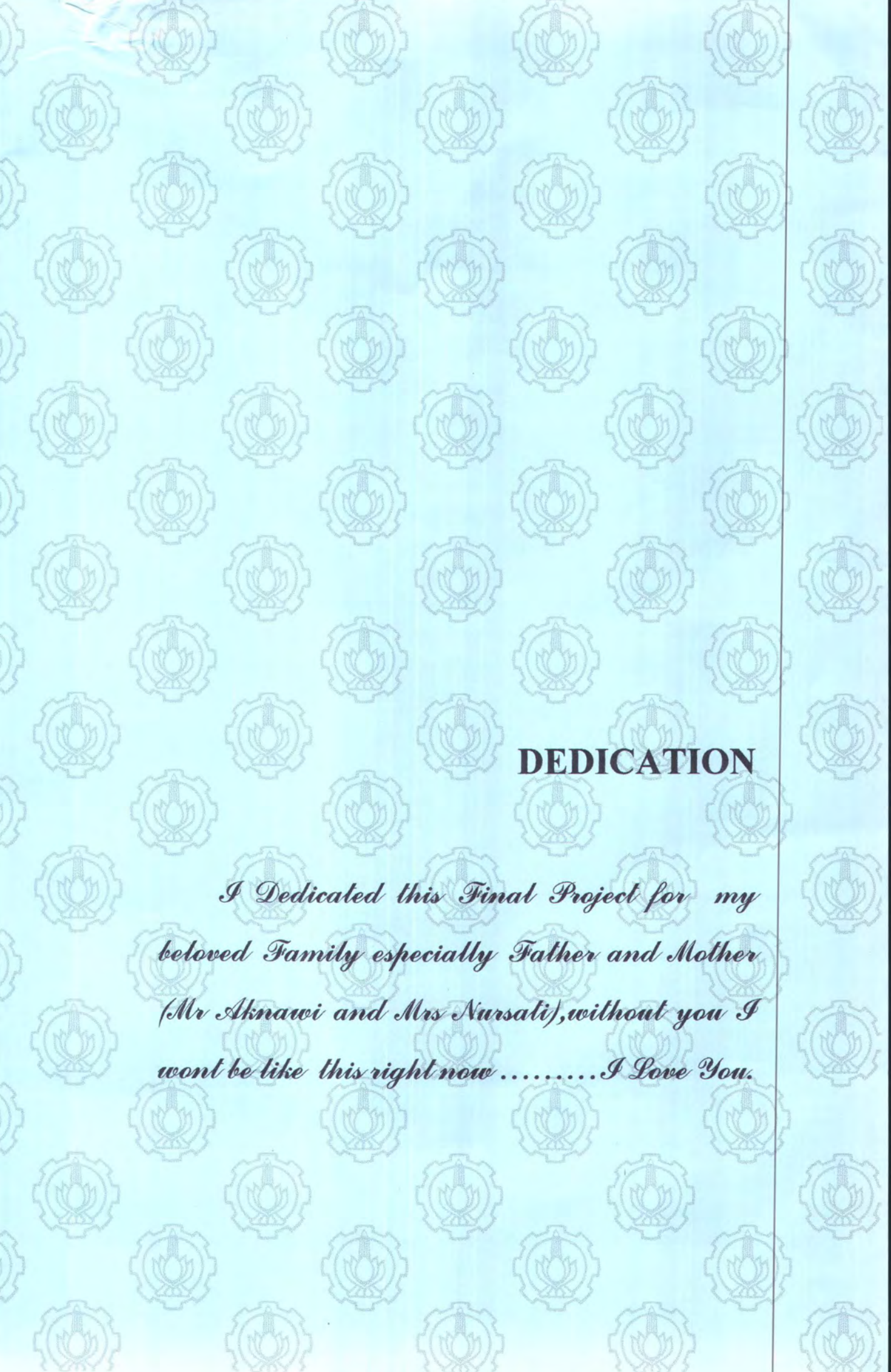
RSpe
671.36
Had
a - 1
—
w03

OLEH

SOFYAN HADI
NRP. 4197 100 056

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	20-2-2004
Terima Dari	H/
No. Agenda Prp.	219546

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



DEDICATION

*I Dedicated this Final Project for my
beloved Family especially Father and Mother
(Mr Aknawi and Mrs Nursati), without you I
wont be like this right now I Love You.*

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH PEMANASAN TERHADAP STRUKTUR MATERIAL *WELD METAL*

TUGAS AKHIR (KP 1701)

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian
Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Perkapalan
Pada
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

**Surabaya, 2003
Mengetahui Dan Menyetujui**

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH PEMANASAN TERHADAP STRUKTUR MATERIAL *WELD METAL*

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



Ir. SOEWEIFY, M.Eng
NIP. 130 368 597



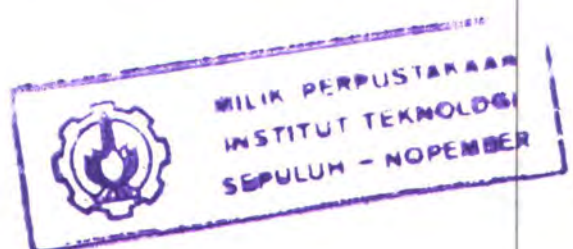
KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini pada waktunya tanpa hambatan dan rintangan yang cukup berarti.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

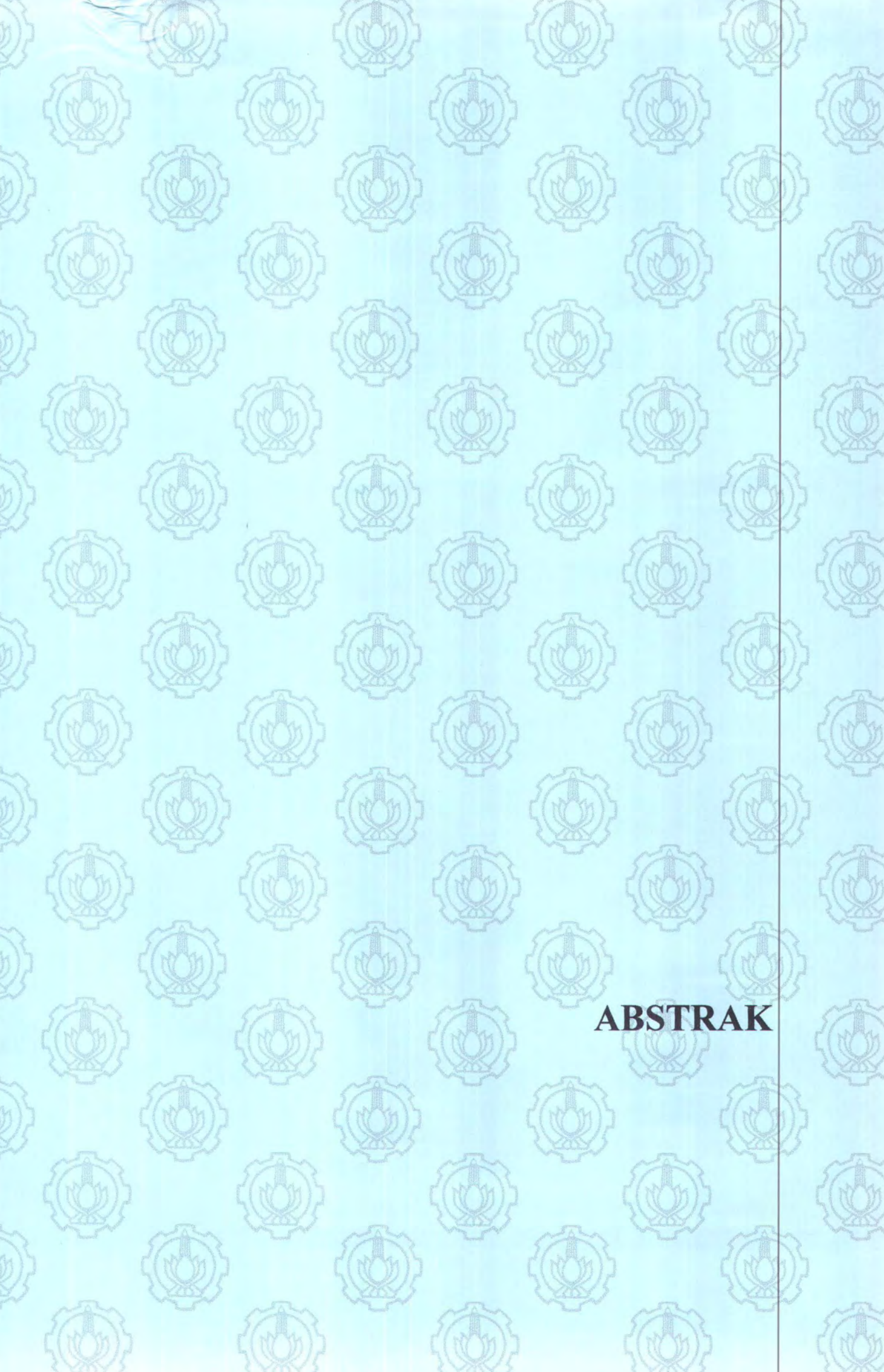
1. Ayahanda dan Ibunda serta seluruh keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan serta bantuan moral dan material sampai penulis dapat menyelesaikan studi.
2. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik perkapalan-FTK ITS .
3. Ir. IKA Pria Utama, MSc, PhD. selaku Sekrataris Jurusan Teknik perkapalan-FTK ITS.
4. Ir. Heri Supomo, MSc. selaku dosen wali penulis selama di Teknik Perkapalan.
5. Ir. H. Soewefy, MEng. Selaku dosen pembimbing yang dengan kesabarannya telah membimbing penulis sehingga akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
6. Seluruh staf dosen dan karyawan Teknik Perkapalan atas bantuannya baik secara langsung maupun tidak langsung.
7. Seluruh rekan-rekan sejawat angkatan '97 (P-37) yang bersama-sama mengarungi dinamika kehidupan di kampus Perkapalan ITS.



8. Dokter Icha, Ambar “cilik”, Eny “cerewet”, Hasyim, Sea Gate, dan franky dan Dyah Aryani serta seluruh alumni SMASA Jember kelas 3 IPA 1.
9. Seluruh rekan-rekan penghuni Kost GL-52 dan GL-57.
10. Serta semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak mungkin disebutkan satu-persatu.

Penulis sadar bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, maka saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2003



ABSTRAK

ABSTRAK

Suatu material akan mengalami perubahan struktur mikro apabila mengalami proses pemanasan pada suhu tertentu, perubahan struktur mikro ini akan menyebabkan perubahan sifat-sifat mekanis material. Dalam penulisan tugas akhir ini dilakukan analisa dan perbandingan perubahan yang terjadi pada struktur material (mikro) serta mechanical properties dari material weld metal akibat pengaruh pemanasan dengan temperatur-temperatur pemanasan 650°C , 730°C dan 900°C dengan holding time selama satu jam dan didinginkan secara mendadak menggunakan media pendingin air.

Dari penelitian ini didapatkan bahwa material akan mengalami perubahan mekanikal propertisnya bila mengalami proses pemanasan pada temperatur tertentu. Kuat tarik dan nilai kekerasan dari material akan mengalami kenaikan masing-masing sebesar 49,11 % dan 24,48 % sedangkan kuat impact dari material akan mengalami penurunan sebesar 7,23 % seiring dengan kenaikan temperatur. Struktur mikro dari material las mengalami perubahan dalam ukuran butir yaitu semakin tinggi temperatur pemanasan semakin halus ukuran butir dari struktur mikro yang terbentuk dan komposisi dari banyaknya struktur itu sendiri juga mengalami perubahan yaitu struktur perlit akan makin bertambah dan struktur ferit berkurang

ABSTRACT

Microstructure of material will transform into another phase if material were heated at certain temperature. Its transformation will cause the changes of mechanical properties of material. In this final project, the changes of mechanical properties and micro structure of weld metal that caused by heating process at 650° C, 730° C and 900° C with holding time for an hour and cooled by water were analyzed and compared.

The conclusion of this experiment said that mechanical properties of material will change if material were heated at certain temperature. Tensile strength will increase until 49,11 %, hardness of material will increase until 24,48 % and impact strength will decrease until 7,23 % with increasing temperature. Grain size of weld metal become smoother and composition of pearlit come to larger than ferrite.



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

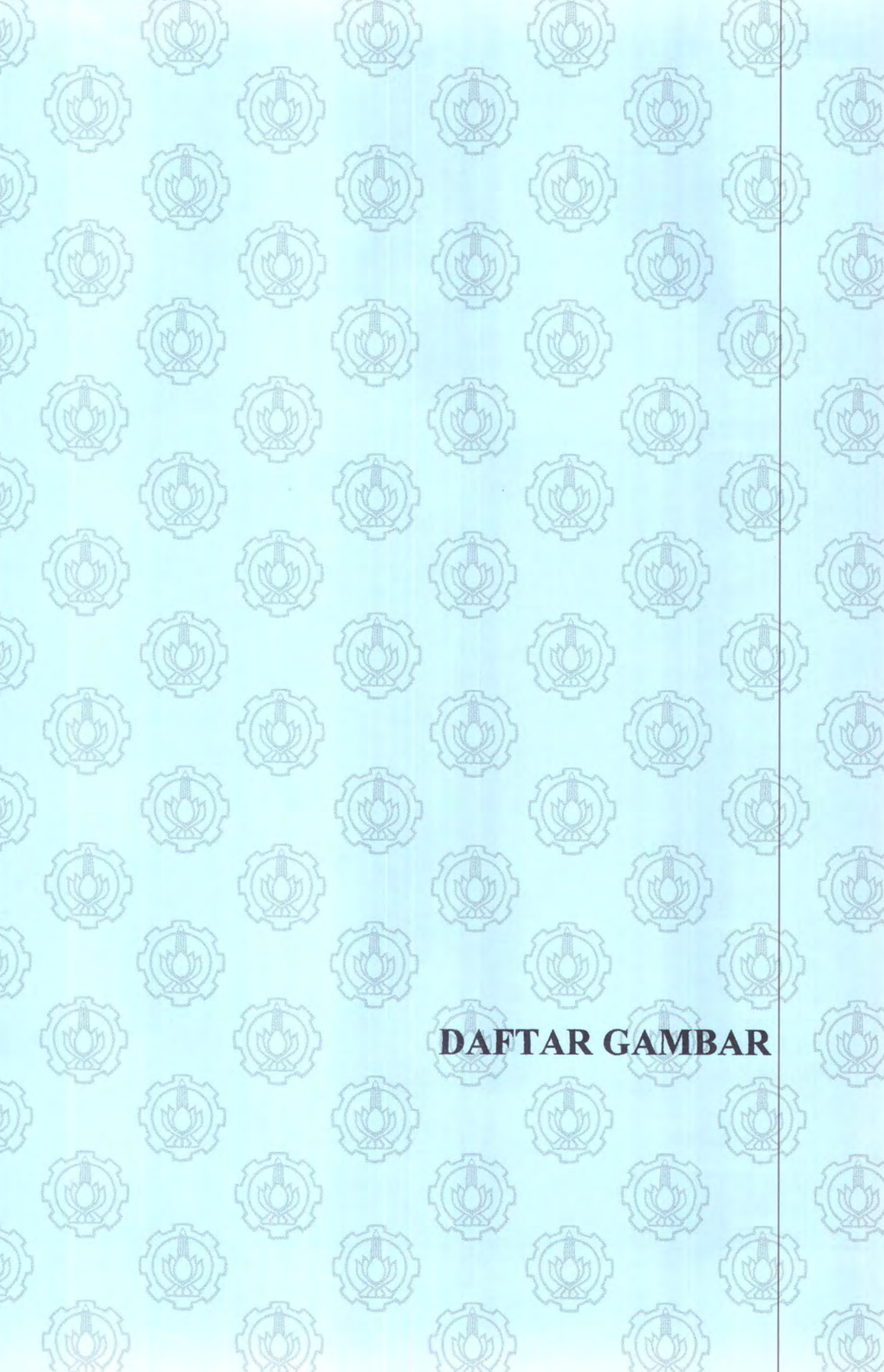
	Halaman
JUDUL TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
I.4 Manfaat Penelitian	3
I.5 Batasan Masalah	3
I.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Teori Pengelasan	5
II.1.1 SMAW (Shield Metal Arc Welding).....	6
II.2 Baja Dalam Pengelasan	7
II.2.1 Pendahuluan	7
II.2.2 Klasifikasi Baja Karbon	9

II.2.3 Pengaruh Komposisi Kimia Dalam Baja ...	11
II.2.4 Ketangguhan Logam Las	14
II.3 Pengelasan Baja Karbon	15
II.3.1 Pengelasan Baja Karbon Rendah	15
II.3.2 Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Baja Karbon Tinggi	16
II.4 Metalurgi Las	17
II.4.1 Struktur Atom	17
II.4.2 Siklus Termal Daerah Las	19
II.5 Perlakuan Panas	20
II.5.1 Pendahuluan	20
II.5.2 Besi-Karbon Equilibrium Diagram	22
II.5.3 Diagram Transformasi	29
II.5.3.1 Diagram Transformasi untuk Pemanasan	29
II.5.3.2 Diagram Transformasi untuk Pendinginan	31
BAB III SIFAT MEKANIK DAN PENGUJIANNYA	
III.1 Sifat Mekanik	37
III.2 Pengujian Mekanik	38
III.2.1 Pengujian Tarik	38
III.2.2 Pengujian Kekerasan	40
III.2.2.1 Pengujian Brinell	41

	III.2.2.2 Pengujian Rockwell	41
	III.2.2.3 Pengujian Vickers	42
	III.2.3 Pengujian Impact	44
BAB IV	METODOLOGI PENELITIAN	
	IV.1 Persiapan Spesimen	48
	IV.2 Proses Pengelasan	49
	IV.2.1 Langkah Pengelasan	49
	IV.3 Persiapan dan Pembuatan Spesimen Uji	50
	IV.3.1 Persiapan Spesimen Uji	51
	IV.3.2 Pembuatan Spesimen Uji	52
	IV.3.2.1 Spesimen Uji Tarik	53
	IV.3.2.2 Spesimen Uji Takik	54
	IV.4 Proses Pemanasan	54
	IV.5 Pengujian Tarik	57
	IV.5.1 Tujuan Pengujian	57
	IV.5.2 Pelaksanaan Pengujian	57
	IV.6 Pengujian Pukul Takik (<i>Impact</i>)	58
	IV.6.1 Tujuan Pengujian	58
	IV.6.2 Pelaksanaan Pengujian	59
	IV.7 Pengujian Kekerasan	60
	IV.7.1 Tujuan Pengujian	60
	IV.7.2 Pelaksanaan Pengujian	60

IV.8 Pengujian Mikroetsa (Foto Mikro)	61
IV.8.1 Tujuan Pengujian	61
IV.8.2 Pelaksanaan Pengujian	61
BAB V	ANALISA DATA HASIL PENGUJIAN
V.1 Analisa Hasil Uji Tarik	64
V.2 Analisa Hasil Uji Kekerasan	66
V.3 Analisa Hasil Uji Impact	68
V.4 Analisa Hasil Uji Foto Mikro	70
BAB V	KESIMPULAN
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	





DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

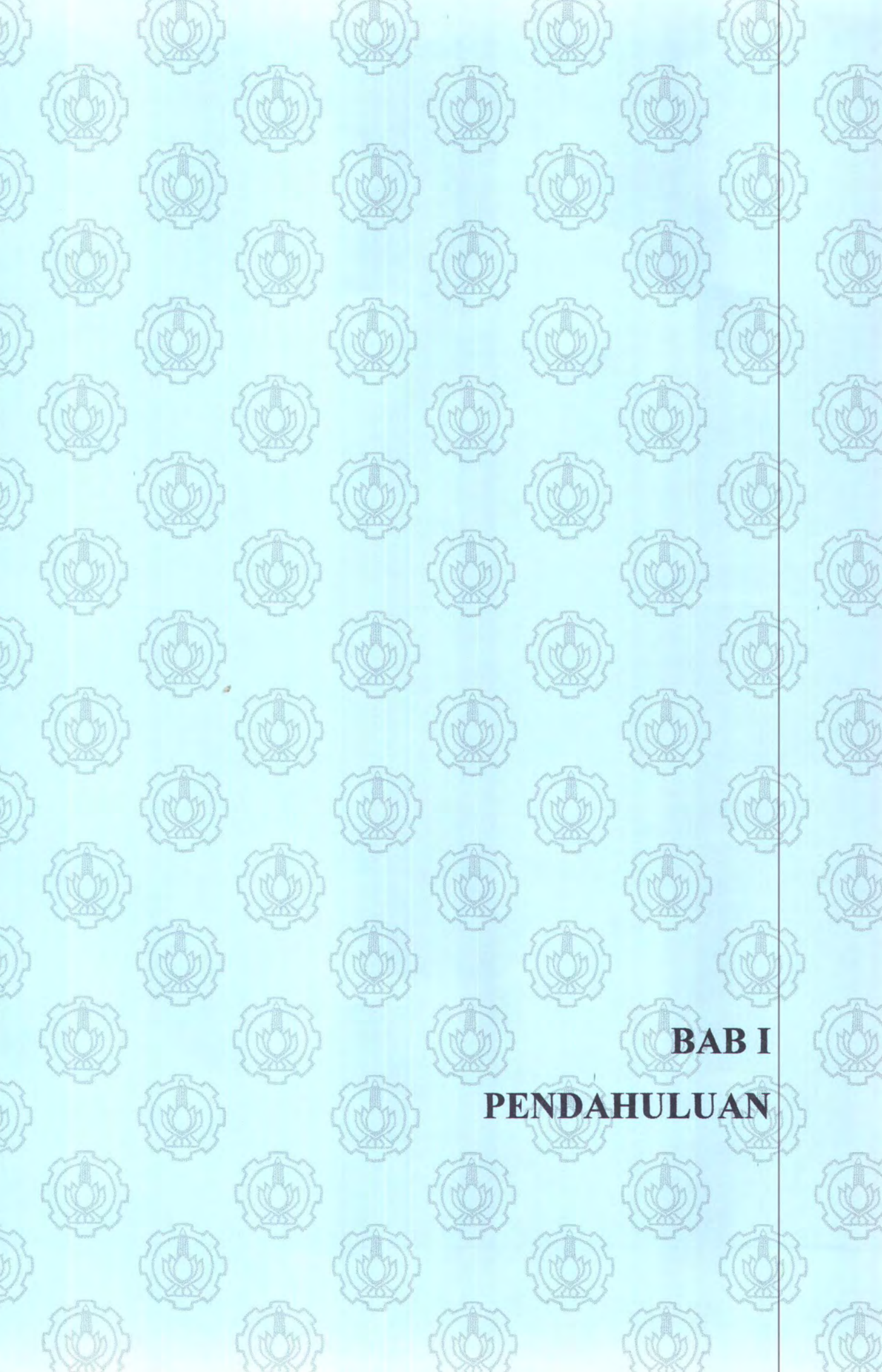
	Halaman
Gambar 2.1 Mikrostruktur, sifat mekanik dan kegunaan baja karbon	8
Gambar 2.2 Struktur dendrite kolumnar	18
Gambar 2.3 Geometri atom	19
Gambar 2.4 Diagram equilibrium besi-karbon dan Struktur mikronya	22
Gambar 2.5 Hubungan kadar karbon, struktur mikro dan Sifat mekanik baja karbon	25
Gambar 2.6 Diagram transformasi untuk pemanasan Kontinyu	30
Gambar 2.7 Diagram transformasi isothermal (TTT diagram)	31
Gambar 2.8 Diagram transformasi untuk pendinginan Kontinyu (CCT Diagram)	32
Gambar 2.9 Pengintian dan pertumbuhan lamel perlit	33
Gambar 2.10 Struktur mikro bainit atas dan bainit bawah	34
Gambar 2.11 Struktur mikro martensit dari baja 1 % Yang diquench	35
Gambar 3.1 Bentuk spesimen uji tarik	38
Gambar 3.2 Indentor intan pada pengujian vickers	44
Gambar 3.3 Metode pengujian impact	45

Gambar	3.4	Mesin impact	46
Gambar	4.1	Material yang akan dilas	48
Gambar	4.2	Bagian dari material yang akan di potong	52
Gambar	4.3	Spesimen tarik	53
Gambar	4.4	Spesimen impact	54
Gambar	4.5	Grafik pemanasan	55
Gambar	4.6	Flow chart penelitian	63
Gambar	5.1	Grafik kuat tarik maksimum logam las pada baja SS 41 terhadap suhu pemanasn	65
Gambar	5.2	Grafik kekerasan logam las pada baja SS 41 terhadap suhu pemanasan	67
Gambar	5.3	Grafik hubungan kuat impact terhadap Suhu pemanasan	69
Gambar	5.4	Grafik perubahan kandungan struktur mikro Terhadap temperatur pemanasan	72

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Komposisi kimia elektrode E 7016	49
Tabel 5.1 Tabel hasil pengujian tarik logam las	
Pada baja SS 41.....	64
Tabel 5.2 Tabel hasil pengujian hardness logam las	
pada baja SS 41.....	66
Tabel 5.3 Tabel hasil pengujian impact	68
Tabel 5.4 Tabel kandungan struktur mikro	72



BAB I

PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Dalam industri perkapalan saat ini, teknologi pengelasan memiliki peranan penting dalam proses produksi suatu galangan. Pada saat pengelasan terjadi proses penyambungan antara dua bagian atau lebih dengan menggunakan energi panas. Karena proses panas tersebut, maka logam akan mengalami siklus termal yang cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit yang berpengaruh pada sifat-sifat mekanis dari material. Selain proses pemanasan terjadi proses pendinginan sesudah material dilas, proses pemanasan dan pendinginan tersebut pada nantinya akan berpengaruh pada terbentuknya struktur mikro dari pada baja induk ataupun pada struktur lasan. Bila pada material yang dilas tersebut dikenai suatu proses pemanasan pada suhu tertentu dengan pendinginan tertentu pula, maka hal ini akan menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro yang akan berpengaruh pada perubahan sifat-sifat mekanis yang dimiliki oleh material las tersebut.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis mencoba untuk mengetahui dan menganalisa serta membandingkan perubahan yang terjadi pada struktur material weld metal akibat pengaruh pemanasan pada suhu-suhu 650° C, 730° C dan 900° C dengan holding time selama satu jam dan didinginkan secara mendadak dengan menggunakan media pendingin air. Selain itu penulis mencoba untuk mengetahui dan menganalisa sifat-sifat mekanis pada material akibat perubahan struktur mikro yang terjadi pada material weld metal setelah mengalami pemanasan pada



suhu-suhu diatas, dan didinginkan secara mendadak dengan media pendingin air. Sehingga diharapkan, melalui experiment ini kita bisa mengetahui perubahan-perubahan yang terjadi pada struktur material las, baik itu perubahan pada struktur mikro ataupun perubahan pada mechanical properties bila suatu konstruksi baja mengalami kejadian seperti diatas (pemanasan sebesar 650°C , 730°C dan 900°C dan didinginkan secara mendadak dengan suatu media pendingin).

I.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian diatas, pokok permasalahan yang harus dipecahkan adalah :

1. Bagaimana perubahan yang terjadi pada struktur las-lasan setelah mengalami pemanasan pada suhu-suhu 650°C , 730°C dan 900°C dan kemudian didinginkan dengan menggunakan media pendingin air dan udara.
2. Bagaimana pengaruh dari perubahan struktur las-lasan terhadap sifat-sifat mekanis dari material.

I.3 TUJUAN PENELITIAN

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa perubahan yang terjadi pada struktur material weld metal dan sifat-sifat mekanis yang ditimbulkan akibat adanya pemanasan pada suhu-suhu 650° , 730° dan 900°C serta didinginkan secara mendadak dengan menggunakan media pendingin air. Apakah hasil pemanasan dan pendinginan tersebut sangat dominan sehingga mengakibatkan material akan menjadi sangat Brittle dan getas. Selain tersebut diatas penelitian ini akan memberikan gambaran batas maksimum temperatur



berapakah yang tidak berpengaruh terhadap pemanasan dan pendinginan yang mendadak.

I.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang bisa kita peroleh dari pelaksanaan tugas akhir ini, antara lain:

1. Mengetahui perubahan yang terjadi pada struktur mikro material weld metal setelah material mengalami pemanasan pada suhu 650°C , 730°C dan 900°C dan didinginkan secara mendadak pada media air.
2. Mengetahui perubahan sifat-sifat mekanis yang terjadi pada material weld metal setelah material mengalami proses pemanasan pada suhu-suhu diatas.
3. Memberikan gambaran batas temperatur maksimum yang tidak berpengaruh pada pemanasan material dengan proses pendinginan mendadak.

I.5 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dari permasalahan yang diangkat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Material induk yang digunakan adalah SS-41.
2. Jenis filler yang digunakan dalam proses pengelasan adalah ESAB E7016
3. Temperatur pemanasan yang digunakan adalah 650°C , 730°C dan 900°C .
4. Holding time selama pemanasan selama satu jam.
5. Media pendinginan yang digunakan air.
6. Pengamatan dibatasi hanya pada daerah weld metal,



I.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini antara lain :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori pendukung bagi penulisan tugas akhir ini antara lain teori tentang pengelasan, teori tentang baja karbon dan teori tentang perlakuan panas.

BAB III SIFAT MEKANIK DAN PENGUJIANNYA

Bab ini berisi tentang sifat-sifat mekanik yang dimiliki oleh material serta pengujian-pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat dari material.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang tata cara pengujian yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini meliputi pelaksanaan pengelasan, pelaksanaan pemanasan pengujian tarik, hardness, impact dan foto mikro.

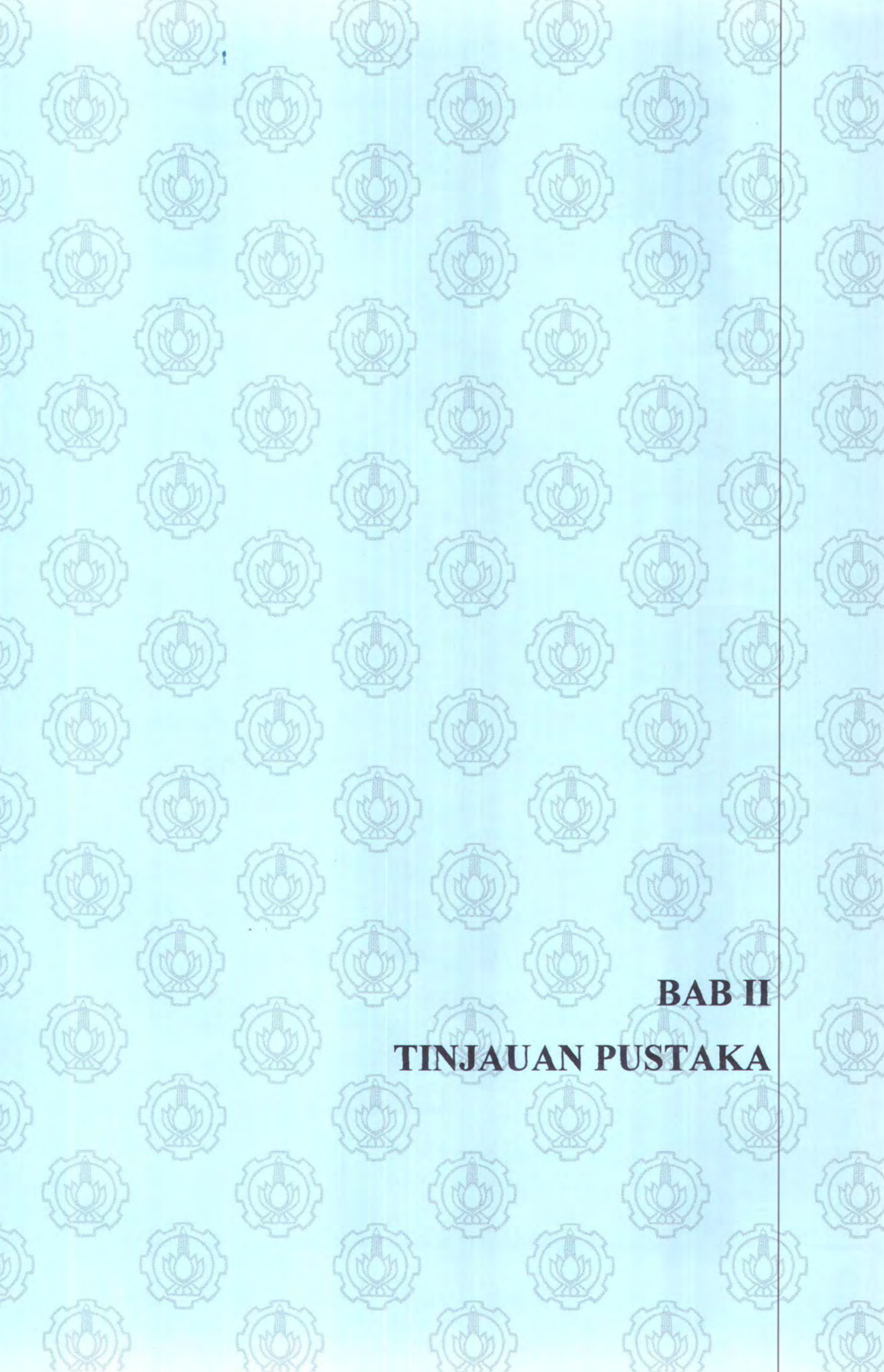
BAB V ANALISA DATA HASIL PENGUJIAN

Bab ini berisi tentang analisa yang dibuat berdasarkan data-data yang didapat dari hasil-hasil pengujian yang telah dilakukan sehingga nantinya didapatkan suatu kesimpulan yang menunjang penelitian yang telah dilakukan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. TEORI PENGELASAN

Teknologi pengelasan dewasa ini telah berkembang dengan pesat demi memenuhi tuntutan terhadap kualitas produk yang semakin tinggi. Pengelasan dilakukan untuk menyambung dua bagian logam menjadi satu, tanpa mengurangi kekuatan dan bentuk dari material logam tersebut. Selain itu pengelasan cukup ekonomis dan efisien karena cara penyambungannya dengan cara tetap artinya tidak mudah membongkar atau melepasnya kembali.

Pada waktu ini teknologi pengelasan telah digunakan secara luas dalam penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan menggunakan teknologi ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya sederhana, sehingga biaya keseluruhannya menjadi lebih murah. Dalam praktek, proses pengelasan sangat banyak ragamnya demikian pula dengan bentuk sambungan yang akan dilas, jenis kampuh manik las (*weldment*) dan posisi pengelasan yang akan dilaksanakan. Proses pengelasan dapat pula diterapkan dalam pengerjaan perbaikan (*repair*), pemotongan (*cutting*) dan pelapisan. Logam-logam yang mudah dilas biasanya mempunyai titik leleh yang tinggi yang kita sebut dengan logam komersil yang tidak tergantung dari ketebalannya. Logam yang tidak mudah dilas biasanya diperlukan suatu teknik dan alat khusus untuk mengerjakannya. Dapat tidaknya suatu logam dilas biasanya tergantung dari



sifat-sifat yang dimiliki logam tersebut, seperti titik leleh, *density*, *thermal conductivity*, kuat tarik dan lain-lain. Dalam tugas akhir ini metode pengelasan yang digunakan adalah metode pengelasan SMAW, pertimbangan pemilihan metode ini karena metode ini paling banyak digunakan dalam proses pengerjaan penyambungan pelat di galangan kapal.

II.1.1. SMAW (*Shield Metal Arc Welding*)

Pengelasan SMAW ini merupakan pengelasan busur listrik terumpan yang menggunakan elektrode terbungkus fluks sebagai pembangkit busur dan sebagai bahan pengisi (*filler*). Panas yang timbul pada listrik yang terjadi di antara elektrode dan bahan induk mencairkan ujung kawat las dan bahan induk setempat membentuk kawah las yang cair, kemudian membeku membentuk lasan. Bungkus elektrode yang berfungsi sebagai *fluks* akan terbakar pada saat proses pengelasan berlangsung, gas yang terjadi akan melindungi proses pengelasan terhadap pengaruh udara, *fluks* tersebut akan membeku pada permukaan las dalam bentuk terak (*slag*).

Dalam pengelasan SMAW busur yang dipakai menggunakan listrik arus AC dan DC. DCSP dapat memperkecil percikan (*spatter*) dan lekukan (*under cut*). Panas yang ditimbulkan oleh pengelasan dengan kutub DCSP akan lebih banyak pada base metal sehingga akan menghasilkan penetrasi yang dalam dan cocok untuk pengelasan pelat-pelat yang tebal.



Beberapa faktor keuntungan dari pengelasan ini antara lain(Eriska Rosana, 2001) :

1. Alatnya sederhana dan cara pengoperasiannya yang mudah, tidak terlalu sukar untuk melatih *welder* yang belum bisa.
2. Cara pengelasan ini cukup fleksibel, karena dapat menyambung logam yang mempunyai ketebalan tipis hingga tebal dengan bermacam-macam posisi pengelasan.
3. Lebih ekonomis karena investasi serta biaya perawatan yang dibutuhkan relatif kecil.
4. Bisa untuk semua jenis logam.

Kerugian dari proses pengelasan ini adalah hasil dari pengelasan masih tergantung oleh keadaan cuaca setempat, *welder*, mesin dan material yang digunakan.

II.2. BAJA DALAM PENGELASAN

II.2.1. Pendahuluan

Besi dan baja merupakan jenis logam yang paling banyak digunakan manusia untuk berbagai keperluan. Bahan ini telah banyak sumbangannya terhadap perkembangan budaya manusia. Beberapa hal yang membuat jenis logam ini banyak digunakan oleh manusia (Suherman, 1987), antara lain:

- Jumlahnya di alam yang cukup melimpah dalam bentuk oksida atau sulfida dalam bijih besi.
- Mempunyai sifat mekanik (kekuatan, keuletan dll) yang memadai.

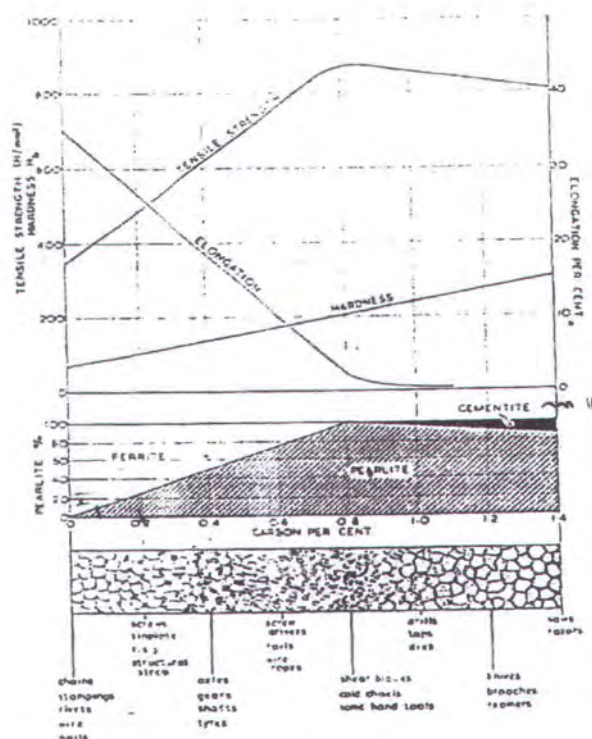




- Mudah dikerjakan baik dengan forming maupun dengan machining, sehingga mudah dibuat menjadi barang yang berguna bagi manusia.
- Harganya relatif murah, dll.

Baja adalah jenis logam yang paling banyak digunakan dan pada dasarnya baja merupakan paduan besi dan karbon dengan sedikit unsur lain (plain carbon steel). Bila baja itu mengandung unsur lain dalam jumlah yang cukup besar sehingga akan merubah sifat dari baja tersebut maka baja itu dinamakan baja paduan (alloy steel).

Sifat baja banyak ditentukan oleh kadar karbonnya, disamping juga unsur paduannya (jenis dan jumlahnya). Pengaruh kadar karbon terhadap struktur mikro dan sifat mekanik utama dari baja karbon dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.1. Mikrostruktur, sifat mekanik dan kegunaan baja karbon (Suherman, 1987).



Dalam Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa makin tinggi kadar karbon maka makin tinggi pula kekerasan dari material sedangkan kekuatan hanya naik sampai kadar karbon mencapai 0,8 % sesudah itu kekuatan akan menurun, sedangkan keuletan yang dinyatakan dengan elongation akan makin menurun seiring dengan kenaikan kadar karbon, laju penurunannya akan sedikit berkurang pada kadar karbon 0,8 %.

Di pasaran banyak terdapat berbagai jenis baja sehingga untuk memudahkan dalam pemilihannya perlu diadakan klasifikasi, dalam hal ini pengelompokannya dapat dilakukan menurut kekuatannya, komposisi kimia, struktur dan lain-lain.

II.2.2 Klasifikasi Baja Karbon

Baja karbon (*plain carbon steel*) adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit unsur-unsur tambahan seperti Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon ini sangat dipengaruhi oleh kadar karbon yang terdapat pada baja tersebut, kandungan karbon yang tinggi akan meningkatkan sifat kekerasannya (*Hardenability*) dan juga akan menaikkan tegangan tariknya (*Tensile Strength*), disisi lain dengan tingginya kadar karbon yang dimiliki akan menurunkan keuletan (*ductility*) dan sifat mampu lasnya (Wiryosumarto dan Okumura, 1996).

Karena sangat dipengaruhi oleh kadar karbon tersebut, maka baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Kasan 2000), antara lain :

1. *Dead Mild Steel*, mengandung 0,05 ~ 0,15 % C.
2. *Mild Steel*, Mengandung , 0,10 ~ 0,30 % C.



3. *Medium Carbon Steel*, mengandung 0,30 ~ 0,60 % C.
4. *High Carbon Steel*, mengandung 0,60 ~ 0,90 % C.
5. *Tools Steel*, mengandung 0,90 ~ 2 % C.

Secara umum, kenaikan kandungan karbon dalam baja, walaupun hanya sedikit, akan mempengaruhi sifat baja tersebut, antara lain :

1. Titik leleh baja akan menjadi lebih tinggi dan tahan panas.
2. Baja menjadi lebih keras dan kurang mudah dimachining.
3. Kekuatan tarik bertambah dan ductility turun.
4. sifat mampu las turun.

Yang tergolong baja karbon rendah adalah *dead mild steel* dan *mild steel*. Sedangkan yang tergolong pada baja karbon sedang adalah *medium carbon steel*. Sementara itu *high carbon steel* dan *tool steel* tergolong pada baja karbon tinggi.

Baja karbon rendah banyak sekali digunakan untuk konstruksi umum. Baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak, tapi mempunyai keuletan yang tinggi, mudah dimachining. Baja ini tak bisa dikeraskan kecuali dengan *hardening*. Baja karbon ini dibagi lagi dalam baja kil, baja semi kil dan baja rim, di mana penamaannya didasarkan atas persyaratan deoksidasi, cara pembekuan dan distribusi rongga atau lubang halus di dalam ingot.

Baja karbon sedang lebih kuat dan keras dibandingkan dengan baja karbon rendah dan bisa dikeraskan. Penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah, tetapi dikhususkan pada struktur yang membutuhkan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi, misalnya konstruksi mesin, poros, roda gigi dan rantai.



Baja dengan kekuatan yang lebih tinggi, lebih keras, tapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang rendah adalah ciri dari baja karbon tinggi. Baja ini sering digunakan untuk perkakas yang biasanya memerlukan baja tahan aus seperti mata bor, pahat, dll.

II.2.3 Pengaruh Komposisi Kimia dalam Baja

Komposisi kimia dari unsur-unsur dapat mempengaruhi struktur, sifat mekanik dari baja, dimana pengaruh tersebut meliputi hal sebagai berikut :

- Pengaruh perubahan letak titik kristal diagram Fe-C.
- Pengaruh sifat baja yang dipengaruhi oleh panas.
- Pengaruh pada pertumbuhan biji kristal.
- Hubungan dengan unsur karbon.

Unsur-unsur dalam baja akan dijelaskan berikut dibawah ini (Eriska Rosana, 2001) :

1. Karbon (C)

Karbon merupakan unsur penentu dalam baja karena karbon menaikkan kuat tarik dan kekerasan baja. Dengan naiknya karbon maka akan membuat baja lebih getas selain itu *weldability*nya dan *elongation*nya akan berkurang.

2. Mangan (Mn)

Mangan sangat diperlukan dalam baja karbon, unsur Mn yang relative tinggi akan menaikkan kekerasan dan kekuatan tariknya untuk kadar karbon yang lebih rendah. Sifatnya dalam baja amat tergantung pada



kandungan karbonnya. Kandungan Mn yang kurang 0,3 % dapat meningkatkan ketahanan korosi dan mencegah keretakan pada logam las. Keretakan ini bisa juga disebabkan oleh kandungan Mn yang tinggi diatas 0,8 %, selain itu juga akan meningkatkan kuat tarik dan kekerasannya tanpa mengurangi kekenyalan serta mempunyai sifat tempa yang baik.

3. Nikel (Ni)

Nikel dalam baja akan meningkatkan sifat kekenyalan dan memperbaiki sifat tahan korosi. Untuk baja yang tahan korosi kadar Ni-nya harus 2,5 % dan struktur logamnya tahan aus.

4. Krom

Penambahan krom pada baja akan mendapatkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat baja dapat dikerjakan yang lebih baik. Kuat tarik dan *yield point*nya lebih tinggi dan memperbaiki sifat mampu tempa.

5. Aluminium (Al)

Adanya aluminium dalam baja akan menyebabkan turunnya *reduction of area* dan *impact value* serta sifat mampu tempa.

6. Silikon (Si)

Silikon akan menaikkan kekerasan, kekuatan, *yield point* pendinginan akan tetapi menurunkan kekenyalan. Tapi jika kadar karbon lebih kecil dari Mn akan merugikan permukaan, terutama pada baja karbon rendah. Jika kandungan karbon agak tinggi maka Si akan



mempermudah kecenderungan untuk retak saat pengelasan. Untuk mendapatkan kondisi pengelasan yang baik, maka kandungan Si tidak boleh lebih dari 0,1 % meski sejumlah sampai dengan 0,3 % tak berakibat serius pada kandungan sulphur atau phospor yang tinggi.

7. Oksigen (O)

Terdapat diudara berupa uap air yang pecah menjadi H_2 dan O_2 , juga dalam lapisan elektrode atau dalam karat-karat *base metal*. Proses pemasukan oksigen dalam las terjadi pada proses oksidasi. Adanya O_2 dalam las dapat menurunkan sifat mekanis, sifat kelunakan, sifat liatnya dan anti korosi.

8. Nitrogen (N)

Berasal dari udara yang masuk ke dalam proses las. Sifat N pada suhu tinggi molekul-molekulnya akan pecah dan berdislokasi menjadi atom nitrogen, dan atom inilah yang larut dalam cairan logam las. Pada proses pendinginan atom-atom N bersatu kembali menjadi molekul dan beberapa keluar dari logam sebagian akan bersenyawa dengan logam dan oksida-oksida yang terdapat dalam cairan membentuk persenyawaan nitrida, persenyawaan ini pada baja akan meningkatkan kekerasan.

9. Hidrogen (H)

Sumber hidrogen berasal dari cairan atau gas yang ada di sekeliling misalnya kelembaban yang terdapat pada elektrode, fluks, atau kotoran berupa karat yang terdapat pada permukaan logam. Seperti juga



nitrogen, hidrogen pada suhu tinggi juga akan berdisosiasi menjadi atom yang mudah larut dalam logam. Pada waktu proses pendinginan atom H menjadi molekul kembali dan berkumpul di suatu tempat didalam cairan logam las membentuk gelembung gas, apabila gelembung-gelembung gas ini tidak bisa keluar dari cairan logam las maka akan menyebabkan terjadinya cacat pada sambungan las misalnya *porosity*. Semakin tinggi suhu cairan logam semakin bertambah pula disosiasi hidrogen di dalamnya. Menggunakan arus DCRP akan mengurangi masuknya hidrogen dalam cairan logam, selain itu untuk menghindari adanya unsur hidrogen dalam pengelasan, maka logam dan elektrodanya harus dibersihkan terlebih dahulu dari karat, fluks juga harus kering.

II.2.4 Ketangguhan logam las

Ketangguhan logam las tergantung dari struktur dan pengaruh oksigen. Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan komponen bahan las yang digunakan.

- Pengaruh oksigen

Pada waktu logam las masih cair, oksidasi dihalangi oleh terak dan gas pelindung yang terbentuk oleh bahan pembungkus elektrode. Walaupun demikian penyerapan oksigen oleh logam las cair tidak dapat dihalangi sepenuhnya, sehingga logam las mengandung lebih banyak oksigen bila dibandingkan dengan logam induk, sehingga terjadi perbedaan keuletan antara



keduanya. Seperti halnya oksigen, nitrogen diperkirakan juga banyak terserap ke dalam logam las dan inipun menyebabkan berkurangnya ketangguhan.

Dalam pengelasan manual kandungan oksigen dalam logam las sangat tergantung dari bahan selubung dan kebiasaan fluks.

- Pengaruh struktur

Karena logam las pada saat proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadinya pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen. Pengaruh struktur ini seperti struktur bainit atas dan ferit kasar akan menurunkan ketangguhan dan struktur bainit bawah dan martensit akan mempertinggi ketangguhan. Usaha-usaha mempertinggi ketangguhan pada suhu rendah telah digunakan tambahan unsur Ti pada logam las yang menyebabkan terbentuknya butir-butir ferit halus pada proses pengelasan dengan masukan panas tinggi (Okumura, 1994).

Pengelasan pada pelat-pelat tebal umumnya diikuti dengan pemanasan mendekati suhu rekristalisasi yang bertujuan menghilangkan tegangan sisa yang terjadi karena pengelasan, menurunkan kekerasan dari daerah las dan memperbaiki sifat-sifat lainnya. Perlakuan panas ini disebut pembebasan tegangan.

II.3 PENGELASAN BAJA KARBON

II.3.1 Pengelasan Baja Karbon Rendah

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit unsur-unsur Si, Mn, P, S dan Cu dan sifat dari baja ini sangat tergantung pada kadar



karbonnya. Baja karbon adalah baja yang memiliki kadar karbon kurang dari 0,3 %. Baja ini bisa dilas dengan semua cara pengelasan yang ada dalam praktek, baik pengelasan manual ataupun pengelasan otomatis dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya terpenuhi. Sifat mampu las baja ini sangat dipengaruhi oleh kekuatan takik dan kepekaan terhadap retak las

Kekuatan takik pada baja karbon rendah dapat dipertinggi dengan menurunkan kadar karbon C dan menaikkan kadar mangan Mn. Suhu transisi dari kekuatan takik menjadi turun dengan naiknya harga perbandingan Mn/C.

Baja karbon rendah memiliki kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau bila dalam baja tersebut terdapat belerang yang cukup tinggi. Retak las yang mungkin terjadi dapat dihindari dengan melakukan proses *pre heating* atau dengan menggunakan elektroda *low hydrogen* (Wiryosumarto dan Okumura, 1996).

II.3.2 Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Baja Karbon Tinggi

Baja karbon sedang dan tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Karena itu daerah pengaruh panas atau HAZ pada baja ini mudah menjadi keras bila dibandingkan dengan baja karbon rendah.

Sifatnya yang mudah keras ditambah dengan adanya *hydrogen diffusion* akan menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Terjadinya retak las dapat dihindari dengan melakukan *pre heating* dengan suhu yang sangat tergantung dari pada kadar karbon atau harga ekuivalen karbon. Untuk



mengurangi *hydrogen diffusion* yang juga menyebabkan terjadinya retak las, harus digunakan elektroda *low hydrogen*, sedangkan pengerasan pada daerah HAZ dapat dikurangi dengan pendinginan lambat atau dengan melakukan PWHT pada suhu antara 600° sampai 650° C.

II.4 METALURGI LAS

II.4.1 Struktur Atom

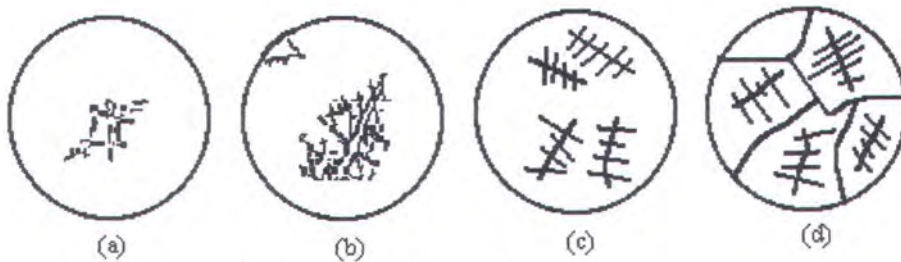
Metalurgi di dalam pengelasan adalah sifat dan struktur pada logam las dan daerah pengaruh panas (HAZ). Sifat dan struktur akhir logam las dan HAZ logam induk dapat dipakai sebagai patokan untuk memperkirakan baik atau tidaknya hasil suatu pengelasan. Logam terdiri atas atom-atom yang berbentuk kristal. Walaupun dalam keadaan padat ada sekelompok atom yang agak bebas yang memungkinkan terjadinya difusi. Dalam kristal yang membentuk logam, atom-atom diatur dalam kisi-kisi tertentu yang sukar bergerak. Tapi ada kisi-kisi kristal yang tak terlalu sempurna atau terdapat cacat-cacat sehingga ada kekosongan atau lubang yang memungkinkan atom berdifusi atau melompat kedalamnya. Bila pada daerah tersebut terjadi kekosongan energi, atom yang berdekatan dapat masuk menggantikannya. Dengan mekanisme tersebut, atom dapat bergerak dalam keadaan padat atau berdifusi. Studi kisi-kisi ruang dan struktur kristal membantu menerangkan bagaimana terjadinya suatu bentuk paduan.

Bila dilihat struktur logam dari keadaan cair menjadi padat, maka konsep dasar formasi kristal adalah proses pemadatan (*solidification*) dalam logam yang dimulai dari pengintian (*nucleation*) dan dilanjutkan dengan pertumbuhan kristal.



Pada umumnya terjadi lebih dulu pada pinggiran luar logam yang dingin terlebih dahulu. Pertumbuhan kristal merupakan gejala sejumlah besar atom yang sama membentuk kristal pada energi yang bebas atau energi paling rendah.

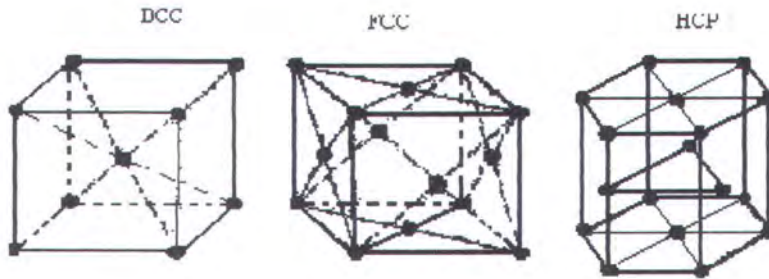
Sesudah pengintian, inti-inti yang terjadi akan tumbuh menjadi butir atau grain berupa struktur dendrite kolumnar seperti gambar 2.6.



Gambar 2.2 Struktur dendrite kolumnar
(Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1992)

Susunan geometri rapi dari atom adalah bentuk kristal yang berulang dalam pola tiga dimensi. Karena pola atom ini berulang secara tak berhingga, untuk mudahnya kisi kristal dibagi dalam sel satuan yaitu *Face Centered Cubic* (FCC), *Body Centered Cubic* (BCC), *Hexagonal Closed Packed* (HCP).

Pada temperatur kamar, besi memiliki *lattice crystal* BCC atau dinamakan besi α . Pada temperature antara $910-1400^{\circ}\text{C}$ kisi kristalnya adalah FCC atau dinamakan besi γ . Di atas temperature 1400°C sampai mencair kisi kristalnya adalah BCC atau besi δ .



Gambar 2.3 Geometri atom
(Tata Surdia dan ShinrokuSaito, 1992)

II.4.2 Siklus Termal Daerah Las

Siklus termal daerah las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Daerah lasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam las (*weld metal*), daerah pengaruh panas (HAZ), logam induk (*base metal*). Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. (Wiryosumarto dan Okumura, 1996)

Panas pada pengelasan dapat merubah sifat dan struktur mikro dari daerah lasan. Perubahan ini terjadi selama pemanasan pada saat pengelasan dan selama pendinginan berlangsung. Lamanya pendinginan dari 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. Pendekatan ini biasanya dinyatakan dalam bentuk nomograf atau rumus empiris.





Selama pengelasan, logam meleleh pada suhu 3000° F atau lebih tinggi. Di daerah sekitar las, base metal mempunyai suhu sekitar 600° F. Antara suhu 600° ~ 3000° F tersebut dimungkinkan terjadinya pengembangan butir, perubahan kekerasan dan sifat kekuatan dari logam.

Daerah yang dekat dengan weld metal mempunyai suhu yang paling tinggi dan semakin menurun seiring dengan jauhnya jarak dengan daerah ini. Pada gambar di atas, suhu pada tiap daerah baik dekat ataupun jauh dari *weld metal* menjadi sama pada selang waktu tertentu dan bersama-sama menurun sampai temperatur ruang. Perubahan yang terjadi pada *weld metal* ataupun *base metal* tergantung pada temperatur puncak logam saat mencair, lamanya waktu pemanasan (*holding time*), komposisi kimia logam dan proses pendinginan. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi perubahan ini adalah jumlah panas yang diberikan selama proses pengelasan berlangsung, sedangkan kecepatan pendinginan dapat mempengaruhi ukuran butir dan struktur mikro.

II.5 PERLAKUAN PANAS

II.5.1 Pendahuluan

Heat Treatment (perlakuan panas) adalah proses operasi atau kombinasi operasi yang meliputi pemanasan logam atau paduan dalam bentuk padatan hingga temperatur tertentu, diikuti oleh pendinginan dengan kecepatan tertentu untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik dan fisik yang diinginkan (Bawa, 1986).

Proses *heat treatment* ini pada dasarnya terdiri atas beberapa tahapan yang dimulai dengan memanaskan sampai temperatur tertentu diikuti dengan



penahanan selama beberapa saat, baru setelah itu dilakukan pendinginan dengan laju pendinginan tertentu. Yang membedakan suatu proses perlakuan yang satu dengan yang lain (juga menentukan sifat dari baja setelah proses berakhir) :

1. Temperatur pemanasan.
2. Lamanya laju penahanan (*Holding Time*).
3. Laju pendinginan (*Cooling Rate*).

Sifat mekanik baja tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tetapi juga tergantung pada mikrostrukturnya. Perbedaan mikrostruktur selain terjadi karena perbedaan komposisi kimia juga akibat proses pembentukan dan perbedaan perlakuan panas yang dihadapi. Proses perlakuan panas terhadap baja pada umumnya akan melibatkan transformasi/dekomposisi austenit. Struktur dan bentuk baja hasil transformasi/dekomposisi tersebut akan menentukan sifat mekanik dan sifat fisik baja yang mengalami perlakuan panas.

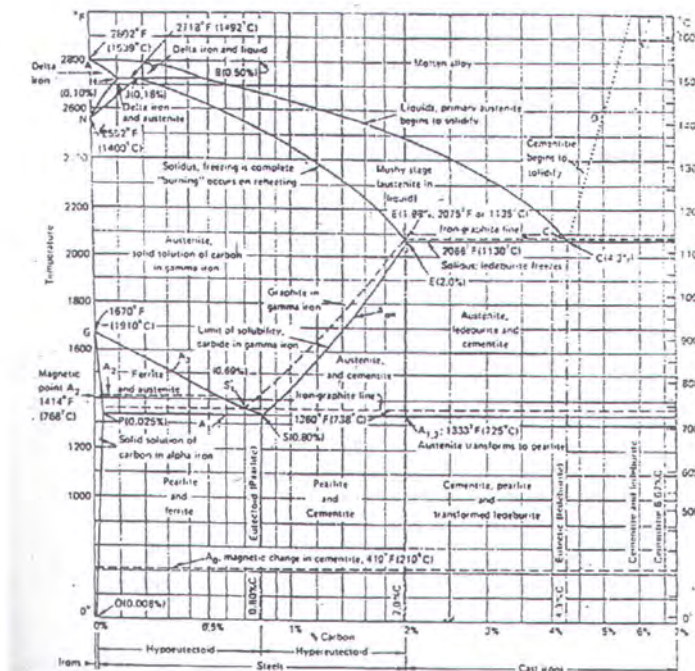
Secara umum proses laku panas dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu proses laku panas yang menghasilkan struktur yang ekuilibrium, seperti misalnya annealing, normalizing, spheroidising dan lain-lain, dan proses laku panas yang menghasilkan struktur yang non-ekuilibrium, yaitu pengerasan.

Prinsip-prinsip perlakuan panas untuk proses yang menghasilkan struktur yang ekuilibrium dapat dipelajari dari diagram ekuilibrium sedangkan untuk proses yang menghasilkan struktur yang non-ekuilibrium ada sejumlah aspek lain yang perlu diketahui.



II.5.2 Besi-Karbon Equilibrium Diagram

Dalam besi cair, karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat larutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon dapat membentuk senyawa interstitial, eutektik, eutektoid atau mungkin juga karbon terpisah (sebagai grafit). Diagram keseimbangan besi-karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstitialnya, karbida besi Fe_3C yang mengandung 6,67% C. Diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram besi-karbida besi atau diagram $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$. Diagram ini dapat dianggap merupakan diagram ekuilibrium, karena perubahan-perubahan yang terjadi selama pemanasan dan pendinginan berlangsung cukup lambat.



*Gambar 2.4 Diagram Equilibrium Besi-Karbon dan struktur mikronya
(Karl-Erik Thelning, 1974)



Diagram besi-karbida besi di atas terdiri dari fase-fase padat : α ferit, austenit, sementit dan δ ferrit.

α ferit, fase ini adalah larutan padatan interstitial karbon dalam struktur kristal besi BCC. Karbon sedikit larut dalam α ferrit. Maksimum daya larut padatan adalah 0,025 % pada 723° C dan menurun hingga 0,005 % pada 0° C. α ferrit ini bersifat lunak dan ductile.

Austenit, fase ini adalah larutan padatan interstitial karbon dalam struktur kristal besi FCC. Daya larut karbon lebih tinggi dari α ferit, maksimum adalah 2,08 % pada 1148° C dan menurun hingga 0,8 % pada 723° C. Bersifat tangguh, lunak dan *ductile*. Austenit mempunyai tahanan listrik dan koefisien ekspansi termal yang lebih tinggi dari pada ferrit dan pada dasarnya bersifat non magnetik (paramagnetik).

Sementit, karbida besi (Fe_3C) merupakan senyawa interstitial. Sementit mempunyai daya larut terbatas dan komposisinya 6,67 % C dan 93,3 % Fe. Bersifat sangat keras, getas dan kekuatan rendah. Jumlah dan distribusi sementit dalam matriks ferit dan austenit besar pengaruhnya terhadap sifat baja. Sementit bersifat ferromagnetik dibawah temperatur 210° C. Dengan menggunakan mikroskop, bentuk mikrostrukturnya terlihat putih terang.

δ ferrit, fase ini adalah larutan padatan interstitial karbon dalam struktur kristal besi BCC (seperti α ferrit) tetapi mempunyai kisi-kisi yang lebih besar. Maksimum daya larut karbon dalam δ ferrit 0,09 % pada 1465° C.

Selain fase-fase di atas, terdapat juga bentuk fase padatan lainnya yaitu (Bawa, 1986) :



Perlit, suatu bentuk *eutektoid mixture* dari ferit dan sementit, mengandung 0,8 % karbon dalam besi yang terbentuk pada 723° C dan stabil di bawah temperatur kritis.

Martensit, diperoleh dengan jalan mendinginkan baja secara cepat/tiba-tiba dari daerah austenit ke temperatur kamar. Disebut juga larutan padatan lewat jenuh dari karbon dalam besi dan mempunyai struktur seperti jarum. Bersifat *brittle* dan magnet.

Bainit, mempunyai bentuk struktur seperti jarum dan terdapat pada besi paduan. Selama *heat treatment*, *lower bainit* dibentuk pada temperatur 325° C dan *upper bainit* dibentuk pada 400° C. Struktur bainit ini kadang-kadang terlihat menyerupai martensit temper.

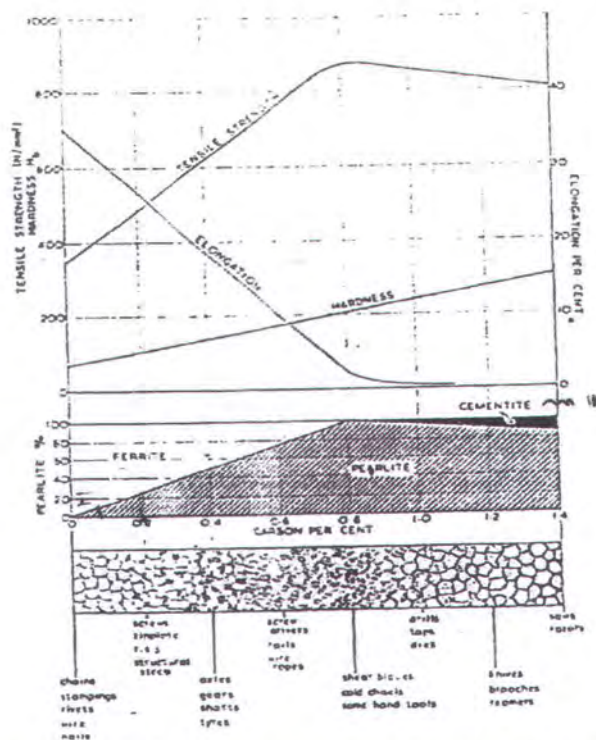
Dari diagram tersebut dapat diketahui bahwa paduan dengan kadar karbon lebih dari 2 % akan terdiri dari sejumlah eutektik (ledeburit). Eutektik ini bersifat getas sehingga tidak dapat dikerjakan dengan cara lain selain dengan penuangan kemudian dimachining. Karena itu paduan dengan komposisi ini dinamakan dengan besi tuang.

Sedangkan paduan dengan kadar karbon kurang dari 2 % mempunyai sifat lebih ulet, dapat dibentuk dengan berbagai proses pembentukan, dinamakan baja. Sifat baja ini banyak tergantung pada kadar karbonnya. Makin tinggi kadar karbon yang dimiliki maka sifat mekanik baja tersebut akan makin kuat, keras tetapi juga makin getas, hal ini dikarenakan adanya perbedaan struktur mikro yang dimiliki. Pada baja dengan kadar karbon yang rendah, semua karbon dapat larut dalam besi α , struktur mikronya berupa ferit yang bersifat lunak dan ulet. Untuk



kadar karbon yang lebih tinggi struktur yang dihasilkan terdiri dari ferit dan perlit, sedangkan pada komposisi eutektoid (0,8 % C) struktur seluruhnya berupa perlit yang memiliki sifat yang cukup kuat, keras tetapi agak getas. Kenaikan kekuatan ini berlaku sampai komposisi eutektoid. Bila baja dengan komposisi yang melebihi komposisi eutektoid maka struktur yang dihasilkan terdiri atas perlit dengan jaringan sementit dimana sementit ini menyebabkan baja menjadi keras dan getas namun kekuatannya sedikit menurun.

Struktur mikro di atas terjadi bila pada baja dikenai pendinginan yang sangat lambat, struktur tersebut akan berbeda bila baja mengalami pendinginan dengan laju yang berbeda pula



Gambar 2.5 Hubungan kadar karbon, struktur mikro dan sifat mekanik baja karbon (Suherman)



Transformasi yang terjadi selama proses pemanasan dan pendinginan dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Proses Pemanasan

Pada suhu kamar, baja eutektoid terdiri dari butir-butir kristal perlit. Perubahan struktur belum nampak ketika baja ini dipanaskan sampai temperatur di bawah temperatur kritis A_1 . Tetapi bila pemanasan dilanjutkan hingga tepat pada temperatur kritis A_1 maka perlit akan mengalami reaksi eutektoid, lamel-lamel ferit dan sementit dari perlit akan bereaksi menjadi austenit. Reaksi eutektoid seluruhnya terjadi pada fase padat. Reaksi ini akan berlangsung pada temperatur konstan, temperatur tidak akan naik sebelum reaksi eutektoid selesai atau seluruh ferit dan sementit di dalam perlit habis menjadi austenit.

Baja *hypoeutektoid* pada temperatur kamar terdiri dari butir-butir kristal ferrit dan perlit. Bila baja ini dipanaskan sampai pada temperatur dibawah temperatur kritis A_1 maka perlit akan mengalami reaksi eutektoid, lamel-lamel ferrit dan sementit dari perlit akan bereaksi menjadi austenit. Setelah perlit habis dan mulai terjadi kenaikan temperatur maka ferit akan mulai mengalami transformasi allotropic, ferrit yang BCC akan menjadi austenit yang FCC. Transformasi ini berlangsung bersamaan dengan naiknya temperatur. Makin tinggi temperatur pemanasan maka makin banyak ferit yang bertransformasi menjadi austenit.

Untuk baja *hypereutectoid* pada temperatur kamar, struktur mikro yang terjadi adalah perlit dan sementit yang membungkus kristal-kristal perlit. Bila baja ini mengalami pemanasan hingga temperatur kritis A_1 maka akan mulai terjadi



reaksi eutektoid. Ferrit dan sementit akan bereaksi menjadi austenit. Pada temperatur kritis A_1 ini austenit mengandung 0,8 % C dan karbon lainnya berada pada sementit. Dengan menaikkan temperatur di atas temperatur kritis maka kemampuan austenit untuk melarutkan karbon akan bertambah sehingga karbon yang berada di sementit sedikit demi sedikit akan larut ke austenit. Jaringan sementit makin menipis dan habis hingga struktur yang terbentuk seluruhnya austenit.

Austenit yang terjadi, baik untuk baja eutektoid, hypoeutektoid dan hypereutektoid masih belum homogen. Agar semua austenit yang terjadi menjadi homogen maka perlu diberikan waktu untuk berlangsungnya difusi. Disamping itu austenit yang baru terbentuk masih berupa butiran-butiran yang kecil. Butiran kristal austenit ini akan tumbuh makin besar bila diberi cukup waktu tumbuh, dan pertumbuhan makin cepat bila temperatur makin tinggi.

2. Proses Pendinginan

Untuk pendinginan yang equilibrium hal yang sebaliknya dari peristiwa pada pemanasan equilibrium akan terjadi. Austenit fase tunggal dari baja eutektoid bila didinginkan secara equilibrium akan mengalami reaksi eutektoid pada A_1 , menjadi perlit. Sedang austenit fase tunggal dari baja hypoeutektoid terlebih dulu akan mengalami transformasi allotropik sebelum berlangsungnya reaksi eutektoid. Pada A_3 sebagian austenit mulai bertransformasi menjadi ferit, yaitu dengan terbentuknya inti ferit pada batas butir austenit. Dengan turunnya temperatur inti ini akan tumbuh makin besar, makin banyak austenit yang berubah menjadi ferit.



Ferit sedikit sekali melarutkan karbon, sedang sebagai austenit kadar karbonnya lebih tinggi, karena itu austenit yang akan berubah menjadi ferit harus mengeluarkan karbonnya sehingga sisa austenit (yang belum menjadi ferit) kadar karbonnya akan naik. Sehingga pada saat mencapai temperatur A_1 komposisi sisa austenit mencapai komposisi eutektoid dan sisa austenit ini akan bertransformasi menjadi perlit, sedang ferit yang sudah terbentuk sebelumnya tidak lagi mengalami perubahan. Struktur pada setelah transformasi selesai terdiri dari butiran kristal ferit dan perlit.

Untuk perubahan fase dari austenit fase tunggal baja hypereutektoid dapat digambarkan sebagai berikut, bila austenit ini didinginkan secara equilibrium akan mencapai batas jenuhnya pada temperatur A_{cm} . A_{cm} ini adalah garis solvus yang merupakan batas kelarutan karbon dalam austenit. Makin rendah temperatur makin rendah pula kemampuan austenit melarutkan karbon. Maka pada temperatur di bawah A_{cm} harus ada karbon yang keluar dari austenit. Karbon akan keluar dari sementit. Sementit ini mengumpul pada batas butir austenit.

Dengan keluarnya karbon menjadi sementit ini maka kadar karbon dalam sisa austenit akan turun sehingga pada temperatur A_1 komposisi sisa austenit mencapai komposisi eutektoid, dan sisa austenit akan mengalami reaksi eutektoid, menjadi perlit. Struktur pada temperatur kamar terdiri dari perlit dikelilingi jaringan sementit.



II.5.3 Diagram Transformasi

Diagram fase merupakan suatu dasar yang sangat penting bagi proses laku panas, akan tetapi diagram ini hanya menunjukkan kondisi setelah tercapainya keadaan ekuilibrium, yaitu keadaan yang tidak berubah oleh waktu, keadaan ini dapat diperoleh dengan melakukan pemanasan dan pendinginan yang sangat lambat, selain itu diagram fase berlaku untuk semua paduan dari suatu sistem paduan. Sedangkan bagi kebanyakan proses laku panas, pemanasan dan pendinginan yang terjadi tidak dalam waktu yang sangat lama, sehingga dibuatlah diagram transformasi yang memperlihatkan perkembangan transformasi terhadap waktu dan temperatur.

II.5.3.1 Diagram transformasi untuk pemanasan

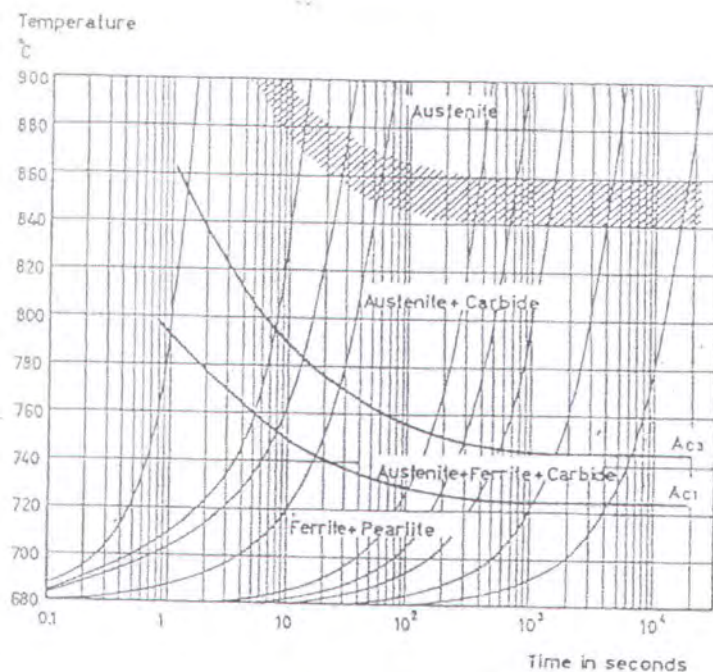
Diagram ini memperlihatkan pengaruh temperatur dan waktu terhadap perkembangan transformasi pada pemanasan. Bila suatu baja dipanaskan dengan sangat cepat ke berbagai temperature dan diamati berapa waktu yang diperlukan untuk mulai dan berakhirnya suatu transformasi di masing-masing temperatur, maka akan diperoleh beberapa kurva. Ada dua jenis diagram transformasi untuk pemanasan yaitu diagram transformasi isothermal dan diagram transformasi pendinginan kontinyu.

Pada diagram transformasi isothermal transformasi yang terjadi berlangsung pada temperatur yang konstan, dimana specimen dipanaskan dengan sangat cepat ke suatu temperatur tertentu lalu ditahan pada temperatur tersebut sehingga transformasi berlangsung secara isothermal. Pemanasan dengan cara seperti itu hanya dapat dilakukan pada benda kerja yang kecil dan dengan



menggunakan dapur khusus. Pemanasan dengan cara seperti itu jarang dilakukan pada proses laku panas. Laju pemanasan biasanya tidak begitu tinggi sehingga transformasi akan berlangsung bersama dengan naiknya temperatur.

Pada diagram transformasi untuk pemanasan kontinyu dapat dilihat hubungan atau pengaruh laju pemanasan terhadap temperatur transformasi. Makin tinggi laju pemanasan makin tinggi juga temperatur transformasinya. Laju pemanasan ke suatu temperatur juga berpengaruh terhadap laju transformasi dan laju pelarutan, makin tinggi laju pemanasan makin tinggi pula laju transformasi dan pelarutan.



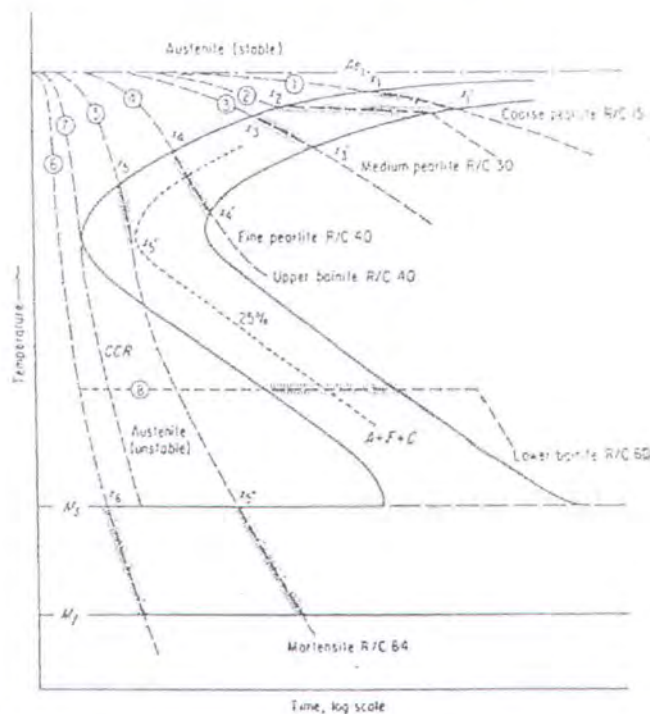
Gambar 2.6 Diagram transformasi untuk pemanasan kontinyu
(B. Zakharov)



II.5.3.2 Diagram transformasi untuk pendinginan

Diagram transformasi untuk pendinginan terdiri atas dua jenis yaitu diagram transformasi isothermal dan diagram transformasi pendinginan kontinu.

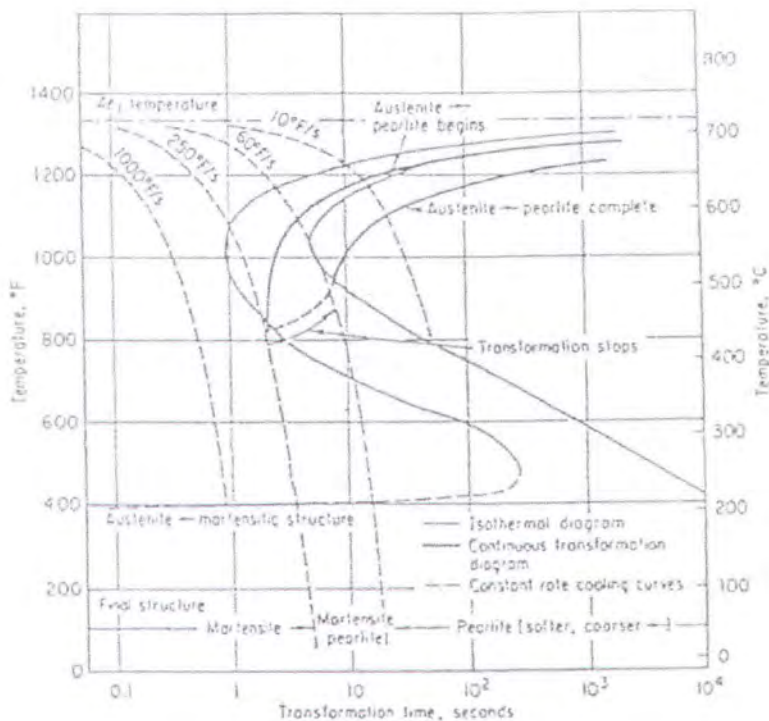
Diagram transformasi isothermal sering disebut juga dengan IT-Diagram (Isothermal Transformation Diagram) atau TTT Diagram (Time Temperatur Transformation Diagram) diperoleh dengan jalan memanaskan sejumlah spesimen kecil dari baja yang akan dibuat diagram transformasinya sampai ke temperatur austenit, lalu spesimen didinginkan cepat masing-masing ke temperatur yang berbeda dibawah temperatur kritis dan ditahan pada temperatur tersebut dan diamati perubahan yang terjadi dari waktu mulai dan berakhirnya transformasi untuk kemudian hasilnya diplot kedalam suatu salib sumbu temperatur-waktu.



Gambar 2.7 Diagram transformasi isothermal (TTT Diagram) (B. Zakharov)



Pada diagram transformasi pendinginan kontinyu atau CCT-Diagram (Continuous Cooling Transformation Diagram) memiliki bentuk yang agak berbeda dengan IT Diagram pada CCT diagram bentuk kurva tergeser kekanan bawah, dan pada baja karbon tidak terdapat daerah transformasi austenit-bainit. Pada kurva CCT Diagram ini tampak bahwa dengan pendinginan kontinyu lebih mudah diperoleh struktur martensit, hal ini dikarenakan kurva tergeser ke kanan.



Gambar 2.8 Diagram transformasi untuk pendinginan kontinyu (CCT Diagram)

(B. Zakharov)

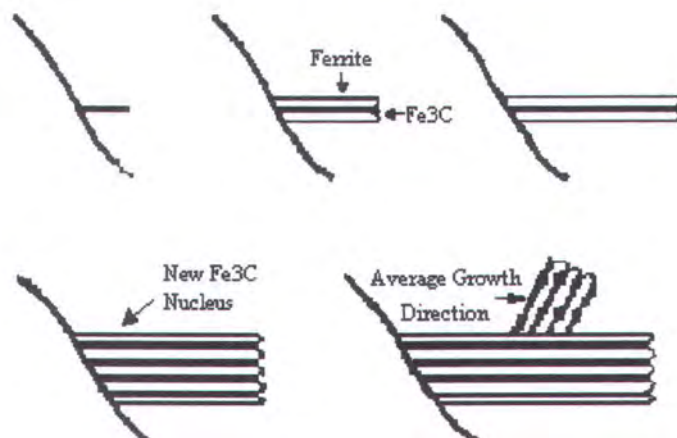
Pada diaram transformasi di atas terbentuk beberapa struktur mikro yang berbeda sesuai dengan pemanasan dan pendinginan yang dikenai oleh material



tersebut, adapun mekanisme pembentukan beberapa struktur yang terdapat dalam diagram transformasi di atas adalah sebagai berikut :

1. Pembentukan perlit

Pembentukan perlit dimulai dengan terbentuknya inti sementit pada batas butir austenit. Atom karbon dari austenit di sekitar inti sementit tadi akan berdifusi keluar, bergabung dengan inti sementit yang sudah ada. Kadar karbon dalam austenit di sekitar sementit menjadi rendah, dan akan berubah menjadi ferit. Karbon pada austenit akan terus keluar sehingga akan terbentuk lagi sementit, ferit, sementit,.....dan seterusnya sehingga didapatkan struktur yang berlapis yang terdiri dari lamel ferit dan sementit. Lamel-lamel ini akan semakin tipis bila transformasi berlangsung pada temperatur yang lebih rendah (butiran perlit juga akan makin halus).



Gambar 2.9 Pengintian dan pertumbuhan lamel perlit
(suherman, 1974)

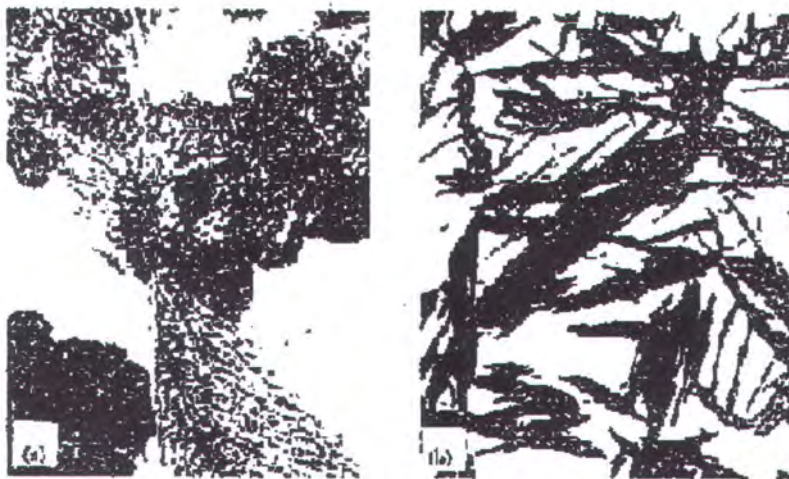




2. Pembentukan bainit

Pada temperatur di bawah hidung ($\pm 550^{\circ}\text{C}$), suatu konstituen lain mulai terbentuk yaitu bainit. Pada temperatur rendah ini austenit bersifat metastabil, ia akan mengalami *driving force* yang besar untuk berubah dari FCC menjadi BCC, karena *driving force* tersebut akan terbentuk ferit. Karena ferit tidak mampu melarutkan karbon maka karbon akan berdifusi keluar dari ferit sebagai karbida. Sementara austenit disekitar ferit tadi juga akan berubah menjadi ferit sehingga akhirnya akan diperoleh suatu struktur berupa bilah-bilah ferit yang didalamnya terdapat platelet sementit dengan arah hampir sejajar dengan sumbu pertumbuhannya, struktur mikro demikian disebut dengan bainit atas.

Bila transformasi terjadi pada temperatur lebih rendah lagi maka bilah-bilah ferit makin halus, berbentuk jarum (*acicular*), dan platelet sementit arahnya tidak lagi sejajar dengan sumbu tapi membentuk sudut $\pm 55^{\circ}$, Struktur ini dinamakan bainit bawah.

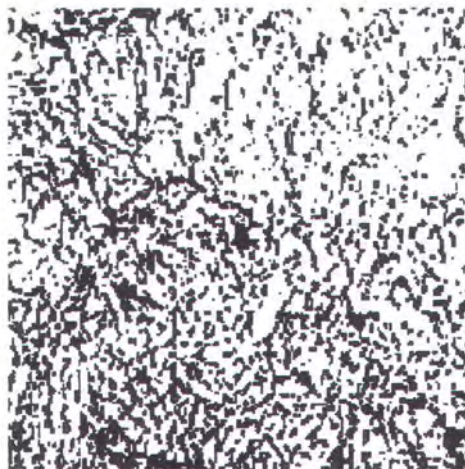


Gambar 2.10 Struktur mikro bainit atas dan bainit bawah (suherman, 1974)



3. Pembentukan martensit

Bila austenit didinginkan dengan cepat dan dapat mencapai temperatur M_s sebelum menjadi struktur lain maka pada saat itu mulai terbentuk martensit. Pada temperatur yang sangat rendah ini austenit mengalami *driving force* yang sangat besar untuk berubah dari FCC menjadi BCC, yang menimbulkan *shear force* terhadap atom-atomnya. Ini akan menyebabkan atom-atomnya sedikit tergeser untuk menuju bentuk BCC, tetapi karena didalamnya masih terdapat banyak karbon (yang tadinya larut dalam austenit dan masih belum sempat keluar) dan karbon ini sudah tidak dapat lagi berdifusi keluar karena rendahnya temperatur maka struktur BCC tidak akan tercapai, sehingga akan mengakibatkan salah satu rusuk sel satuannya menjadi lebih panjang daripada yang lain dan berubah bentuk menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*). Struktur BCT ini sangat tegang sehingga memiliki sifat sangat keras dan getas. Di bawah mikroskop martensit memiliki bentuk seperti jarum-jarum dengan warna hitam yang tersebar.



Gambar 2.11 Struktur mikro martensit dari baja 1 % C yang diquench (suherman, 1987)



Kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon dalam austenitnya, makin tinggi kadar karbon yang dimiliki oleh austenit maka makin tinggi tingkat kekerasan yang dimiliki oleh struktur martensitnya.

BAB III
SIFAT MEKANIK DAN PENGUJIANNYA



BAB III

SIFAT MEKANIK DAN PENGUJIANNYA

III.1 SIFAT MEKANIK

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting dalam mempelajari tentang ilmu bahan atau material teknik, hal ini dikarenakan sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan untuk menerima beban/ gaya/ energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan/ komponen tersebut.

Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain adalah :

- Kekuatan (*Strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam tergantung pada jenis beban yang bekerja, seperti kekuatan tarik, kekuatan torsi dan kekuatan lengkung.
- Kekerasan (*Hardness*) menyatakan kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan, indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus. Sifat ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
- Ketangguhan (*Toughness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan, juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja pada suatu kondisi tertentu.



- Kelelahan (*Fatigue*) menyatakan kecenderungan suatu bahan untuk patah bila menerima beban berulang-ulang yang besarnya masih jauh di bawah batas kekuatan elastisnya, dan lain-lain.

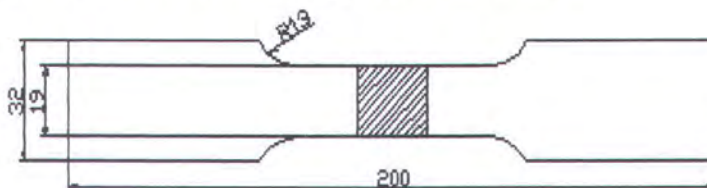
III.2 PENGUJIAN MEKANIK

Pengujian mekanik sangat diperlukan untuk mengetahui/ mengukur sifat logam yang bersangkutan. Pengujian biasanya dilakukan terhadap sample bahan yang dipersiapkan menjadi test piece dengan bentuk dan ukuran yang standar.

Beberapa pengujian mekanik yang banyak dilakukan adalah pengujian tarik (*tensile test*), pengujian kekerasan (*hardness test*), dan pengujian pukul takik (*impact test*).

III.2.1 Pengujian Tarik

Kekuatan tarik merupakan sifat mekanik logam yang penting. Kekuatan tarik suatu logam/ bahan dapat diketahui dengan menguji tarik bahan tersebut. Pada pengujian tarik spesimen dikenai beban uji aksial yang semakin besar secara kontinyu. Bahan yang akan diuji tarik mula-mula dibuat menjadi batang uji dengan bentuk yang sesuai dengan standar, dimana bagian tengah dari batang uji tersebut merupakan bagian yang menerima tegangan yang uniform.



Gambar 3.1 Bentuk spesimen uji tarik



Data yang diperoleh oleh mesin tarik dinyatakan dengan grafik beban-pertambahan panjang (grafik $P-\Delta L$), dimana dari grafik ini dapat digunakan untuk mendapatkan diagram tegangan-regangan (*stress-strain diagram*), dimana besarnya tegangan yang bekerja pada saat batang uji menerima beban adalah sebesar :

$$\sigma = P/A_0, \text{ dimana :}$$

σ = tegangan (kg/mm^2)

P = beban (kg)

A_0 = Luas penampang batang uji mula-mula

Selain itu pada saat tersebut terjadi juga regangan yang besarnya :

$$\varepsilon = \Delta L/L_0 = (L - L_0)/L_0, \text{ dimana :}$$

L_0 = Panjang batang uji mula-mula (mm)

L = Panjang batang uji setelah menerima beban (mm)

Diagram tegangan-regangan terbagi atas dua daerah yaitu daerah elastis dan daerah plastis. Batas dari kedua daerah tersebut adalah batas elastik, namun hal ini tidak praktis karena batas untuk daerah tersebut sulit dicari, sehingga digunakalah titik yield (*yield point*) sebagai batas antara daerah elastis daerah plastis. Pada logam-logam yang ulet titik yield dapat diketahui dengan jelas, tetapi pada logam-logam yang getas titik yield ini tidak tampak dengan jelas dan bahkan sama sekali tak terlihat sehingga untuk mencarinya digunakan metode offset dimana yield dianggap mulai terjadi jika pada material sudah timbul regangan plastis sebesar 0,2 %. Secara grafik, offset yield strength dapat dicari dengan



menarik garis sejajar dengan garis elastis dari titik regangan 0,2 % hingga memotong kurva .titik perpotongan ini menunjukkan titik yield.

III.2.2 Pengujian Kekerasan

Kekerasan adalah kemampuan suatu bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan, indentasi atau abrasi. Untuk mengetahui tingkat kekerasan daripada material maka dilakukan pengujian kekerasan (*hardness test*). Hasil pengujian kekerasan ini tidak dapat langsung digunakan dalam desain seperti halnya pengujian tarik, namun demikian pengujian kekerasan banyak dilakukan, sebab hasilnya dapat dilakukan 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 dikatakan sebagai kontrol terhadap proses yang sedang dilakukan.

Ada beberapa cara pengujian kekeasan yang terstandar yang digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan logam, yaitu pengujian brinell, Rockwell, Vickers, Meyers dan lain-lain.



III.2.2.1 Pengujian Brinell

Pada pengujian kekerasan brinell ini dilakukan penekanan pada material menggunakan bola baja yang telah dikeraskan dengan diameter D dan pembebanan P . Penekanan ini dilakukan selama waktu tertentu (antara 10 sampai 30 detik). Akibat dari penekanan tersebut pada permukaan material uji akan terbentuk tapak tekan yang berbentuk tembereng bola. Kekerasan brinell ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$BHN = \frac{Loadmass}{IndentedArea}$$
$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}}$$

dimana :

P = beban yang dikenai pada material uji

D = diameter bola

d = diameter tembereng bola

Kekurangan dari pengujian kekerasan brinell ini adalah pengujian ini akan mengakibatkan terjadinya indentasi yang cukup besar, karena itu biasanya tidak digunakan pada permukaan finished product dan benda yang kecil/ tipis. Selain itu brinell tidak menuntut kehalusan permukaan yang terlalu tinggi dan pengukuran tapak tekan dilakukan secara manual, sehingga akan memakan waktu dan memberi peluang untuk terjadinya kesalahan pengukuran.

III.2.2.2 Pengujian Rockwell

Pengujian kekerasan rockwell ini menggunakan beban dan indentor yang lebih kecil dibandingkan dengan pengujian kekerasan brinell. Pengujian kekerasan



ini banyak digunakan oleh industri dikarenakan pelaksanaannya yang lebih cepat dengan hasil yang akurat, hal ini disebabkan pengukuran dilakukan oleh mesin dan mesin langsung menunjukkan angka kekerasan dari material uji.

Pada cara rockwell mula-mula permukaan logam ditekan oleh indentor dengan beban sebesar 10 kg sehingga ujung indentor menembus permukaan material sedalam h_0 . Penekanan tersebut diteruskan dengan memberikan beban major selama beberapa saat, kemudian beban utama dilepas, hanya tinggal beban awal, pada saat ini kedalaman ujung penetrasi indentor adalah h_1 . Angka kekerasan Rockwell ini tidak bersatuan tetapi didahului dengan huruf depan yang menyatakan kondisi pengujian, untuk logam biasanya digunakan skala B atau skala C dan angka kekerasannya dinyatakan dengan R_b dan R_c , angka kekerasan R_b dan R_c ini dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h_1).

Kelebihan dari pengujian kekerasan Rockwell ini adalah pengukurannya lebih cepat dan akurat, disamping itu pengujian ini hanya menimbulkan bekas yang sangat kecil sehingga tidak mengakibatkan cacat pada permukaan. Sedangkan kekurangan dari pengujian kekerasan Rockwell ini adalah pengujian ini tidak baik bila digunakan pada bahan yang tidak homogen dan pengujian ini memerlukan persiapan material uji yang sangat teliti, dimana persiapannya hampir sama seperti pengujian metallurgy.

III.2.2.3 Pengujian Vickers

Prinsip dasar pengujian kekerasan Vickers ini sama dengan pengujian Brinell, hanya saja indentor yang digunakan adalah indentor intan yang berbentuk piramid beraturan bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang



berhadapan 136° . Tapak tekan yang terjadi berbentuk bujur sangkar dan pengukuran dilakukan dengan mengukur panjang kedua diagonalnya untuk kemudian diambil nilai rata-ratanya untuk digunakan mencari nilai kekerasan Vickers. Angka kekerasan Vickers dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$HV = \frac{2P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2}$$
$$HV = \frac{1,854P}{d^2}$$

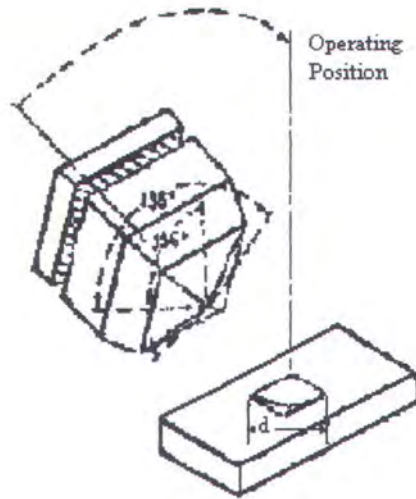
dimana :

P = gaya tekan (kg).

d = diagonal tapaktekan rata-rata.

α = sudut puncak indenter = 136° .

Hasil pengujian ini tidak tergantung pada besarnya gaya tekan dalam artian dengan gaya tekan yang berbeda akan menunjukkan hasil yang sama untuk bahan yang sama. Dengan demikian Vickers dapat mengukur kekerasan bahan mulai dari yang sangat lunak sampai yang amat keras tanpa harus mengganti gaya tekan. Besarnya gaya tekan dapat dipilih antara 1 sampai 120 kg, tergantung pada ketebalan material uji agar diperoleh tapak tekan yang mudah diukur.



Gambar 3.2 Indentor intan pada pengujian vickers
Suherman (1987)

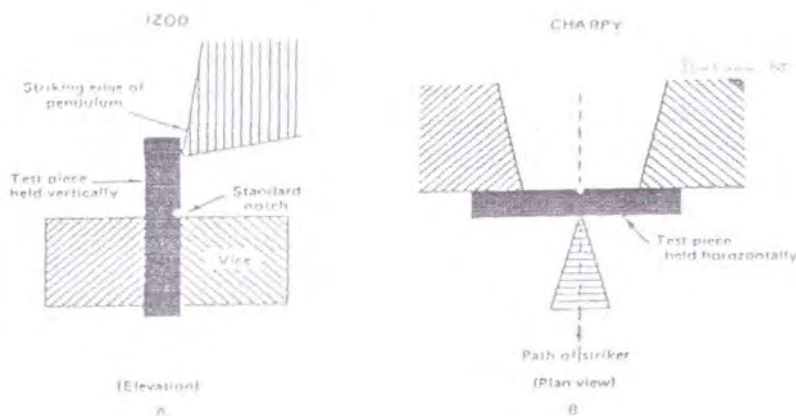
Kelebihan dari pengujian kekerasan Vickers ini adalah pada pengujian ini dapat diukur kekerasan bahan dari yang terlunak sampai yang sangat keras tanpa harus terpengaruh oleh besarnya gaya tekan yang dipakai, karena hanya ada satu skala saja maka akan dengan sangat mudah untuk membandingkan nilai kekerasan material yang satu dengan yang lain. Sedangkan kerugian dari pengujian Vickers ini adalah pada pengujian ini pengukuran tapak tekan dilakukan secara manual, sehingga akan memakan waktu dan memungkinkan terjadinya kesalahan pengukuran. Selain itu pengujian Vickers ini sangat sensitive terhadap kekasaran permukaan sehingga diperlukan persiapan dalam menghaluskan permukaan material yang akan diuji.

III.2.3 Pengujian impact

Impact test bisa diartikan sebagai suatu test yang mengukur toughness atau kekenyalan dari suatu material; yaitu kemampuan suatu material untuk menyerap



energi sebelum terjadinya patahan. Pada pengujian ini digunakan material uji yang bertakik yang dipukul dengan sebuah bandul. Pada pengujian ini digunakan sebuah mesin dimana terdapat suatu batang yang pada ujungnya dipasang pemukul yang diberi pemberat yang dapat berayun dengan bebas. Material uji diletakkan di bagian bawah mesin dan takikan tepat berada pada bidang lintasan pemukul. Ada dua metode pengujian yang digunakan dalam pengujian ini yaitu metode charpy dan metode izod. Pada metode izod penjepitan material uji dilakukan pada salah satu ujungnya sehingga posisi takikan berada didekat penjepitnya, bandul/ pemukul yang diayunkan akan memukul ujung yang lain dari arah takikan. Metode ini paling banyak digunakan di negara inggris. Pada metode charpy material uji diletakkan mendatar oleh penahan yang berjarak 40 mm. bandul akan memukul batang uji tepat dibelakang takikan.



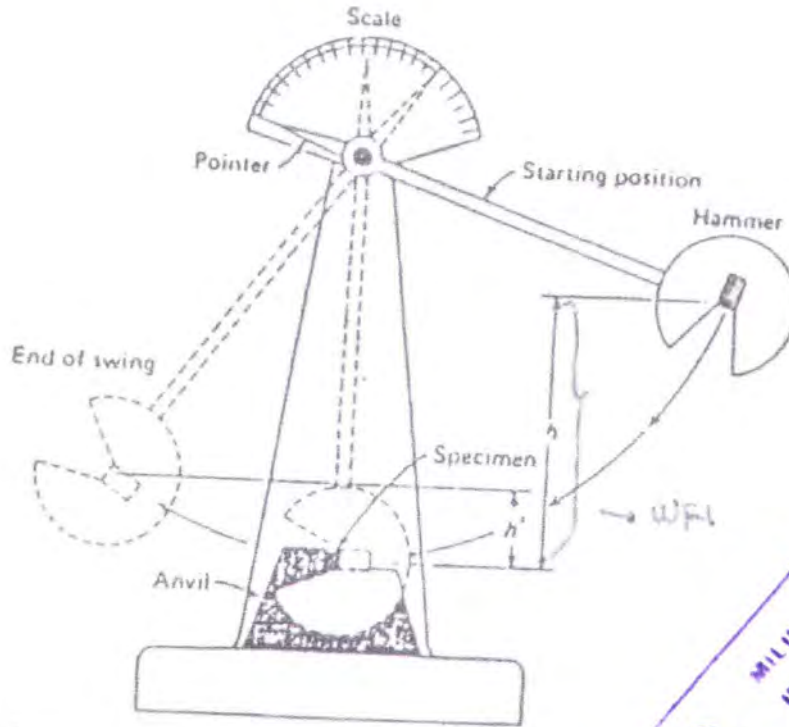
Gambar 3.3 Metode pengujian impact

Suherman (1987)

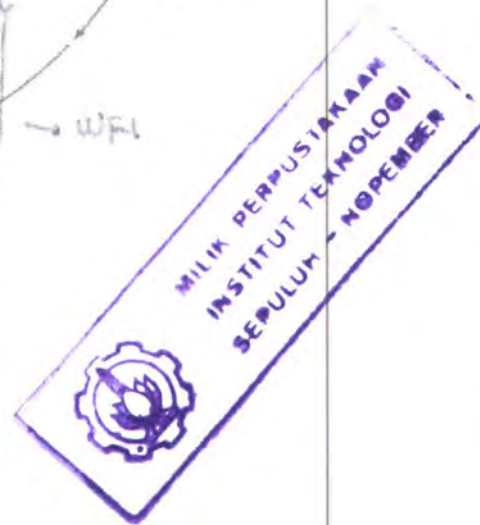
Pada pengujian ini pemukul dinaikkan setinggi H , dari posisi tersebut pemukul dilepaskan dan berayun bebas memukul material uji hingga patah, namun pemukul masih berayun setinggi H_1 , energi untuk mematahkan material uji



adalah selisih antara energi awal yaitu energi saat pemukul berada pada ketinggian H dengan energi akhir yaitu energi pada saat pemukul berayun setinggi H_1 .



Gambar 3.4 Mesin impact
Suherman (1987)



Hasil pengukuran pada impact test ini masih tidak dapat digunakan untuk keperluan perhitungan suatu desain. Hasil pengukuran ini hanya dapat digunakan sebagai pembanding sifat ketangguhan (*toughness*) suatu material yang satu dengan yang lainnya, hal ini dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi impact strength yang tidak dapat dicari korelasinya antara kondisi pengujian dengan kondisi di lapangan. Untuk mempelajari pola patahan yang terjadi pada material uji maka dilakukan pengamatan visual pada permukaan patahan. Patahan



getas tampak berkilat dan berbutir sedangkan untuk patahan ulet tampak lebih suram dan berserabut, sedangkan keuletan dari material ditunjukkan dengan prosentase pengecilan penampang pada patahan. Bentuk dan ukuran material uji impact ini antara lain bentuk penampang material uji berbentuk bujur sangkar dengan dimensi 10 x 10 mm dengan bentuk takikan V atau bentuk U. takikan bentuk V biasanya digunakan pada logam-logam yang dianggap ulet sedangkan untuk logam yang getas menggunakan bentuk takikan U.

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN



BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam Bab ini dibahas mengenai prosedur dari pelaksanaan penelitian, yang meliputi tahapan-tahapan pelaksanaan proses pengelasan, persiapan dan pembuatan spesimen uji, proses pemanasan dan pelaksanaan pengujian.

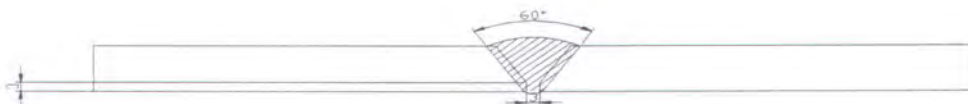
IV.1 PERSIAPAN SPESIMEN

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah SS 41 standart JIS G3101 dengan ketebalan 15 mm

Data mekanis dari baja karbon rendah SS 41 :

- Tensile Strength : 41 ~ 52 kg/mm².
- Yield Strength : min. 25 kg/mm².
- Elongation : min. 17 %.

Baja karbon rendah SS 41 yang berupa pelat dipotong dengan ukuran 200 x 250 x 15 mm sebanyak 10 (sepuluh) lembar, dimana pada tiap-tiap pelat salah satu sisi memanjangnya di bevel yang nantinya akan digunakan untuk pengelasan dengan membentuk sudut 30°. Dimensi material yang akan dilas tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4.1 Material yang akan di las



IV.2 PROSES PENGELASAN

Pada proses pengelasan ini hal-hal yang harus dipersiapkan antara lain : peralatan mesin las, pemilihan kawat las/elektroda, material yang akan dilas.

Pengelasan material dilakukan di Laboratorium Produksi Teknik Perkapalan FTK-ITS, proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan proses SMAW, proses SMAW ini dipilih karena proses pengelasan ini paling banyak / sering digunakan oleh para welder, selain itu proses ini memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan posisi pengelasan dapat dilakukan pada semua posisi pengelasan. Pada pengelasan ini elektroda yang digunakan adalah Elektroda ESAB E 7016 dengan diameter 3,2 mm dan 4 mm sesuai dengan standart AWS A5.1, komposisi kimia dari elektroda ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Tabel komposisi kimia elektrode E 7016

C	Si	Mn	P	S
0.18 %	0.44 %	0.97 %	0.013 %	0.009 %

Ampere yang digunakan dalam proses pengelasan ini adalah 80 ~ 150 ampere. Pengelasan ini terdiri dari 5 (lima) layer dimana pada layer 1, 2 dan tiga elektroda yang digunakan berdiameter 3,2 mm sedangkan untuk layer 4 dan 5 digunakan elektroda dengan diameter 4 mm.

IV.2.1 Langkah Pengelasan

Setelah semua persiapan untuk pelaksanaan pengelasan selesai maka dapat dilakukan proses pengelasan, adapun langkah-langkah pengelasan tersebut adalah sebagai berikut :



1. Membersihkan alur dari debu atau kotoran yang melekat dengan menggunakan sikat baja.
2. Mesin las dihidupkan, kemudian mensetting besarnya arus mesin las sesuai dengan parameter yang telah ditentukan dari WPS.
3. Penambahan material atau penambahan backing material dengan jalan las titik pada titik-titik tertentu untuk menghindari terjadinya deformasi pada pelat selama proses pengelasan berlangsung.
4. Setelah semua siap maka dapat dilakukan start pengelasan
5. Setelah pengelasan pada layer pertama selesai maka permukaan las dibersihkan dari kerak las dengan menggunakan sikat baja
6. Permukaan las dibuat rata dengan menggunakan gerinda untuk membentuk alur bagi layer kedua
7. Untuk layer 3, 4 dan 5 langkah-langkah pengelasannya sama seperti langkah pengelasan diatas.

IV.3 PERSIAPAN DAN PEMBUATAN SPESIMEN UJI

Pada persiapan dan pembuatan spesimen uji ini peralatan-peralatan yang diperlukan adalah:

1. Mesin gergaji
2. Jangka sorong
3. Palu
4. Penggaris
5. Kikir



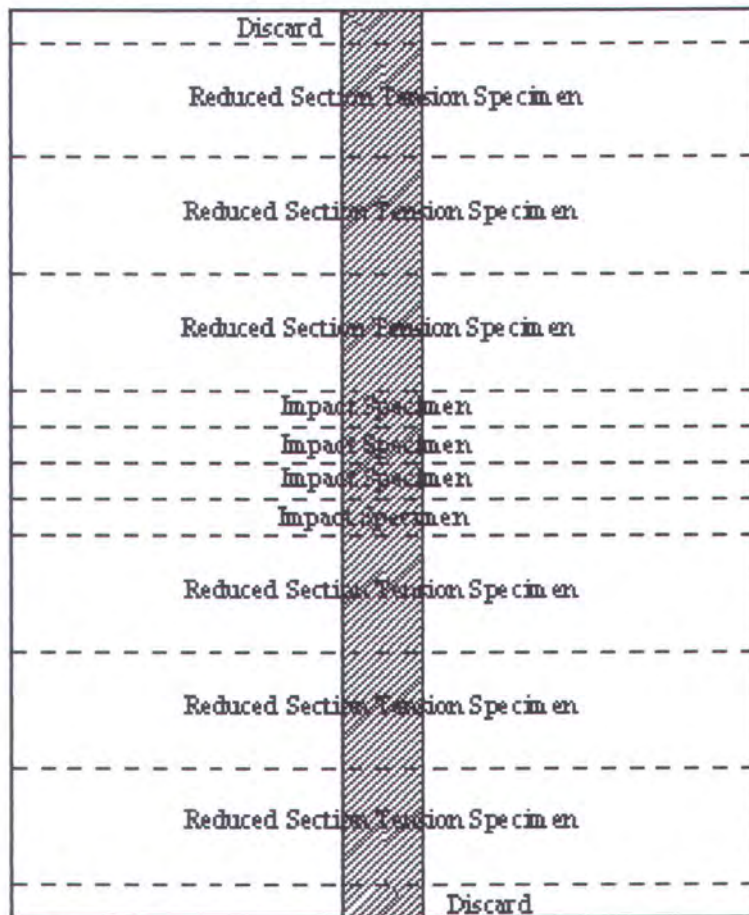
6. Mesin Skrap
7. Kertas gosok no. 100

IV.3.1 Persiapan Spesimen uji

Material yang telah dilas dilakukan pemotongan untuk membuat spesimen uji, dimensi dari material yang dipotong ini disesuaikan dengan dimensi dari spesimen uji yang akan dibuat. Proses pemotongan ini dilaksanakan di Laboratorium Konstruksi Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.

Adapun langkah-langkah dari pemotongan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Meletakkan material yang telah dilas ke mesin gergaji.
2. Mengukur dimensi material yang akan dipotong dengan menggunakan penggaris.
3. Menjepit material yang akan dipotong pada mesin gergaji.
4. Membuka kran pelumas dan meletakkan ujung kran pada material.
5. Melakukan proses pemotongan.
6. Setelah proses pemotongan selesai dilakukan pengukuran dimensi dari material yang telah dipotong apakah sesuai dengan perencanaan yang telah ditentukan dengan menggunakan jangka sorong.



Gambar 4.2 Bagian dari material yang akan di potong

IV.3.2 Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji dibuat berdasarkan standart AWS D1.1-92 untuk uji tarik dan ASTM A.370 untuk uji takik. Jumlah seluruh spesimen uji yang dibuat sebanyak 20 buah dengan perincian :

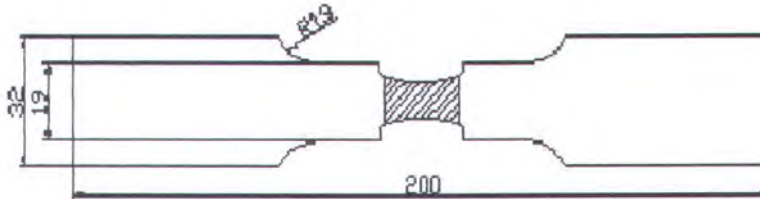
- 10 buah untuk uji tarik (Tensile Test).
- 10 buah untuk uji takik (Impact Test).

Spesimen untuk pengujian hardness dan foto mikro diambil dari material impact. Pembuatan Spesimen uji ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Mekanik Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.



IV.3.2.1 Spesimen Uji Tarik

Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan standart AWS D1.1-92 dengan dimensi sebagai berikut :



Gambar 4.3 Spesimen tarik

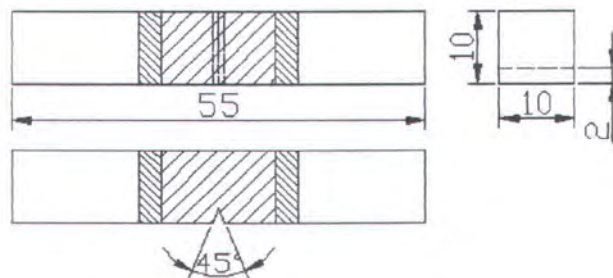
Pada bagian daerah yang dilas luas permukaanya diperkecil degan tujuan agar pada saat pengujian diharapkan patahan yang terjadi tepat pada daerah lasan. Adapun langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut :

1. Membuat sketsa gambar spesimen uji pada material yang telah dipotong.
2. Meletakkan material yang telah dipotong pada mesin skrap.
3. Melakukan proses skraping pada bagian manik las dan material yang akan direduksi sesuai dengan gambar sampai terbentuk seperti tangga.
4. Bagian tersebut dikikir sampai terbentuk seperti gambar di atas.
5. Menghaluskan bagian yang direduksi dengan menggunakan kertas gosok no. 100 untuk menghilangkan sisa pengerjaan proses machining.



IV.3.2.2 Spesimen Uji Takik

Spesimen uji takik dibuat berdasarkan standart ASTM A.370 dengan dimensi sebagai berikut :



Gambar 4.4 Spesimen Impact (Takik)

Pada salah satu permukaan tepat pada bagian tengah dari lasan diberi suatu notch (takikan) dengan bentuk V yang telah distandarisasi seperti pada gambar diatas. Adapun langkah pembuatannya adalah sebagai berikut :

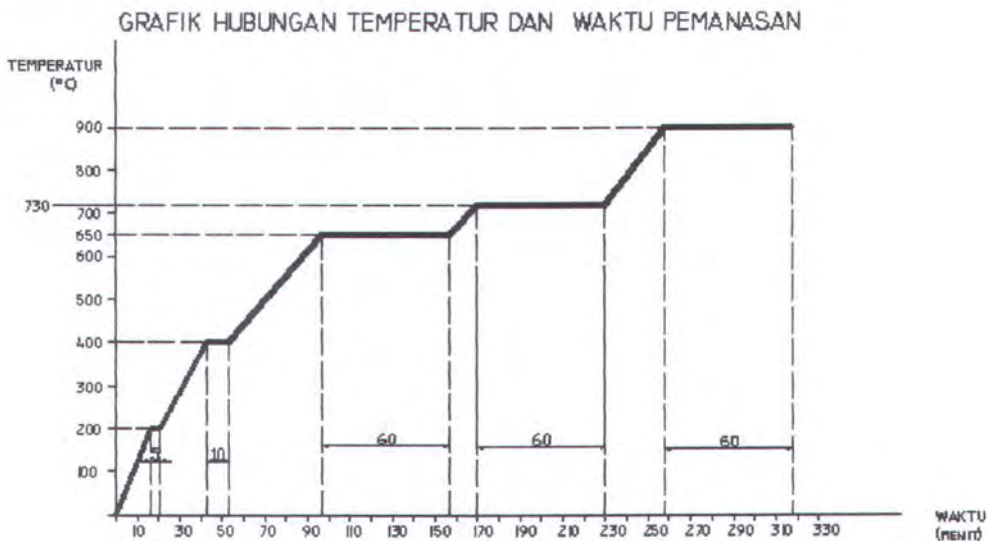
1. Menghilangkan manik las dengan jalan skraping.
2. Melakukan proses skraping pada material sampai terbentuk material dengan dimensi penampang 10 x 10 mm seperti pada gambar di atas.
3. Membuat notch dengan jalan di skrap dengan menggunakan mata pahat yang membentuk sudut 45°.
4. Menghaluskan bagian sekitar takikan dengan menggunakan kertas gosok no. 100 untuk menghilangkan sisa pengerjaan proses machining.

IV.4 PROSES PEMANASAN

Pada pengujian ini material dipanasi dalam oven pemanas yang memiliki kapasitas maksimum 1100°C, material uji dipanasi dengan variasi suhu 650 °C,



730 °C dan 900 °C. Ketika mencapai suhu-suhu tersebut dilakukan penahanan (holding time) selama 1 jam. Simulasi dari pelaksanaan pengujian tersebut dapat dilihat dalam grafik dibawah ini :



Gb 4.5 Grafik Pemanasan

Setelah dilakukan holding time maka material didinginkan secara mendadak dengan menggunakan media air. Proses pemanasan ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Peralatan-peralatan yang dibutuhkan dalam pelaksanaan proses pemanasan ini antara lain :

1. Oven Pemanas merk Naber, Germany dengan kapasitas maksimum 1100° C.
2. Tang Penjepit
3. Sarung Tangan
4. Ember besar



Adapun pelaksanaan pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan material yang akan dipanasi dengan jalan memilah atau mengelompokkan material-material sesuai dengan suhu pemanasannya kedalam oven pemanas.
2. Mensetting oven sampai pada suhu 200°C
3. Menghidupkan oven pemanas dan mencatat waktu yang diperlukan tiap kenaikan 50°C
4. Menahan pemanasan pada suhu 200° C selama 5 menit.
5. Mensetting oven naik sampai pada suhu 400° C.
6. Menahan pemanasan pada suhu 400° C selama 10 menit.
7. Menaikkan temperatur pemanasan sampai pada suhu 650° C.
8. Melakukan penahanan (holding time) pada suhu tersebut selama satu jam.
9. Melakukan pendinginan dengan mencelupkan tiga material pertama ke dalam ember berisi air.
10. Menaikkan temperatur pemanasan sampai pada suhu 730° C.
11. Melakukan penahanan (holding time) pada suhu tersebut selama satu jam.
12. Melakukan pendinginan dengan mencelupkan tiga material kedua ke dalam ember berisi air.
13. Menaikkan temperatur pemanasan sampai pada suhu 900° C.
14. Melakukan penahanan (holding time) pada suhu tersebut selama satu jam.
15. Melakukan pendinginan dengan mencelupkan tiga material ketiga ke dalam ember berisi air.



Setelah proses pemanasan selesai maka material digosok untuk menghilangkan kerak akibat proses pemanasan dengan menggunakan kertas gosok.

IV.5 PENGUJIAN TARIK

IV.5.1 Tujuan Pengujian

Tujuan dari pengujian tarik ini adalah untuk mengetahui besarnya perubahan kekuatan tarik dari material las setelah pada material dilakukan proses pemanasan dan didinginkan secara mendadak dengan menggunakan media pendingin air.

IV.5.2 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Konstruksi Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Pada pengujian tarik ini peralatan yang digunakan antara lain :

1. Jangka sorong
2. Mesin uji dengan spesifikasi :
 - Merk : MFL, Germany
 - Type : UPD – 20
 - Kapasitas : 200 kN
3. Kertas milimeter dan pena.
4. Lup atau kaca pembesar.

Adapun langkah-langkah pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Mengukur Dimensi dari spesimen dengan menggunakan jangka sorong.



2. Meletakkan spesimen pada mesin dengan menjepit ujung-ujung spesimen pada cekam (penjepit).
3. Memasang kertas dan pena pada letaknya.
4. Mengatur skala pembebanan.
5. Memberikan pembebanan dengan kecepatan konstan.
6. Memperhatikan perubahan yang terjadi pada spesimen atau pada grafik selama proses pembebanan berlangsung.
7. Setelah patah, spesimen ilepas dari penjepit.
8. menganalisa patahan yang terjadi dengan menggunakan lup.

IV.6 PENGUJIAN PUKUL TAKIK (IMPACT)

IV.6.1 Tujuan Pengujian

Impact test bisa diartikan sebagai suatu test yang mengukur toughness atau kekenyalan dari suatu material; yaitu kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum terjadinya patahan. Secara umum uji impact bertujuan untuk menentukan sifat bahan yaitu:

- a. Ketahanan terhadap beban impact.
- b. Sensitivitas dari bahan terhadap adanya notch.
- c. Analisa patahan.

Dalam penulisan tugas akhir ini, pengujian impact bertujuan untuk mengetahui toughness dari material las setelah mengalami perubahan struktur mikro akibat proses pemanasan pada suhu 650°C , 730°C dan 900°C dan



didinginkan secara mendadak dengan menggunakan media air dengan menganalisa besarnya perubahan kuat impact yang terjadi.

IV.6.2 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Konstruksi Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Pada pengujian takik ini peralatan yang digunakan antara lain :

1. Jangka sorong.
2. Mesin uji takik dengan spesifikasi :
 - Type : CI – 30
 - Kapasitas : 30 kg/m
 - Berat Bandul : 25,72 kg

Adapun langkah pengujian takik ini adalah sebagai berikut :

1. Mengukur dimensi spesimen dengan menggunakan jangka sorong.
2. Meletakkan spesimen pada landasan, celah dari notch harus terletak di tengah dengan arah notch menghadap ke dalam.
3. Beban / bandul dinaikkan sebesar sudut α .
4. Posisi jarum penunjuk skala diatur pada posisi nol.
5. Beban dilepas sehingga memukul spesimen.
6. Mencatat besarnya sudut β setelah bandul / beban mengenai spesimen.
7. Mencatat besarnya energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dalam tabel pengamatan yang ditunjukkan pada jarum skala penunjuk.
8. Menghitung kekuatan impak berdasarkan hasil bagi total energi dengan luas penampang dari bagian yang tertakik.



IV.7 PENGUJIAN KEKERASAN (HARDNESS)

IV.7.1 Tujuan Pengujian

Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi), indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (wear resistance), dan memiliki korelasi dengan kekuatan material. Pada tugas akhir ini pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada tingkat kekerasan material akibat perubahan struktur mikro yang terjadi setelah material mengalami peristiwa pemanasan pada suhu-suhu 650°C , 730°C dan 900°C dan didinginkan secara mendadak dengan media air.

IV.7.2 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Metallurgy Jurusan Teknik Material FTI-ITS. Pada pengujian kekerasan ini peralatan yang diperlukan antara lain :

1. Mesin Uji.
2. Micrometer.
3. Lup dengan ketelitian.

Adapun langkah pengujian hardness ini adalah sebagai berikut :

1. Membersihkan permukaan Spesimen.
2. Mengukur indentor dengan menggunakan micrometer, dalam hal ini indentor yang digunakan dari diamond.
3. Memasang indentor pada pemegang indentor.
4. Menempatkan indentor pada mesin



5. Menempatkan beban yang sesuai pada mesin.
6. Menaikkan tabel mesin dengan memutar hand whell sehingga indenter mengadakan penetrasi pada spesimen .
7. Memutar handle sehingga terjadi penetrasi pembebanan penuh.
8. Pembacaan skala pada pembebanan penuh.
9. Mengembalikan handle pada posisi semula
10. Pembacaan skala pada saat relieving.

IV.8 PENGUJIAN MIKRO ETSA (FOTO MIKRO)

IV.8.1 Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro dari material las setelah pada lasan dikenai proses pemanasan dengan variasi suhu 650, 730 dan 900° C dan didinginkan secara mendadak dengan menggunakan media air, selain itu dengan pengujian ini dapat diketahui perubahan yang terjadi pada ukuran butir setelah material mengalami treatment di atas.

IV.8.2 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Metallurgy Jurusan Teknik Material FTI-ITS. Pada pengujian kekerasan ini peralatan yang diperlukan antara lain :

1. Kertas gosok dengan no secara berurutan 3, 100, 120, 240, 340, 400, 600, 1000, 1200, 2000.
2. Serbuk alumina
3. Larutan Alkohol 95 %.



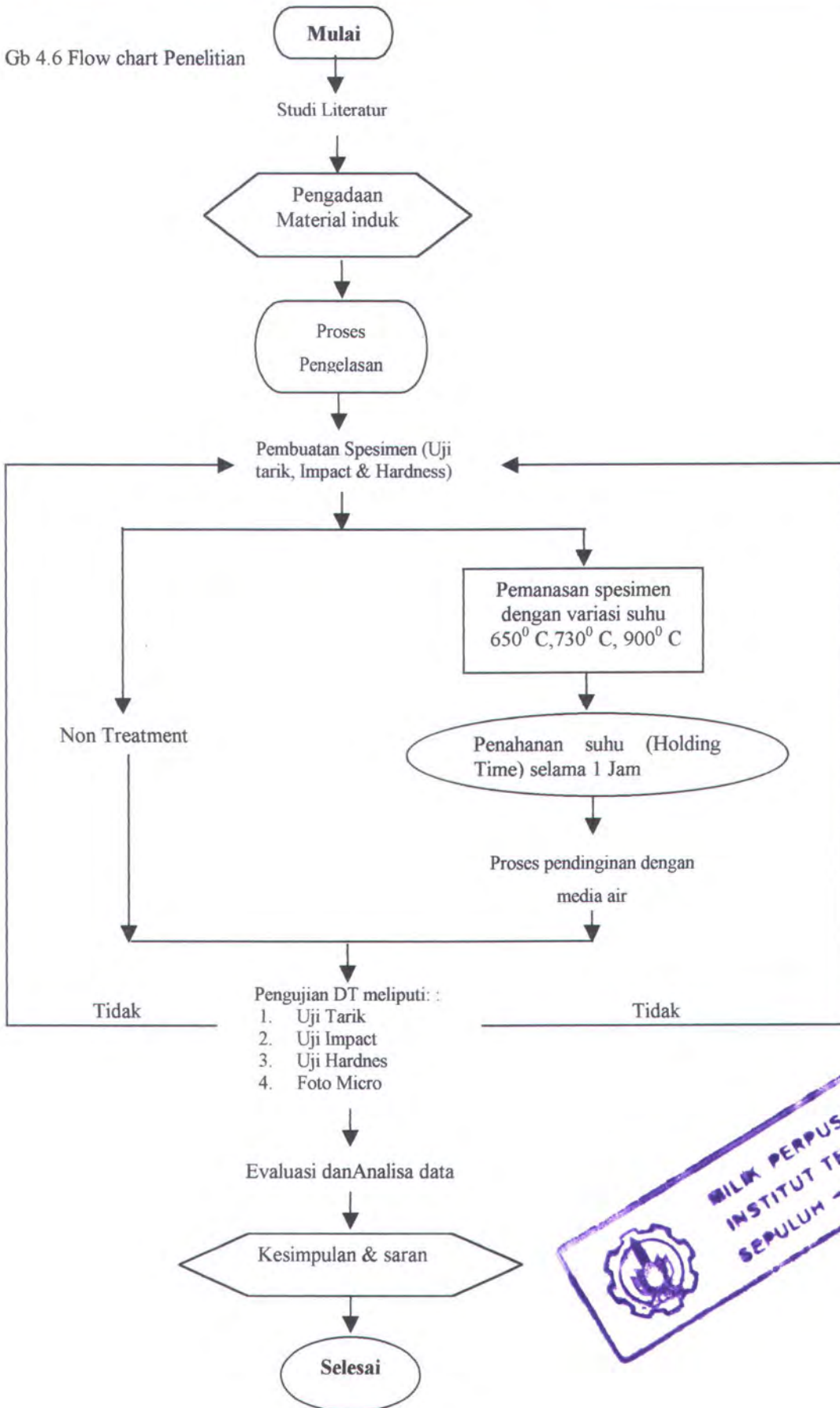
4. Larutan Asam nitrat (HNO_3) 5 %.
5. Microscope optis yang dilengkapi dengan kamera pengambil foto micrography.

Adapun langkah pengujian micro etsa / foto micro ini adalah sebagai berikut :

1. Menghaluskan permukaan benda uji dengan kertas gosok no. 3 dengan posisi penggosokan membentuk sudut 45° terhadap bagian benda uji.
2. Melanjutkan penghalusan tersebut untuk kertas gosok no 100 dengan posisi penggosokan membentuk sudut 45° arah kebalikan dari langkah pertama.
3. Penggosokan dilanjutkan untuk kertas gosok no. 120 sesuai dengan arah pada langkah 1, demikian seterusnya dilakukan dengan arah saling berkebalikan untuk kertas gosok 240 ~ 2000.
4. Membersihkan material dengan menggunakan kain beludru yang ditaburi serbuk alumina sehingga didapatkan hasil yang mengkilap seperti kaca.
5. Melaksanakan proses etching dengan mengoleskan larutan Asam Nitrat (HNO_3) 5 % pada permukaan benda uji.
6. Untuk mempercepat pengeringan maka pada benda uji dioleskan larutan Alkohol 95 % dan dikeringkan dengan menggunakan dryer.
7. Meletakkan spesimen yang telah di etsa pada mikroskop dan dilakukan pemrotetan dengan perbesaran 100 X dan 400 X.



Gb 4.6 Flow chart Penelitian



BAB V
ANALISA DATA HASIL PENGUJIAN



BAB V

ANALISA DATA HASIL PENGUJIAN

Pada bab ini disajikan analisa terhadap data yang telah diperoleh dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan. Seluruh pengujian dilakukan sesuai dengan metodologi penelitian yang dikemukakan pada bab sebelumnya. Analisa meliputi hasil pengamatan data uji tarik, uji kekerasan, uji impact dan foto mikro .

V.1 ANALISA HASIL UJI TARIK

Dari pengujian tarik yang telah dilakukan maka diperoleh data sebagai berikut :

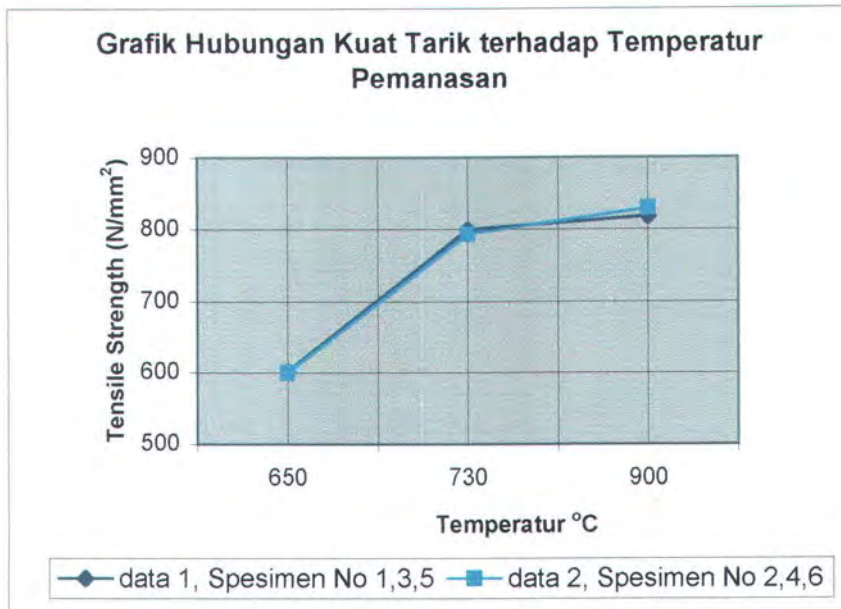
Tabel 5.1 Tabel Hasil Pengujian Tarik Logam las pada Baja SS 41

Suhu Pemanasan	No. Spesi men	$F_{ultimate}$ (KN)	Area (mm ²)	$\sigma_{ultimate}$ (N/mm ²)	% Kenaikan	Note
650	1	111	184,54	601,504	8,05	Patah di WM
	2	105	175	600		
730	3	139,5	174,51	799,381	43,26	Patah di WM
	4	136	171,36	793,651		
900	5	126,5	155	818,399	49,11	Patah di WM
	6	150,2	181,04	829,651		

NB :

Kuat tarik material tanpa pemanasan : 556 N/mm²

Sehingga dari tabel tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara temperatur pemanasan dengan perubahan kuat tarik maksimum sebagai berikut :



Gambar 5.1 Grafik Kuat Tarik maksimum Logam las pada Baja SS 41 terhadap Suhu Pemanasan

Dari grafik dapat diketahui bahwa makin tinggi temperatur yang dikenai pada material tersebut makin tinggi pula kuat tarik yang dimiliki oleh material tersebut. Dari data diketahui bahwa kuat tarik yang dimiliki oleh material tanpa perlakuan panas adalah 556 N/mm^2 setelah dipanaskan sampai suhu 650°C terjadi peningkatan nilai kuat tarik dari material sebesar $8,05 \%$ sehingga kuat tarik menjadi $600,75 \text{ N/mm}^2$, pada suhu 730°C kuat tarik mengalami kenaikan menjadi $796,52 \text{ N/mm}^2$ atau naik sebesar $43,26 \%$ dibandingkan dengan material las yang tidak mengalami pemanasan, sedangkan pada temperatur tertinggi yaitu pada 900°C kuat tarik menjadi $829,03 \text{ N/mm}^2$ atau naik sebesar $49,11 \%$ dibandingkan material las yang tidak mengalami pemanasan. Dari sini dapat kita lihat bahwa perubahan yang signifikan baru tampak pada kenaikan temperatur dari suhu 650°C menuju 730°C sedangkan perubahan kuat tarik dari material tanpa pemanasan dibandingkan dengan material yang dikenai pemanasan sebesar 650°C sangat



kecil, hal ini dikarenakan pada pemanasan dengan temperatur 650°C material masih belum mengalami perubahan struktur mikro dari struktur mikro awal, namun karena adanya penahanan temperatur maka besar butir pada suhu pemanasan tersebut berubah sehingga hal ini akan menyebabkan kenaikan kuat tarik dari material. Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa kenaikan temperatur berbanding lurus dengan kuat tarik dari material lasan dalam hal ini bahwa makin tinggi temperatur pemanasan akan memberikan kuat tarik yang makin tinggi pula terhadap material.

V.2 ANALISA HASIL UJI KEKERASAN

Pengujian kekerasan ini digunakan untuk mencari tingkat kekerasan dari material sehingga dari harga-harga kekerasan tersebut kita dapat mengetahui apakah material ductile atau getas, makin tinggi nilai kekerasan yang dimiliki oleh suatu material maka material tersebut makin getas.

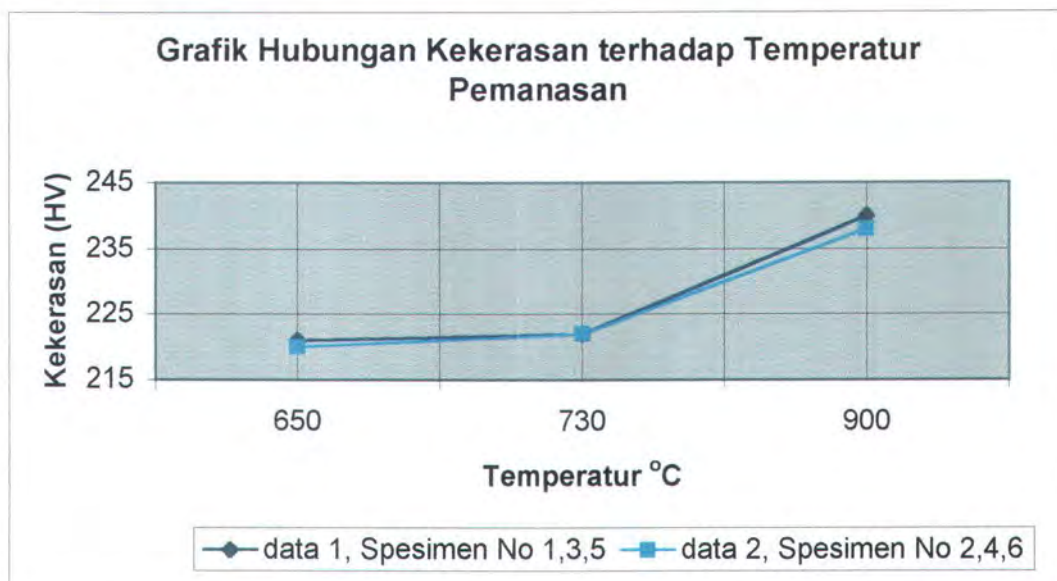
Dalam tugas akhir ini hasil dari percobaan kekerasan disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 5.2 Tabel Hasil Pengujian Hardness Logam Las pada Baja SS 41

Suhu Pemanasan	No. Spesimen	Nilai Kekerasan	% Kenaikan
Tanpa Pemanasan	7	192	-
650 °C	1	221	14,84
	2	220	
730 °C	3	222	15,625
	4	222	
900 °C	5	240	24,48
	6	238	



Dari tabel tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara temperatur dengan nilai kekerasan dari material sebagai berikut :



Gambar 5.2 Grafik Kekerasan Logam Las pada Baja SS 41 terhadap Suhu Pemanasan

Dari grafik dapat diketahui bahwa nilai kekerasan material las cenderung naik seiring dengan naiknya temperatur, pada material tanpa treatment nilai kekerasan yang dimiliki oleh material adalah 192 HV dan mengalami kenaikan sebesar 14,84 % menjadi 220,5 HV pada temperatur 650° C, pada temperatur 730° C nilai kekerasan naik lagi menjadi 222 HV atau naik sebesar 15,625 %, dibandingkan dengan material tanpa pemanasan, sedangkan pada suhu tertinggi yaitu 900° C nilai kekerasan menjadi 239 HV, naik sekitar 24,48 %, kenaikan nilai kekerasan material ini disebabkan karena adanya proses pendinginan secara mendadak dengan menggunakan media air dimana pada proses ini laju kecepatan pendinginan adalah sangat tinggi, hal ini akan menghambat proses kristalisasi sehingga butiran-butiran kristal struktur mikro yang terbentuk sangat halus.



Material yang memiliki struktur mikro dengan ukuran butir yang halus memiliki sifat kekerasan yang tinggi (Wiryosumarto dan Toshie Okumura). Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa dengan makin tingginya temperatur pemanasan maka material menjadi semakin keras dan brittle, dengan semakin brittlenya material maka akan makin membahayakan material tersebut, karena bila pada material las terdapat defect atau cacat las (porosity, slag inclusion, under cut, dll) sifat material yang semakin brittle akan dapat menyebabkan terjadinya keretakan pada material las, dan hal ini akan menyebabkan mudahnya material las menjadi rusak atau patah.

V.3 ANALISA HASIL UJI IMPACT

Pada pengujian impact ini didapatkan data-data berupa kuat impact, dimana kuat impact ini dapat digunakan sebagai pembanding sifat ketangguhan (toughness) material yang satu dengan material yang lain. Dari pengujian impact didapatkan data-data sebagai berikut :

Tabel 5.3 Tabel hasil Pengujian Impact

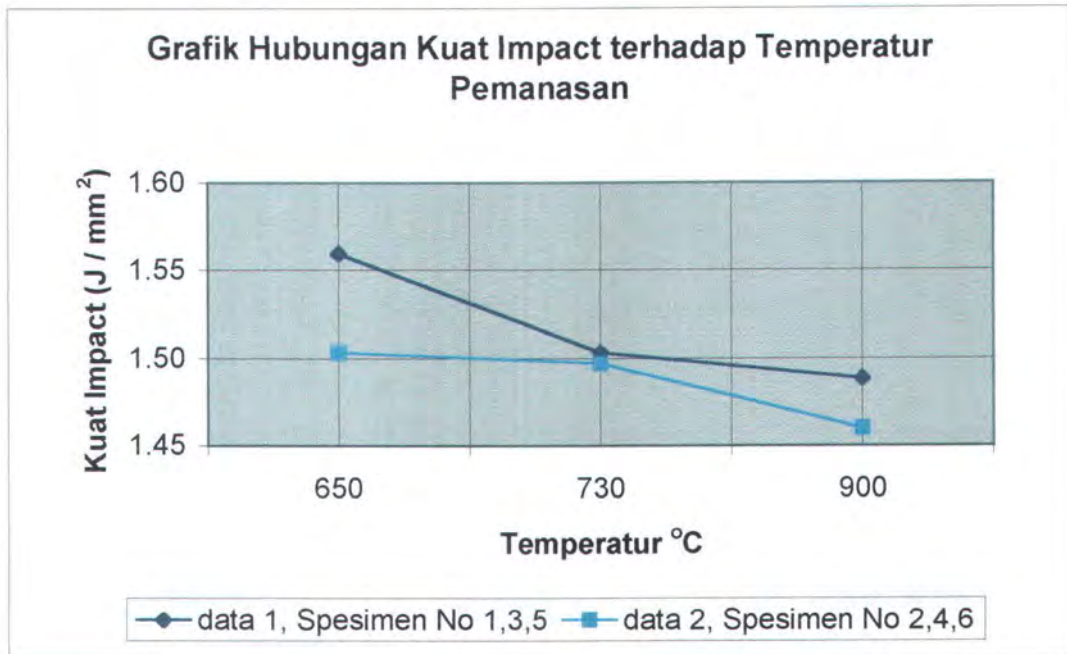
Suhu Pemanasan	No. Spesimen	CSA (mm ²)	Joule (J)	Kuat Impact (J/mm ²)	% Penurunan
650 °C	1	84	131	1,55952	3,63
	2	82,5	124	1,50303	
730 °C	3	81,5	122,5	1,50302	5,59
	4	84,5	126,5	1,49704	
900 °C	5	86	128	1,48837	7,23
	6	87	127	1,45977	

NB :

Kuat Impact Material lasan tanpa pemanasan : 1,589 J / mm²



Dari table hasil pengujian impact tersebut dapat kita buat suatu grafik hubungan antara nilai kekerasan material dengan temperatur pemanasan sebagai berikut :



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Kuat Impact terhadap Suhu Pemanasan

Dari grafik dapat diketahui bahwa besarnya kuat impact menurun seiring dengan naiknya temperatur pemanasan. Pada temperatur pemanasan 650° C harga kuat impak adalah 1,559 Joule/mm² dan harga kuat impak ini akan menurun ketika material dikenai pemanasan sampai temperatur 730° C menjadi 1,5 Joule/mm² dan pada temperatur pemanasan tertinggi yaitu 900° C harga kuat impact ini makin turun lagi menjadi 1,474 Joule/mm². Penurunan harga impact ini menunjukkan bahwa material yang dikenai pemanasan sampai temperatur tertentu kemudian didinginkan secara mendadak dengan menggunakan media pendingin air akan menyebabkan material menjadi getas atau brittle, hal ini ditandai dengan adanya harga kuat impact yang rendah.



V.4 ANALISA HASIL UJI FOTO MIKRO

Analisa foto mikro didasarkan pada fenomena perbedaan-perbedaan yang tampak pada masing-masing material uji/spesimen seperti kandungan ferit/perlit dan ukuran butir dari struktur mikro yang terbentuk, dimana kedua komponen ini berpengaruh terhadap sifat-sifat mekanik yang ditimbulkan oleh material.

Dari hasil foto mikro diketahui bahwa pada material yang tidak dikenai pemanasan dan juga material yang dikenai pemanasan sampai pada temperatur 650 °C, dan 730 °C serta 900° C struktur mikro yang terbentuk terdiri dari matrik ferit dan perlit yang terdistribusi secara acak dengan besar atau ukuran butir (grain size) yang berbeda. Dalam menentukan besarnya ukuran butir (grain size) dilakukan dengan jalan membandingkan fotomikro dengan pembesaran 100X hasil dari pengujian dengan gambar struktur mikro dengan pembesaran sama yang ada pada buku "*ASM METAL HAND BOOK*" Vol 7 tentang *Atlas of Microstructures of industrial alloys*. Dari hasil pengujian ini didapatkan bahwa untuk material uji yang tidak mengalami pemanasan memiliki besar butir yang setara dengan nilai ASTM-GS No 6, sedangkan untuk material uji yang mengalami pemanasan pada suhu-suhu 650° C dan 730° C memiliki ukuran butir yang hampir sama yaitu setara dengan nilai ASTM-GS No. 7 dan 8, sedangkan pada temperatur pemanasan tertinggi yaitu 900o C ukuran butinya setara dengan nilai ASTM-GS No. 9. Dari sini dapat kita lihat bahwa ukuran butir dari material yang mengalami pemanasan pada temperatur 650° C, 730° C dan 900° C kemudian didinginkan secara mendadak dengan menggunakan media air mengalami perubahan yang cukup berarti dimana makin tinggi temperatur



pemanasan yang dialami material tersebut ukuran butir yang dimiliki menjadi lebih halus, dengan semakin halusya ukuran butir yang dimiliki oleh material tersebut maka hal ini akan berpengaruh pada sifat mekanik yang dimiliki oleh material, yaitu semakin halus ukuran butir yang dimiliki oleh material maka material tersebut akan semakin kuat (Wiryosumarto dan Toshie Okumura,1996) dan hal ini sesuai dengan hasil pengujian tarik dimana pada uji tarik tersebut material menunjukkan kenaikan kuat tarik yang cukup signifikan terutama perubahan yang terjadi pada pemanasan 730° C dan 900° C

Dalam hasil foto mikro ini bagian yang berwarna gelap menunjukkan matrik pearlit sedangkan bagian yang berwarna terang menunjukkan matrik struktur ferit. Untuk menghitung prosentase besarnya kedua matrik struktur mikro tersebut digunakan foto dengan pembesaran 400X teknik pelaksanaannya menggunakan metode point counting. Pada metode ini digunakan garis uji bertitik yang digambarkan pada suatu transparansi. Titik-titik ini kita tempatkan pada suatu area dalam foto, dimana area tersebut dapat kita pilih secara acak dan banyaknya titik yang berhimpitan dengan phase (struktur mikro) yang akan dihitung prosentasenya dinotasikan sebagai P_{α} . banyaknya prosentase dari struktur mikro tersebut dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_p = \frac{\sum P_{\alpha}}{P_T} = \frac{\sum P_{\alpha}}{nP_o}$$

Dimana :

P_p : Point Friction

P_{α} : Banyaknya area yang terkena persilangan



P_T : Banyaknya area pengujian

n : Banyaknya daerah perhitungan

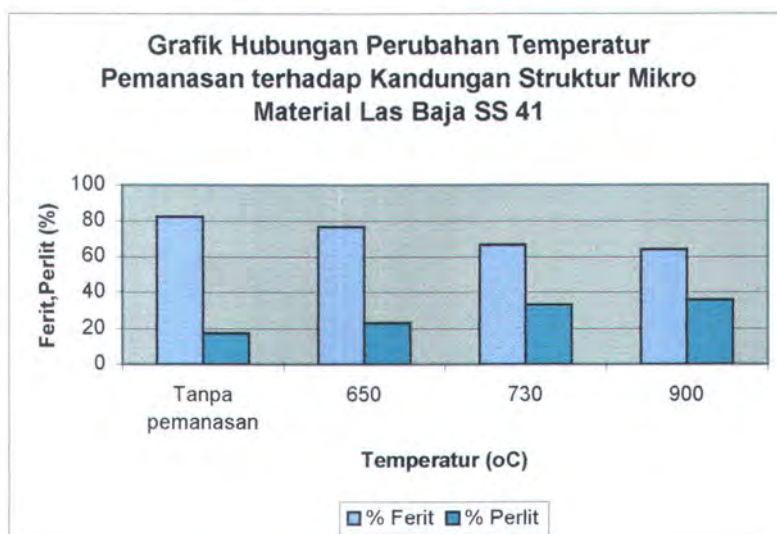
P_o : Banyaknya persilangan yang digunakan dalam perhitungan

Dari pengujian tersebut didapatkan besarnya prosentase dari struktur ferit yang terdapat pada material uji sebagai berikut :

Tabel 5.4 Tabel kandungan Struktur mikro

Temperatur (treatment)	% Pearlit	% ferit
Tanpa Pemanasan	17,5	82,5
650 °C	23,125	76,875
730 °C	33,125	66,875
900 °C	35,9375	64,0625

Dari tabulasi hasil perhitungan diatas dapat kita buat grafik hubungan antara perubahan temperatur pemanasan terdan kandungan struktur mikro sebagai gambar berikut :



Gambar 5.4 Grafik Perubahan kandungan struktur mikro terhadap temperatur pemanasan



Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa ferit semakin menurun seiring dengan kenaikan temperatur, sedangkan kandungan pearlit yang dimiliki oleh material semakin bertambah seiring dengan adanya kenaikan temperatur pemanasan. Pada material yang tidak dikenai pemanasan kandungan struktur mikro yang dimiliki terdiri atas 17,5 % pearlit dan 82,5 % ferit sedangkan untuk material yang dikenai pemanasan pada temperatur 650 °C terdiri atas 23,125 % pearlit dan 76,875 % ferit sedangkan untuk temperatur pemanasan 730 °C struktur mikro yang dimiliki oleh material terdiri atas 33,125 % pearlit dan 66,875 % ferit sedangkan pada temperatur pemanasan tertinggi yaitu 900 °C struktur mikronya terdiri atas 35,9375 % pearlit dan 64,0625 % ferit. Dengan semakin menurunnya jumlah ferit yang bersifat lunak dan ulet sedangkan kandungan dari pearlit bertambah, dimana pearlit ini memiliki sifat kuat, keras dan agak getas (Karl-Erik Thelning, 1987). Maka pada material akan mengalami perubahan sifat mekanis yaitu sifat kekerasan dan kuat tariknya akan semakin tinggi sedangkan ketangguhannya (toughness) akan semakin menurun, dan hal ini sesuai dengan pengujian-pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, dimana pada pengujian tarik didapatkan bahwa kuat tarik yang dimiliki oleh material las tersebut cenderung naik seiring dengan kenaikan temperatur begitu juga dengan nilai kekerasan yang dimiliki, namun kuat impak yang dimiliki oleh material menurun seiring dengan kenaikan temperatur pemanasan hal ini menandakan bahwa bila material mengalami pemanasan pada temperatur pemanasan diatas temperatur transisi A_1 (723 °C) kemudian didinginkan secara mendadak maka material tersebut akan cenderung semakin getas.

BAB VI
KESIMPULAN



BAB VI

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Material las akan mengalami perubahan struktur bila dikenai pemanasan mencapai temperatur 900°C (suhu austenitisasi) dan kemudian didinginkan secara tiba-tiba dimana perubahan struktur tersebut akan mengakibatkan perubahan *mechanical properties* pada material las.
2. Struktur mikro yang terbentuk pada material lasan dengan komposisi 0,18 % C setelah dipanasi dan didinginkan secara mendadak adalah matrik ferit dan perlit yang terdistribusi secara acak dengan ukuran butir yang berbeda dimana pada pemanasan dengan temperatur 650°C setara dengan ASTM-GS No.7, untuk temperatur 730°C setara dengan ASTM-GS No.8, dan pada temperatur pemanasan 900°C setara dengan ASTM-GS No.9. Komposisi ferit dan perlit mengalami perubahan seiring dengan naiknya temperatur pemanasan, dimana pada pemanasan 650°C struktur terdiri dari 23,125 % perlit dan 76,875 % ferit dan berubah menjadi 33,125 % perlit dan 66,875 % ferit pada temperatur 730°C dan untuk temperatur pemanasan 900°C terdiri atas 35,9375 % perlit dan 64,0625 % ferit.
3. Perubahan struktur mikro pada material lasan akan mengakibatkan perubahan sifat-sifat mekanik yang dimiliki oleh material tersebut, kuat tarik dan nilai kekerasan material mengalami kenaikan dan kuat impact



material menurun seiring dengan naiknya temperatur pemanasan, pada temperatur pemanasan 650°C kuat tarik material lasan meningkat sebesar 8,05 % dibandingkan dengan material tanpa pemanasan dan meningkat sebesar 43,26 % pada temperatur 730°C dan pada temperatur pemanasan 900°C kuat tarik naik sebesar 49,11 %. Nilai kekerasan pada temperatur pemanasan 650°C naik sebesar 14,84 % dibandingkan dengan material lasan tanpa pemanasan, pada temperatur 730°C nilai kekerasan naik sebesar 15,625 % dan pada 900°C naik sebesar 24,48 %. Sedangkan kuat Impact pada temperatur 650°C mengalami penurunan sebesar 3,63 % dan terus turun pada temperatur 730°C sebesar 5,59 %, dan pada temperatur pemanasan 900°C turun sebesar 7,23 %.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

ANSI/AWS D1.1-92, "Structural Welding Code-Steel", Thirteenth Edition, American Welding Society.

ASME SECTION IX, "Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators", ASME, New York (1995).

Bawa, H.S., "Material and Metallurgy", Tata Mc Graw Hill Publishing Company Limited, New Delhi (1986).

Kasan, Munawar, "Pengaruh Heat Treatment dan Metode Pendinginan pada Kekuatan Mekanik dan Struktur Mikro pada Overlay Baja Karbon", Tugas Akhir, Teknik Perkapalan FTK, ITS (2000)

Mehl, Robert F., "Atlas of Microstructures of Industrial Alloys", ASM METAL HAND BOOK Vol 7.

Rosana, Eriska, "Analisa Perbandingan Laju Korosi Pelat SS-41 Antara Metode Pengelasan Manual (SMAW) dengan Otomatis (SAW) di Daerah Weld Metal", Tugas Akhir, Teknik Perkapalan FTK, ITS (2001).

Smith, William F., "Fondation of Materials Science and Engineering", 2nd edition, Mc Graw Hill International, New York, (1983).

Tata Surdia dan Shinroku Saito, "Pengetahuan Bahan Teknik", cetakan kedua, PT. Pradnya Paramita (1992).

Thelning, Karl-Erik, "Steel and its Heat Threatment", First Edition, Butterworths, London and Boston (1975).

Wahid Suherman, "Pengetahuan Bahan", Jurusan Teknik Mesin FTI, ITS, Surabaya (1987).

Wahid Suherman, "Perlakuan Panas", Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS, Surabaya (2001).

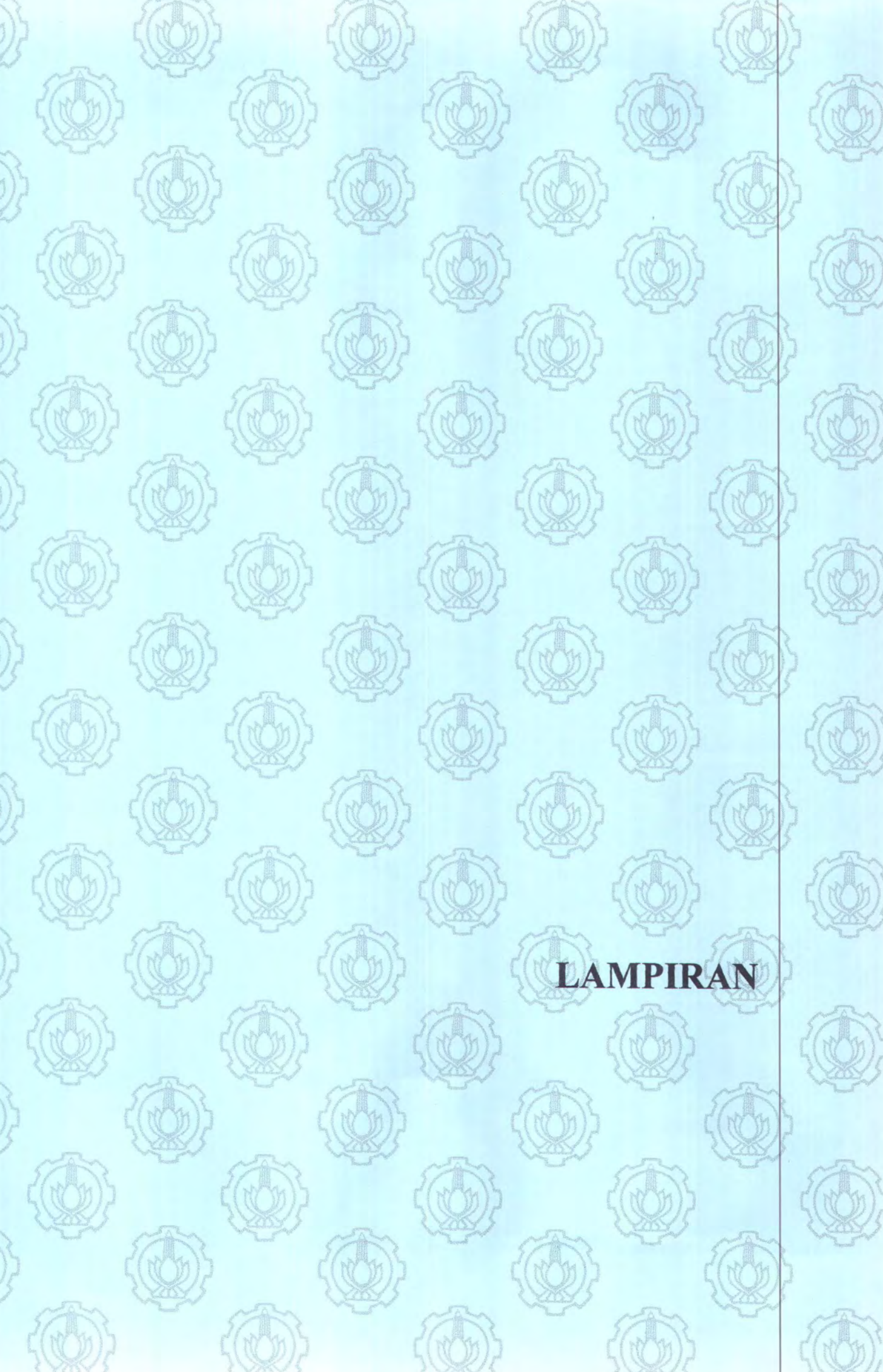
Wahid Suherman, " Ilmu Logam", Jurusan Teknik Mesin FTI, ITS, Surabaya (1987).

Wiryosumarto dan Toshie Okumura, "Teknologi Pengelasan Logam", cetakan ketujuh, PT Pradnya Paramita, Jakarta (1996).

Vandert Voort, George F., " Metallography, Principels and Practice", Mc Graw Hill Book Company, New York (1984).

Zakharov B., " Heat Treatment of Metal", Peace Publishers Moscow.





LAMPIRAN

LAMPIRAN :

Perhitungan kandungan struktur mikro perlit dan ferit dalam material las baja SS 41 pada berbagai variasi suhu pemanasan

po 16
non treatment

field	p_{α}	$P_{\alpha}/P_o \cdot 100$	$(P_p, I - P_p)2$
1	3	18.75	1.5625
2	1	6.25	126.5625
3	2.5	15.625	3.515625
4	3.5	21.875	19.140625
5	4	25	56.25
6	3	18.75	1.5625
7	2.5	15.625	3.515625
8	2.5	15.625	3.515625
9	3	18.75	1.5625
10	3	18.75	1.5625
		28	218.75

P mean	17.5
s	4.930066
CV	28.17181
95 % CL	3.71727
% RA	21.24154

% perlit	17.5
% ferit	82.5

Suhu 650° C

field	p_{α}	$P_{\alpha}/P_o \cdot 100$	$(P_p, I - P_p)2$
1	5.5	34.375	126.5625
2	3.5	21.875	1.5625
3	6	37.5	206.640625
4	4	25	3.515625
5	4.5	28.125	25
6	3	18.75	19.140625
7	1.5	9.375	189.0625
8	4	25	3.515625
9	2.5	15.625	56.25
10	2.5	15.625	56.25
		37	687.5

P mean	23.125
s	8.740074
CV	37.79491
95 % CL	6.590016
% RA	28.49736

% perlit	23.125
% ferit	76.875

Suhu 730° C

field	p_{α}	$P_{\alpha}/P_o \cdot 100$	$(P_p, I - P_p)2$
1	6	37.5	19.140625
2	6	37.5	19.140625
3	4.5	28.125	25
4	4	25	66.015625
5	5	31.25	3.515625
6	6	37.5	19.140625
7	3	18.75	206.64063
8	3	18.75	206.64063
9	7.5	46.875	189.0625
10	8	50	284.76563
		53	1039.0625

P mean	33.125
s	10.74483
CV	32.43723
95 % CL	8.101602
% RA	24.45767

% perlit	33.125
% ferit	66.875

Suhu 900° C

field	p_{α}	$P_{\alpha}/P_o \cdot 100$	$(P_p, I - P_p)2$
1	5	31.25	21.972656
2	6	37.5	2.4414063
3	8	50	197.75391
4	4	25	119.62891
5	8	50	197.75391
6	7	43.75	61.035156
7	4.5	28.125	61.035156
8	4	25	119.62891
9	5	31.25	21.972656
10	6	37.5	2.4414063
		57.5	805.66406

P mean	35.9375
s	9.461407
CV	26.32739
95 % CL	7.133901
% RA	19.85086

% perlit	35.9375
% ferit	64.0625

Keterangan s = Standar Deviasi
CV = Coefficient Variation
CL = Confidence Limit
RA = Relative Accuracy

LAMPIRAN :

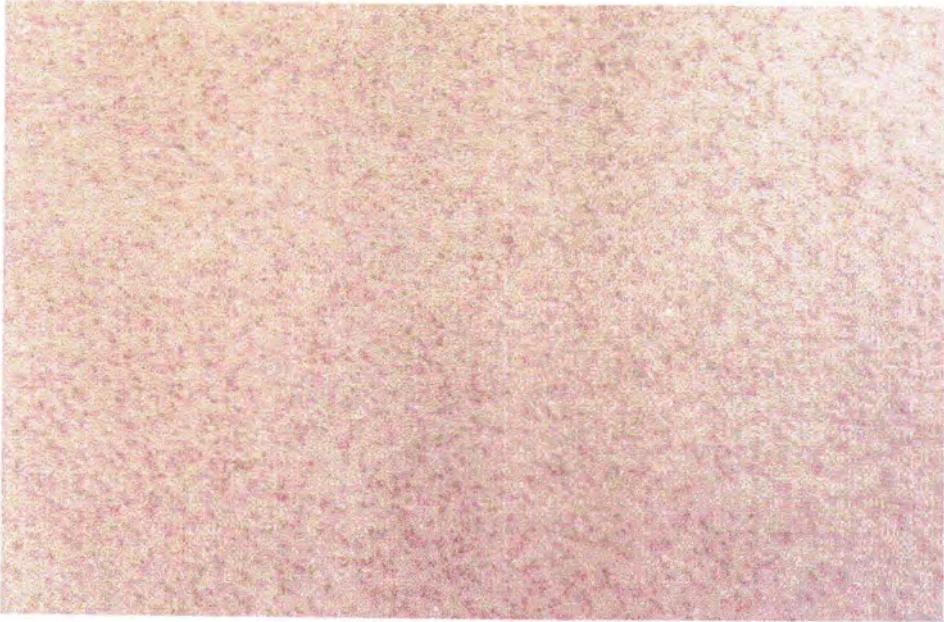


Foto Mikro Logam Las tanpa Pemanasan Pembesaran 100X, Etsa Nital 4 %



Foto Mikro Logam Las dengan Pemanasan 650° C Pembesaran 100X, Etsa Nital 4 %

LAMPIRAN :



Foto Mikro Logam Las dengan Pemanasan 730° C Pembesaran 100X, Etsa Nital 4 %



Foto Mikro Logam Las dengan Pemanasan 900° C Pembesaran 100X, Etsa Nital 4 %

LAMPIRAN :

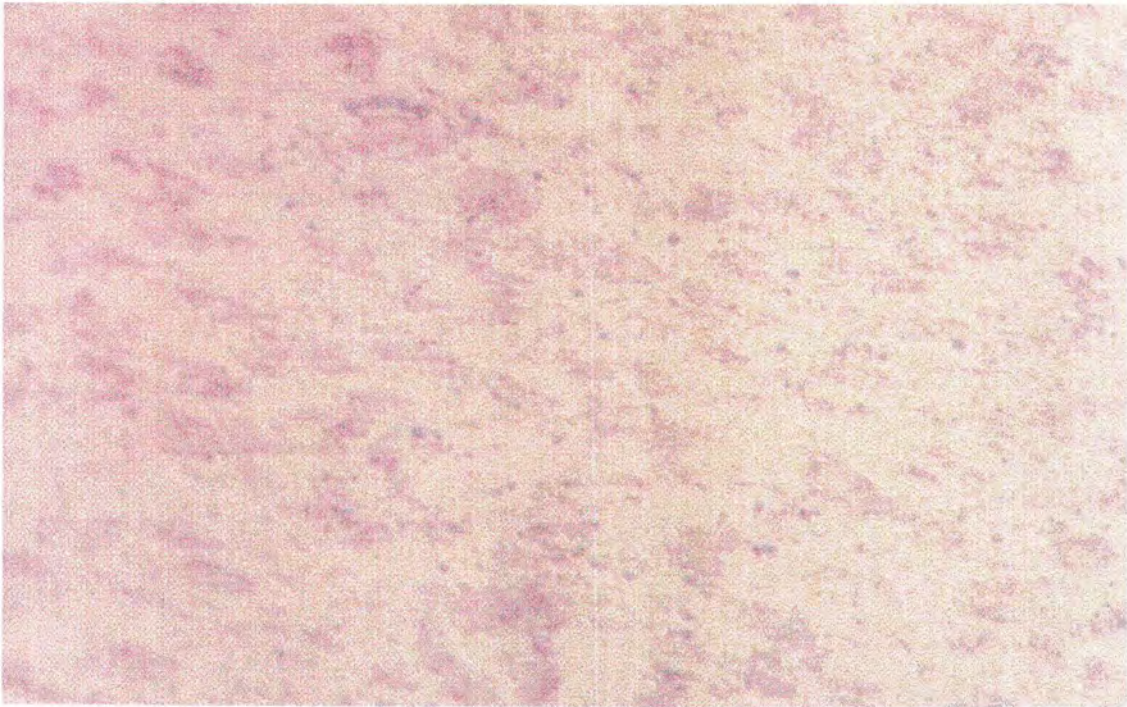


Foto Mikro Logam Las tanpa Pemanasan Pembesaran 400X, Etsa Nital 4 %

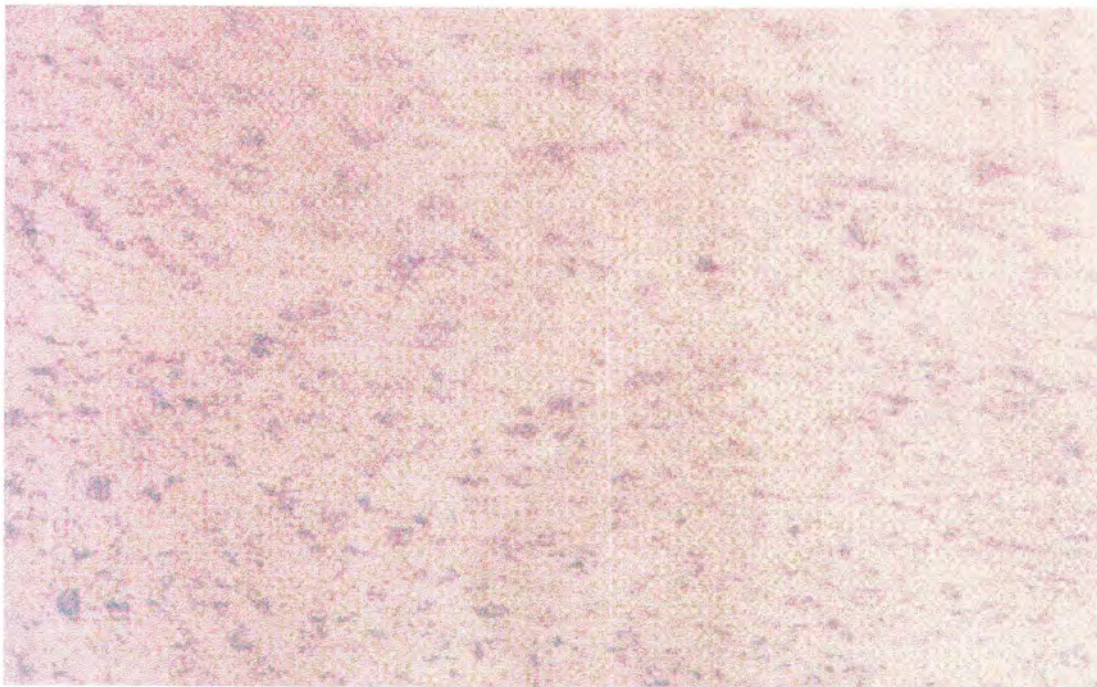


Foto Mikro Logam Las dengan Pemanasan 650° C Pembesaran 400X, Etsa Nital 4 %

LAMPIRAN :



Foto Mikro Logam Las dengan Pemanasan 730° C Pembesaran 400X, Etsa Nital 4 %

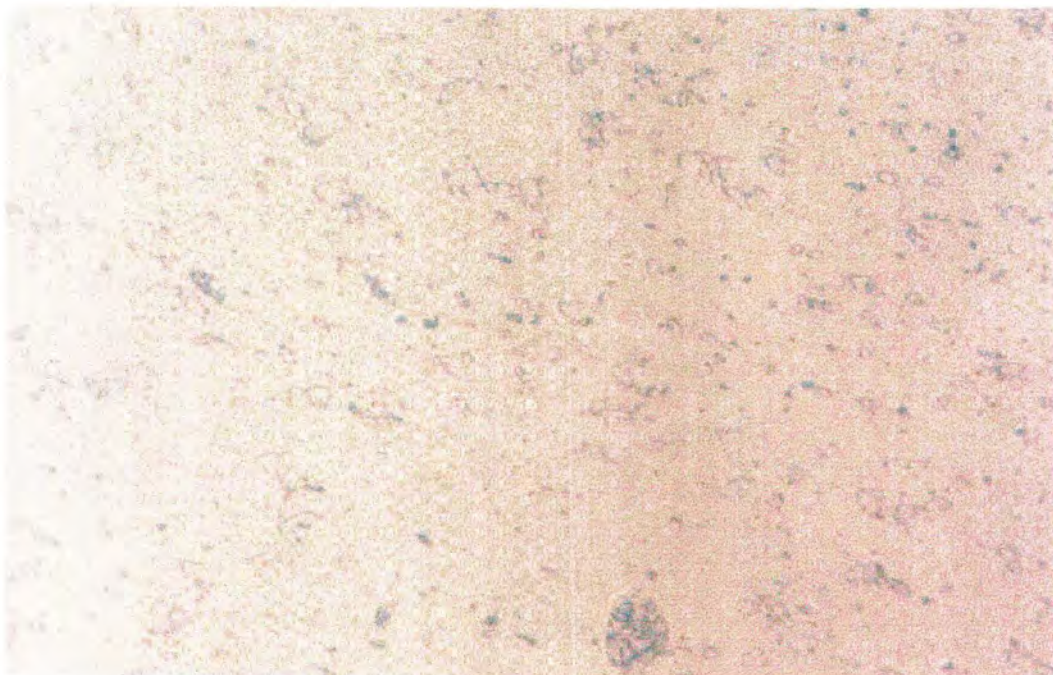
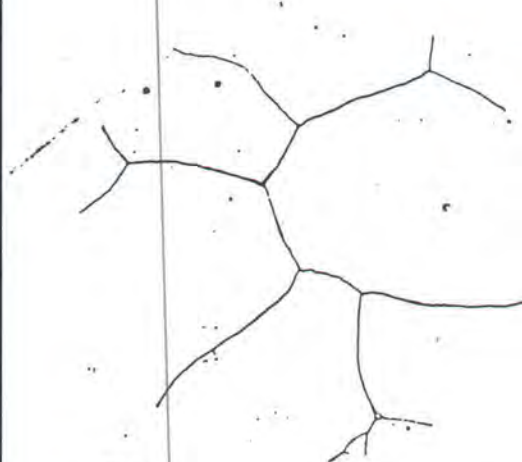


Foto Mikro Logam Las dengan Pemanasan 900° C Pembesaran 400X, Etsa Nital 4 %

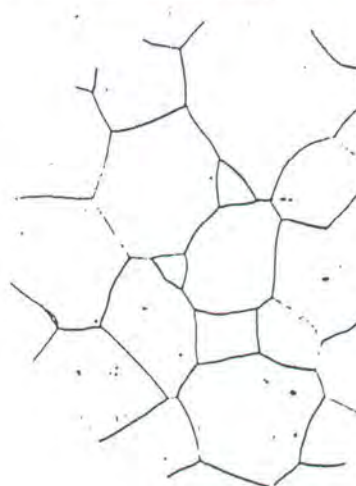
Common Grain Sizes of Low-Carbon Sheet Steel (Specimens Are Rimmed Steel)



Nital 100X
1 Nominal ASTM grain size No. 1 (specimen shown has a calculated grain size of 1.17)



Nital 100X
2 Nominal ASTM grain size No. 2 (specimen shown has a calculated grain size of 2)



Nital
3 Nominal ASTM grain size (specimen shown has a calculated grain size of 2.95)



Nital 100X
4 Nominal ASTM grain size No. 4 (specimen shown has a calculated grain size of 4.04)

Nominal Number of Grains per Square Millimeter (at 1X) and per Square Inch (at 100X) for the Ten Grain Sizes Shown

Grain-size No.	Nominal number of grains		Grain-size No.	Nominal number of grains	
	Per sq mm at 1X	Per sq in. at 100X		Per sq mm at 1X	Per sq in. at 100X
ASTM Grain Sizes (ASTM E112)			Calculated Grain Sizes Shown		
1	15.5	1.0	1.17	17.4	1.13
2	31.0	2.0	2	31.0	2.00
3	62.0	4.0	2.95	59.9	3.86
4	124	8.0	4.04	128	8.23
5	248	16.0	4.98	245	15.8
6	496	32.0	6.08	524	33.8
7	992	64.0	7.13	1090	70.0
8	1980	128	8.03	2030	131
9	3970	256	8.97	3890	251
10	7940	512	10	7940	512



Nital
5 Nominal ASTM grain size (specimen shown has a calculated grain size of 4.90)



Nital 100X
6 Nominal ASTM grain size No. 6 (specimen has a calculated grain size of 6.08)



Nital 100X
7 Nominal ASTM grain size No. 7 (specimen has a calculated grain size of 7.13)



Nital 100X
8 Nominal ASTM grain size No. 8 (specimen has a calculated grain size of 8.03)

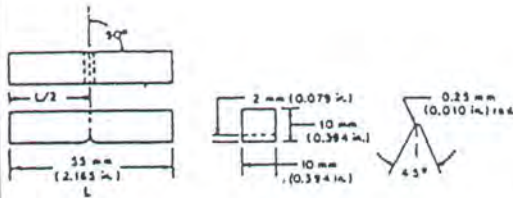


Nital 100X
9 Nominal ASTM grain size No. 9 (specimen has a calculated grain size of 8.97)



Nital
10 Nominal ASTM grain size (specimen has a calculated grain size of 10)

Standard methods for estimating the average grain size of metals are presented in ASTM E112, together with formulas for calculating grain size and a table of size relationships for all ASTM grain-size numbers (00 to 14.0, with half sizes).

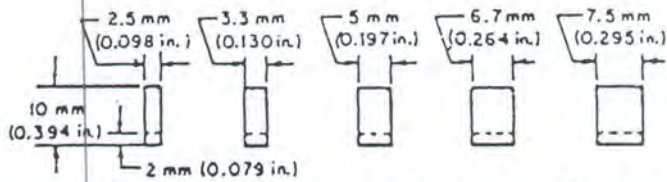


NOTE—Permissible variations shall be as follows:

Adjacent sides shall be at $90^\circ \pm 10 \text{ min}$
 Cross section dimensions $\pm 0.025 \text{ mm (0.001 in.)}$
 Length of specimen $+0, -2.5 \text{ mm (0.100 in.)}$
 Angle of notch $\pm 1^\circ$
 Radius of notch $\pm 0.025 \text{ mm (0.001 in.)}$
 Dimensions to bottom of notch: $8 \pm 0.025 \text{ mm (0.315 in.)}$

Finish 63 μm (1.3 μm) max on notched surface and opposite face; 125 μm (3.2 μm) max on other two surfaces

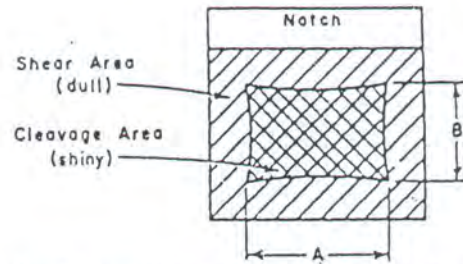
(a) Standard Specimens



NOTE—On subsize specimens, all dimensions and tolerances of the standard specimen remain constant with the exception of the width, which varies as shown above.

(b) Subsize Specimens

FIG. 11 Charpy (Simple Beam) Impact Test Specimens



NOTE 1—Measure average dimensions A and B to the nearest 0.02 mm.

NOTE 2—Determine the percent shear fracture using Table 4 or Table 5.

FIG. 12 Determination of percent Shear Fracture

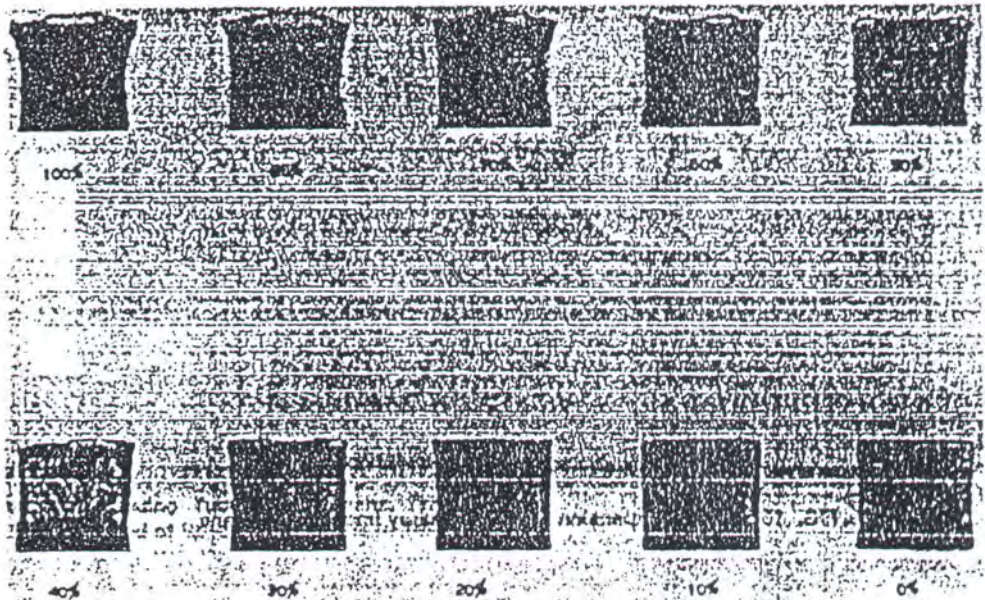


FIG. 13 Fracture Appearance Charts and Percent Shear Fracture Comparator