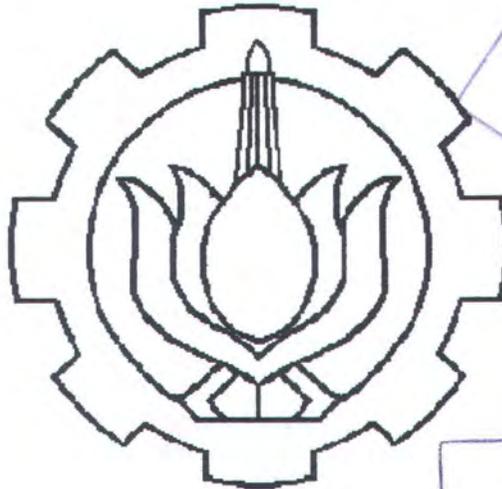


3100096007983

TUGAS AKHIR (NA 1701)

**STUDI TENTANG PENGARUH PEMOTONGAN
PELAT DENGAN MESIN NC PLASMA
TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN
DEFORMASI**

RSke
623.843
Fah
S-1
1996



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	02 APR 1996
Terima Oleh	H
No. Agenda Ref.	6158

OLEH:
ZAMZAM FAHRURI
NRP. 4914100391

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

1996



JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

No. : 30 /PT12.FTK2/M/199 5

Nama Mahasiswa : Zamzam Fahruri

Nomor Pokok : 4914100391

Tanggal diberikan tugas : 21 September 1995

Tanggal selesai tugas : 01 Maret 1996

Dosen Pembimbing : 1. Ir. Triwilaswandio, M.Sc

2.

raian / judul tugas akhir yang diberikan :

STUDI TENTANG PENGARUH PEMOTONGAN PELAT DENGAN MESIN NC. PLASMA TERHADAP SIFAT MEKANIS

INFORMASI#

sOn

Surabaya, 25 Oktober 1995

Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS



embusan :

Yth. Dekan FTK-ITS.

Yth. Dosen Pembimbing.

Arsip.

NIP. 130 532 029.

LEMBAR PENGESAHAN

TELAH DIREVISI SESUAI DENGAN PROSES VERBAL UJIAN
TUGAS AKHIR

Surabaya, Maret 1996

Mengetahui/Menyetujui
Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Ir. Triwilaswandio WP, MSc
NIP. 131 652 050

"Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah ! Dan Tuhanmu Yang Paling Pemurah. Yang telah mengajar (manusia) dengan kalam. Dia yang mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya"
(Al'Alaq:1-5)

ABSTRAK

ABSTRAK

Pemakaian mesin-mesin otomatis dalam industri perkapalan, terutama bidang bangunan baru sangat diperlukan untuk meningkatkan produktivitas galangan, mutu fisik kapal, dan mempersingkat waktu pembangunan kapal.

Akan tetapi, dalam proses pemotongan material dengan mesin NC plasma ini akan tetap berpengaruh terhadap sifat-sifat mekanis dan fisisnya. Karena akan mengakibatkan terjadinya perubahan struktur kristal sesuai dengan sifat masing-masing struktur kristal material tersebut. Adanya transformasi yang terjadi antar struktur kristal akan diikuti perubahan sifat mekanis dan fisis dari material, sehingga secara fisis akan terjadi perubahan dimensi dari material.

Sehubungan dengan hal tersebut, untuk mengetahui besarnya pengaruh pemotongan dan kelayakan hasil potongan sehingga dapat digunakan dalam pembangunan kapal maka dilakukan penelitian untuk menganalisa sifat mekanis dan deformasi dari material terpotong.

Untuk mendukung penelitian ini maka diadakan pengujian yang mencakup pengujian tarik, bending, impact, dan pengukuran deformasi. Data hasil pengujian ini akan memberikan gambaran tentang sifat mekanis dan deformasi dari material yang dipotong dengan mesin NC plasma.

Selain itu, dalam tugas akhir ini akan dianalisa pula tingkat akurasi dari mesin NC plasma ini, karena dalam kenyataannya mesin ini banyak digunakan untuk memotong pelat dengan ketebalan yang berbeda-beda serta menghasilkan bentuk yang bervariasi.

*"...Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan, beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan."
(Al Mujadalah:11)*

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji hanya milik Allah Ta'ala, karena semata-mata atas rahmat dan kehendak-Nyalah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul :

STUDI TENTANG PENGARUH PEMOTONGAN PELAT DENGAN MESIN NC PLASMA TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN DEFORMASI

Tugas Akhir ini merupakan syarat akademis bagi mahasiswa untuk menyelesaikan kuliah di Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan. Kami menyadari bahwa tersusunnya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan banyak pihak, dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan rasa terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Kedua orang tua, dan adik-adikku yang telah memberikan dukungan spiritual dan material yang tak terhingga nilainya.
2. Bapak Ir. Triwilaswandio WP, MSc, selaku dosen wali sekaligus dosen pembimbing tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk.
3. Bapak Ir. Soejitno, selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.



4. Seluruh staf pengajar Jurusan Teknik Perkapalan yang telah memberikan ilmunya selama penulis kuliah.
5. Seluruh Staf pegawai Jurusan Teknik Perkapalan yang telah banyak membantu selama penulis kuliah.
6. Untuk Fitria atas saran, motivasi dan doanya.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Perkapalan terutama angkatan P 31 untuk suka dan duka yang dirasakan bersama selama penulis kuliah.
8. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas akhir ini yaang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya dengan segala keterbatasan yang terdapat dalam penulisan Tugas Akhir ini, sebagai manusia biasa, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca.

Surabaya, Maret 1996

penulis

*" ...Sesungguhnya telah sampai kebenaran dari Tuhanmu, maka janganlah engkau termasuk (golongan) orang-orang yang ragu-ragu."
(Yunus:34)*

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

	Hal.
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Permasalahan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi	4
1.6 Sistematika Pembahasan	5
BAB II KONSEP DASAR	
2.1 Umum	7
2.2 Baja Karbon	7
2.3 Proses Laku Panas	10
2.4 Diagram Transformasi $F_0 - F_{e_3}C$	11
2.5 Diagram Transformasi	13
2.6 Transformasi Fase Pada Saat Pemanasan	14
2.7 Transformasi Fase Pada Saat Pendinginan	17
2.7.1. Transformasi Austenit Pada Temperatur Tetap	20

2.7.2. Kurva pendinginan	25
2.7.3. Transformasi Austenit Pada Pendinginan Kontinyu	26
2.8 Deformasi	31
2.8.1. Deformasi Struktur Logam	32
2.8.2. Deformasi Elastis	33
2.8.3. Deformasi Plastis	33
2.9 Accuracy Control	34
2.9.1. Sistem Evaluasi Dan Evaluasi Data	36
2.9.2. Aplikasi Metoda Statistik	38
2.9.2.1. Control Chart	39
2.9.2.2. Tipe Control Chart	40
2.9.2.3. Interpretasi Peta Kendali	41

BAB III PROSES PEMOTONGAN MATERIAL DENGAN MESIN NC PLASMA

3.1 Pemotongan Busur Api Plasma	46
3.1.1. Gas Potong	47
3.1.2. Kecepatan Potong	47
3.1.3. Proses Pemotongan	48
3.1.4. Daerah Pemotongan	49
3.1.4.1. Logam Induk	49
3.1.4.2. H A Z	49
3.2 Proses Pembuatan Material Uji	50

BAB IV PELAKSANAAN DAN HASIL PENGUJIAN

4.1 Umum	53
4.2 Pengujian Tarik	54
4.2.1. Spesimen Uji Tarik	54
4.2.2. Prosedur Pengujian Tarik	56

4.2.3. Hasil Pengujian Tarik	58
4.2.3.1. Tabel Hasil Pengujian Tarik	59
4.3 Pengujian Impak	61
4.3.1. Spesimen Uji Impak	61
4.3.2. Prosedur Pengujian Impak	62
4.3.3. Hasil Pengujian	64
4.3.3.1. Tabel Hasil Pengujian Impak	65
4.4 Pengujian Bending	66
4.4.1. Spesimen Uji Bending	67
4.4.2. Dasar Teori	68
4.4.3. Prosedur Pengujian Bending	69
4.4.4. Hasil Pengujian Bending	70
4.4.4.1. Tabel Hasil Pengujian Bending	70
4.5 Pengukuran Dimensi Dan Deformasi Geometri	72
4.5.1. Spesimen Pengukuran	72
4.5.2. Prosedur Pengukuran Dimensi Dan Deformasi	73
4.5.3. Hasil Pengukuran	74
BAB V ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN MASALAH	
5.1 Umum	78
5.2 Analisa Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Material	78
5.3 Analisa Akurasi Dimensi	82
5.3.1. Analisa Peta Kendali	82
5.3.2. Pengaruh Dimensi Terhadap Deviasi Material	83
5.3.3. Pengaruh Model Terhadap Deviasi Dimensi	85
5.4 Analisa Deformasi Geometri	86
5.4.1. Pengaruh Tebal Terhadap Deformasi	86
BAB VI PENUTUP	

6.1 Kesimpulan	88
6.2 Saran	90

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

*"Dialah yang menciptakan matahari yang bersinar dan bulan yang bercahaya. Dan ditentukan-Nya manazil-manazil supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan. Allah menciptakan yang demikian dengan hak. Dia menguraikan tanda-tanda (kebesaran-Nya) bagi kaum yang mengetahui."
(Yunus: 5)*

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Transformasi Fe-Fe ₃ C	13
Gambar 2.2	Diagram Transformasi Pemanasan	14
Gambar 2.3	Skema Perubahan Struktur Mikro Selama Pemanasan Dan Pendinginan Lambat	15
Gambar 2.4	Skema Pertumbuhan Dan Struktur Mikro Perlit	18
Gambar 2.5	TTT Diagram Untuk Baja Karbon	22
Gambar 2.6	Pengaruh Kadar Karbon Terhadap Kekerasan Martensit	24
Gambar 2.7	Continuous Cooling Transformation	27
Gambar 2.8	I-T Diagram Baja 1035	28
Gambar 2.9	I-T Diagram Baja 1050	29
Gambar 2.10	I-T Diagram Baja 1335, 0.35% C, 1.85% Mn	30
Gambar 2.11	I-T Diagram Baja 0.33% C, 0.45% Mn, Dan 1.97% Cr	31
Gambar 2.12	Range Standard Dan Toleransi Limit	35
Gambar 2.13	Pola Gerak Periodik	42
Gambar 2.14	Pola Stratifikasi	43
Gambar 2.15	Pola Kecenderungan	44
Gambar 2.16	Pola Campuran	44
Gambar 2.17	Pola Pergeseran Dalam Tingkat Proses	45
Gambar 4.1	Spesimen Pengujian Tarik	55
Gambar 4.2	Spesimen Pengujian Impak	61
Gambar 4.3	Spesimen Pengujian Bending	67
Gambar 4.4	Spesimen Pengukuran Deformasi	72
Gambar 4.5	Peta Kendali Spesimen Tebal 7 mm	75

Gambar 4.6	Pengaruh Ukuran Terhadap Deviasi Panjang Tebal 7 mm ...	75
Gambar 4.7	Grafik Prosentase Deviasi Dimensi Tebal 7 mm	76
Gambar 4.8	Grafik Pengaruh Model Terhadap Deviasi Tebal 7 mm	76
Gambar 4.9	Grafik Pengaruh Tebal Terhadap Deformasi Model Lengkung Set Up Tetap	77
Gambar 5.1	Struktur Martensit Akibat Pemotongan Dengan Mesin NC Plasma	81
Gambar B.1	Peta Kendali Spesimen Tebal 7 mm	97
Gambar B.2	Peta Kendali Spesimen Tebal 10 mm	99
Gambar B.3	Peta Kendali Spesimen Tebal 15 mm	100
Gambar C.1	Grafik Pengaruh Ukuran Terhadap Deviasi Panjang Untuk Tebal Pelat 7,10, Dan 15 mm	102
Gambar D.1	Grafik Prosentase Deviasi Dimensi Spesimen Tebal 7 mm ..	103
Gambar D.2	Grafik Prosentase Deviasi Dimensi Spesimen Tebal 10 mm	104
Gambar D.3	Grafik Prosentase Deviasi Dimensi Spesimen Tebal 15 mm	105
Gambar E.1	Grafik Pengaruh Model Terhadap Rata-rata Deviasi Mesin Set Up Tetap Tebal 7 Dan 10 mm	106
Gambar E.2	Grafik Pengaruh Model Terhadap Rata-rata Deviasi Mesin Set Up Tetap Tebal 12 Dan 15 mm	107
Gambar E.3	Grafik Pengaruh Model Terhadap Rata-rata Deviasi Mesin Set Up Tetap Tebal 8, 10, Dan 14 mm	108
Gambar G.1	Grafik Pengaruh Tebal Terhadap Deformasi Model Mesin Set Up Tetap	114
Gambar G.2	Grafik Pengaruh Tebal Terhadap Deformasi Model Mesin Set Up Tetap	115
Gambar G.3	Grafik Pengaruh Tebal Terhadap Deformasi Model Mesin Set Up Berubah	116

Gambar G.4 Grafik Pengaruh Tebal Terhadap Deformasi Model Mesin Set
Up Berubah 117

*"Dan diberikannya kepadamu semua (sumber kebutuhan) yang kamu mohonkan. Sekiranya kamu (mencoba menghitung) karunia Allah, maka tidak akan terhitung olehmu. Sesungguhnya manusia itu sangat zalim dan ingkar."
(Ibrahim: 34)*

DAFTAR TABEL

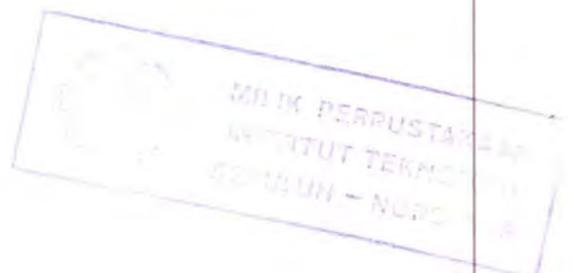
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Dan Kadar Karbon Baja	9
Tabel 3.1 Data Setting Pemotongan Spesimen Set Up Tetap	51
Tabel 3.2 Data Setting Pemotongan Spesimen Set Up Berubah	52
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tarik Mesin Set Up Berubah	59
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tarik Mesin Set Up Tetap	60
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Impak Mesin Set Up Tetap	65
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Impak Mesin Set Up Berubah	66
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Tekuk Mesin Set Up Berubah	70
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Tekuk Mesin Set Up Tetap	71
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Dimensi Material Ukuran 220 x 200 mm	74
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Deformasi Mesin Set Up Tetap Tebal 10 mm	77
Tabel A.1 Hasil Pengukuran Dimensi Perubahan P/L	95
Tabel F.1 Hasil Pengukuran Deformasi Model Mesin Set Up Tetap Tebal 7 mm.	109
Tabel F.2 Hasil Pengukuran Deformasi Model Mesin Set Up Tetap Tebal 10 mm.	110
Tabel F.3 Hasil Pengukuran Deformasi Model Mesin Set Up Tetap Tebal 12 mm.	111
Tabel F.4 Hasil Pengukuran Deformasi Model Mesin Set Up Tetap Tebal 15 mm.	112
Tabel F.5 Hasil Pengukuran Deformasi Model Mesin Set Up Berubah	113

*"Dialah yang telah menjadikan semua yang di muka bumi ini untuk kamu. Kemudian Dia sengaja (menjadikan) kejadian angkasa, lantas diciptakan-Nya tujuh lapis. Dia Maha Mengetahui segala sesuatu."
(Al Baqarah: 29)*

BAB I

PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada proses pembangunan kapal perlu adanya pengawasan dan pencegahan-pencegahan adanya ketidakakurasian dimensi serta perubahan sifat-sifat mekanis dan fisis material dalam proses pemotongan material (pelat) yang akan digunakan untuk pembangunan kapal dengan sistem seksi atau blok.

Perubahan sifat mekanis dan fisis dari material akan selalu terjadi pada material pelat yang mengalami proses pekerjaan panas seperti pemotongan pelat atau pengelasan. Perubahan ini harus selalu mendapatkan perhatian agar supaya material ini tetap memiliki keunggulan pada sifat-sifat mekanisnya serta perubahan sifat fisis yang terjadi, dalam hal ini deformasi masih dalam batas-batas toleransi/allowance, sehingga kapal yang dihasilkan memiliki kualitas yang tinggi dari sudut kekuatan dan bentuk fisiknya.

Selain kemungkinan diatas, perubahan bentuk yang terjadi akibat perlakuan panas tadi akan menimbulkan kerugian-kerugian yang bersifat teknis dan ekonomis seperti : terjadinya pekerjaan ulang pada pekerjaan tertentu, banyak material yang terbuang karena tidak memiliki keakurasian dimensi seperti yang diharapkan, membutuhkan jam orang yang cukup tinggi untuk memperbaiki / meluruskan

perubahan bentuk yang terjadi, serta akan dapat memperpanjang waktu pembangunan suatu kapal.

Pemakaian mesin NC Plasma dalam proses pemotongan material untuk pembangunan kapal di P.T. PAL INDONESIA diharapkan akan dapat mengurangi waktu pembangunan kapal sehingga dapat meningkatkan produktivitas dari galangan. Di samping itu pemakaian mesin NC Plasma dalam tahap fabrikasi dapat menghasilkan nilai keunggulan dalam produk antara baik ditinjau dari segi fisik maupun kekuatan mekanis dari material yang dipotong dengan mesin NC Plasma.

Dari dasar inilah, kemudian timbul ide untuk melakukan penelitian untuk mengetahui sampai dimana perubahan fisis dan mekanis dari material terpotong sehingga dapat menghasilkan material yang diharapkan. Selain itu dapat diketahui efisiensi pemakaian mesin NC Plasma untuk meningkatkan produktivitas galangan.

1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai di dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

- Untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat pemotongan material dengan mesin NC plasma.
- Untuk mengetahui keakurasian dimensi pada material yang telah dipotong dengan mesin NC plasma.

- Melakukan pengujian-pengujian untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dan fisis dari material melalui pengujian tarik, pengujian impact, pengujian bending, dan pengukuran deformasi.
- Membandingkan sifat-sifat mekanis antara specimen yang dipotong dengan mesin NC plasma dengan machining.

1.3 Permasalahan

Beberapa masalah yang ingin diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimanakah pengaruh pemotongan pelat dengan menggunakan mesin NC plasma terhadap kekuatan mekanis dan terjadinya perubahan struktur mikro yang terjadi pada material ?
2. Bagaimanakah pengaruh pemotongan pelat dengan mesin NC plasma yang dilakukan di P.T. PAL Indonesia terhadap keakurasian dimensi ?
3. Bagaimanakah perbandingan deformasi yang terjadi pada material dengan berbagai model yang dipotong dengan mesin NC plasma ?

1.4 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini akan membahas masalah-masalah dengan ruang lingkup pembahasan sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di Lab. Kontruksi dan Kekuatan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
2. Material yang dipakai dalam pengujian ini adalah jenis SS- 41 buatan Krakatau Steel dari P.T. PAL Indonesia.

3. Variasi ketebalan yang dipakai dalam pengujian ini untuk baja sebanyak 5 macam.
4. Variasi bentuk yang dipakai dalam pengujian ini sebanyak 5 macam.
5. Perubahan panjang dan lebar dari specimen untuk pengukuran dimensi sebanyak 10 macam.
6. Pengujian yang dilakukan pada material meliputi : pengujian tarik, pengujian impact, pengujian bending, pengukuran dimensi, dan pengukuran deformasi.
7. Proses pemotongan material dilakukan di P.T. PAL Indonesia.
8. Perubahan struktur mikro baja akibat pemotongan material tidak dibahas secara mendalam.

1.5 Metodologi

Dalam tugas akhir ini pembahasan yang dilakukan akan bersifat :

- Studi literatur dari sumber-sumber yang berupa buku-buku, jurnal, dan teori di bangku kuliah.
- Pengamatan di lapangan, dalam hal ini dilakukan di P.T. PAL Indonesia agar memperoleh gambaran proses pemotongan pelat yang sesungguhnya.
- Penelitian dengan melakukan pengujian-pengujian di Laboratorium Kontruksi Dan Kekuatan Teknik Perkapalan FTK-ITS.

1.6 Sistematika Pembahasan

Agar memudahkan dalam pembahasannya, tugas akhir ini akan dibagi menjadi beberapa bab. Adapun susunannya :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan, permasalahan, batasan masalah, metodologi, dan sistematika pembahasan.

BAB II : KONSEP DASAR

Berisi tentang konsep-konsep dasar yang berhubungan dengan pembahasan, seperti : pemakaian mesin NC plasma dalam pemotongan pelat baja, sifat-sifat dan struktur baja akibat adanya pekerjaan panas.

BAB III : PROSES PEMOTONGAN MATERIAL DENGAN MESIN NC PLASMA

Berisi tentang bagaimana proses pembuatan spesimen pengujian dan pengukuran yang dilakukan di lapangan.

BAB IV : PELAKSANAAN DAN HASIL PENGUJIAN

Pada bab ini akan dibahas tentang macam-macam pengujian yang dilakukan, prosedur pengujian, pelaksanaan pengujian, dan hasil pengujian sehingga dapat digunakan untuk membahas pengaruh pemotongan pelat terhadap sifat mekanis dan deformasi.

BAB V : ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN MASALAH

Pada bab ini akan membahas dan mengolah data hasil pengujian yang telah dilakukan.

BAB VI : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari tugas akhir ini.

*"Dan sesungguhnya Kami telah menciptakan gugusan bintang-bintang di ruang angkasa. Dan Kami ciptakan begitu indahnyanya, mempesonakan orang yang memandangnya."
(Al Hijr: 16)*

BAB II

KONSEP DASAR

BAB II

KONSEP DASAR

2.1 Umum

Seperti yang telah diketahui bahwa sifat mekanik bahan tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tetapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda, dan sifat mekaniknya pun berbeda. Hal ini tergantung dari proses pengerjaan yang dikenakan pada material.

Dengan mengetahui proses laku-panas pada baja, maka akan dapat diprediksi struktur mikro apa yang akan terjadi bila suatu paduan mengalami pemanasan dan pendinginan pada suatu kondisi tertentu. Atau dengan menggunakan prinsip-prinsip perlakuan panas akan dapat ditentukan bagaimana kondisi pemanasan dan pendinginan yang harus diberikan terhadap material bila diinginkan sifat tertentu.

2.2 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit kandungan silikon, pospor, mangan, belerang, dan tembaga. Kadar karbon pada sangat mempengaruhi sifat baja karbon. Oleh karena itu baja ini akan dikelompokkan menurut kadar karbon.

Baja karbon dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok berdasarkan kandungan kadar karbonnya, yaitu :

1. Baja karbon rendah, yaitu Baja dengan kadar karbon kurang dari 0.30%, sifatnya lunak , kekuatan relatif rendah, dan keuletannya tinggi. Penggunaannya untuk baja konstruksi bejana tekan dan sebagainya.
2. Baja karbon sedang, yaitu Baja dengan kadar karbon antara 0.30% sampai dengan 0.45%. Sifatnya lebih kuat dan lebih keras dari baja karbon rendah. Penggunaannya sama dengan baja karbon rendah tetapi untuk kekuatannya tidak terlalu tinggi.
3. Baja karbon tinggi, yaitu Baja karbon dengan kadar karbon lebih dari 0.45%. Sifat keras, kuat dan keuletannya rendah. Penggunaan untuk konstruksi yang memerlukan sifat tahan aus dan lain-lain.

Baja karbon rendah yang juga disebut baja lunak banyak sekali digunakan untuk konstruksi umum. Baja karbon ini dibagi lagi dalam baja lunak khusus ,baja sangat lunak, baja lunak, dan baja setengah lunak.

Sifat mekanis dan kadar karbon masing-masing baja tersebut akan diberikan dalam tabel berikut ini :

Jenis dan Kelas	Kadar Karbon (%)	Kekuatan Luluh (Kg/mm ²)	Kekuatan Tarik (Kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan
baja lunak khusus	0.08	18-28	32-36	40-30	95-100	pelat tipis
baja sangat lunak	0.08-0.12	20-29	36-42	40-30	80-120	batang, kawat
baja lunak	0.12-0.20	22-30	38-48	36-24	100-130	kontruksi umum
baja setengah lunak	0.20-0.30	24-36	44-45	32-22	112-145	
baja setengah keras	0.30-0.40	30-40	50-60	30-17	140-170	alat-alat mesin
baja keras	0.40-0.50	34-46	58-70	26-14	160-200	perkakas
baja sangat keras	0.50-0.80	36-47	65-100	20-11	180-235	rel, pegas dan kawat

TABEL 2.1
SIFAT MEKANIS DAN KADAR KARBON BAJA

Mengingat bahwa logam ferro banyak jenisnya maka sebagai pembatas akan dipaparkan baja karbon rendah khususnya mild steel.

2.3 Proses Laku Panas

Proses laku- panas (*heat treatment*) adalah kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan yang dilakukan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap material dalam keadaan padat, agar dapat memperoleh sifat mekanis tertentu. Suatu proses laku- panas yang sama mungkin akan menghasilkan sifat yang berbeda bila pengerjaan sebelum dan sesudahnya berbeda

Proses laku- panas terhadap baja pada umumnya akan melibatkan transformasi atau dekomposisi austenit. Struktur dan bentuk dari hasil transformasi inilah yang akan menentukan sifat fisis dan sifat mekanis baja. Selama pemanasan, yang biasanya dilakukan hingga mencapai daerah austenit, baja akan mengalami transformasi fase, akan terbentuk austenit. Dengan memberikan holding time yang cukup akan memberikan kesempatan pada atom-atom untuk berdiffusi menhomogenkan austenit yang baru terbentuk tersebut. Pada pendinginan kembali, austenit akan bertransformasi lagi dan struktur mikro yang terbentuk akan tergantung laju pendinginan. Dengan laju pendinginan yang berbeda maka akan terbentuk struktur mikro yang berbeda dan sifat mekanisnya pun berbeda.

2.4 Diagram Transformasi Fe - Fe₃C

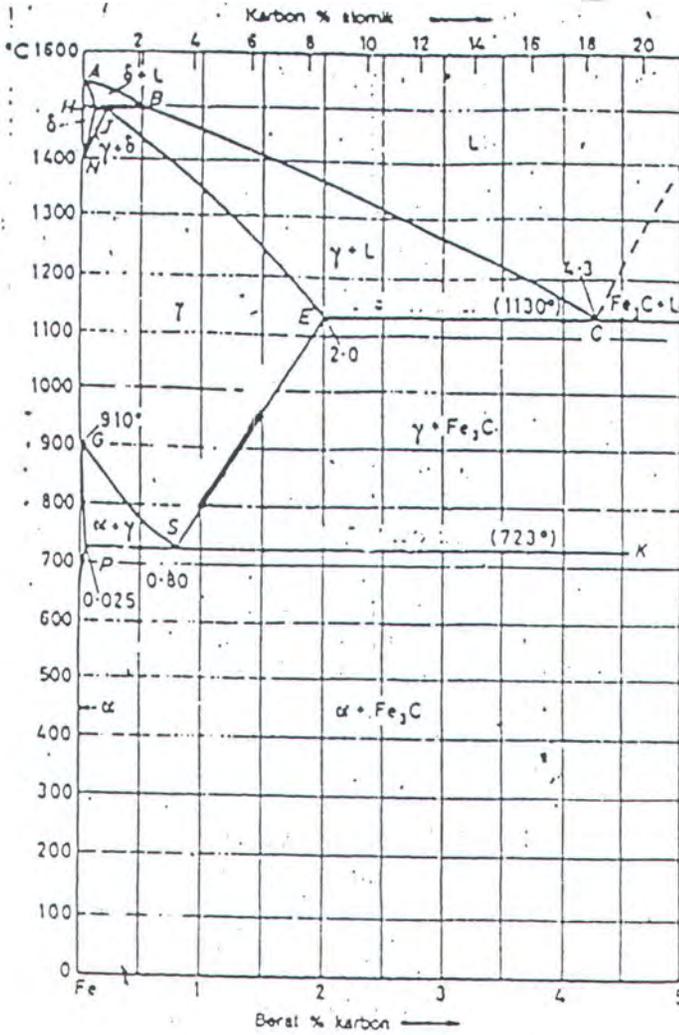
Transformasi yang terjadi pada proses pemotongan logam dapat diamati dan dipelajari dari *diagram fase besi - besi karbida*. Hal ini perlu dipelajari untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada logam yang dikenai proses pemotongan. Sebenarnya diagram fase ini bukanlah diagram fase yang sebenarnya, karena pada keadaan kesetimbangan (*equilibrium*) tidak akan terbentuk karbida melainkan terbentuk karbon bebas yang berupa grafit, sehingga akan didapat diagram besi-grafit. Akan tetapi diagram Fe-Fe₃C ini masih dapat diagram yang equilibrium karena proses pemanasan dan pendinginan berlangsung sangat lambat.

Dari gambar 2.1 tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar, yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara isothermal. Di garis HB berlangsung reaksi peritektik, pada garis ED berlangsung reaksi eutektik dan pada garis PK berlangsung secara eutektoid.

Fase-fase yang terdapat dalam diagram Fe-Fe₃C adalah sebagai berikut :

1. Cementite adalah karbida besi Fe₃C, merupakan senyawa interstisial mengandung 6.67 %C. Sangat keras (± 650 BHN), getas dan kekuatan rendah (± 350 kg/cm³). Zat arang bebas yang hanya terdapat pada besi tuang (grafita).
2. Ferrit adalah larutan padat karbon (besi α), dapat melarutkan karbon sampai 0.025 % pada temperatur 727^o C dan 0.008 % pada temperatur kamar. sifat mekanis yang dimiliki lunak dan ulet. kekuatan rendah dan memiliki kekerasan 90 R_B.

3. Austenit adalah larutan padat karbon (besi γ), dapat melarutkan karbon sampai 2.11% pada temperatur 1148^o C. Sifat mekanis yang dipunyai lunak dan ulet pada temperatur kamar. Kekuatan tarik ± 1050 kg / cm² . kekerasan 40 R_c, dan ketangguhan tinggi.
4. Pearlite adalah suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite. Pearlite dapat melarutkan karbon sampai 0.8%. Terbentuk pada suhu 723^o C.
5. Ledeburite adalah eutectic mixture dari austenite dan cementite.
6. Lower Critical Temperatur (temperatur kritis bawah) A₁ , temperatur eutectoid. Pada diagram Fe-Fe₃C tampak berupa garis mendatar di temperatur 723^o C. Pada temperatur ini terjadi reaksi eutectoid :
austenite \rightarrow ferrite + cementite
7. Upper Critical Temperature (temperatur kritis atas) A₃ , temperatur awal terjadinya perubahan allotropik dari γ ke α (pada pendinginan) atau akhir perubahan allotropik dari α ke γ (pada pemanasan).
8. Garis Solvus A_{cm} merupakan batas kelarutan karbon dalam austenite.



GAMBAR 2.1
DIAGRAM TRANSFORMASI Fe - Fe₃C

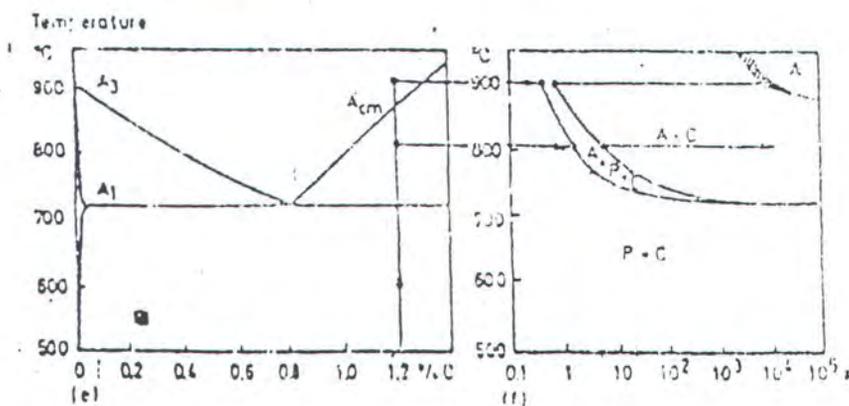
2.5 Diagram Transformasi

Diagram fase adalah dasar yang sangat berperan penting dalam proses laku-panas. Diagram ini menunjukkan kondisi setelah tercapainya kondisi kesetimbangan, yaitu kondisi yang tidak berubah menurut waktu. Pada proses yang sebenarnya terjadi selalu menunjukkan perubahan terhadap waktu, maka

untuk memecahkan masalah ini dibuatlah diagram transformasi. Diagram transformasi ini menunjukkan perubahan terhadap waktu dan temperatur.

2.6 Transformasi Fase Pada Saat Pemanasan

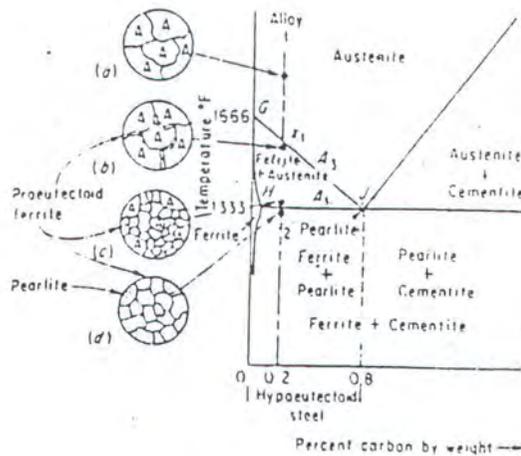
Untuk mempelajari transformasi fase pada saat pemanasan maka digunakan contoh dua macam baja, yaitu baja hypoeutektoid dan baja hypereutektoid, yang telah mendapatkan pendinginan equilibrium dan akan mendapatkan pemanasan equilibrium. Dan bila suatu baja dipanaskan dengan sangat cepat ke berbagai temperatur dan diamati beberapa waktu yang diperlukan untuk mulai dan berakhirnya suatu proses transformasi di masing-masing temperatur, maka akan diperoleh beberapa kurva seperti pada gambar 2.2.



GAMBAR 2.2
DIAGRAM TRANSFORMASI PEMANASAN

Pada temperatur kamar, baja hypoeutectoid (misalnya dengan 0.2% karbon) terdiri dari butir-butir kristal ferrite dan perlit, perubahan struktur mikro yang terjadi pada pemanasan/ pendinginan equilibrium dapat dilihat pada gambar2.3. Kalau baja ini dipanaskan hanya sampai temperatur dibawah temperatur kritis A_1 ,

maka belum tampak adanya perubahan struktur mikro. Tetapi bila pemanasan dilanjutkan hingga tepat pada temperatur kritis A_1 maka perlite akan mengalami *reaksi eutektoid*, sehingga bagian ferrite dan cementite dari perlite akan bereaksi dan menjadi austenite.



GAMBAR 2.3
SKEMA PERUBAHAN STRUKTUR MIKRO SELAMA PEMANASAN DAN PENDINGINAN LAMBAT

Reaksi eutektoid yang terjadi adalah :



Reaksi ini akan berlangsung pada temperatur konstan, temperaturnya tidak akan naik sampai reaksi eutektoid selesai. Reaksi ini terus berlanjut sampai seluruh ferrite dan cementite di dalam perlite habis menjadi austenite. Setelah perlite habis dan mulai terjadi kenaikan temperatur, maka ferrite-proeutektoid akan mulai mengalami transformasi allotropik, ferrite yang BCC akan menjadi austenit yang FCC. Transformasi ini berlangsung bersamaan dengan naiknya temperatur, makin tinggi temperatur pemanasan makin banyak ferrit yang bertransformasi menjadi

austenite, sehingga pada saat temperatur mencapai temperatur kritis A_3 seluruh ferrit-proeutektoid sudah menjadi austenite.

Baja hypereutektoid (misalnya 1.0% C) pada temperatur kamar, struktur mikronya terdiri dari perlite dan cementite network yang membungkus butir-butir kristal perlite. Skema perubahan struktur mikro dengan pemanasan dan pendinginan equilibrium. Bila baja ini mengalami pemanasan hingga mencapai temperatur kritis A_1 maka akan mulai terjadi reaksi eutektoid seperti halnya baja hypoetektoid, ferrit dan cementite pada perlite akan bereaksi menjadi austenite. Temperatur tidak naik sebelum reaksi ini selesai, karena panas yang diberikan oleh pemanasan digunakan untuk berlangsungnya reaksi ini, bila reaksi ini selesai baru kemudian panas digunakan untuk menaikkan temperatur.

Pada temperatur kritis A_1 ini austenite mengandung 0.8 %C, karbon yang lain berada pada cementite. Dengan naiknya temperatur ke atas temperatur kritis A_1 maka kemampuan austenite melarutkan karbon juga akan naik, sehingga karbon yang tadinya berada pada cementite sedikit demi sedikit mulai larut kedalam austenite, jaringan cementite sedikit demi sedikit makin menipis. Dan akhirnya pada temperatur A_{cm} jaringan cementite akan habis, seluruh strukturnya menjadi austenite

Austenit yang baru terjadi masih belum homogen. Pada baja hypoetektoid misalnya, austenit yang berasal dari perlite mengandung 0.8% C sedang yang berasal dari ferrit masih mengandung karbon yang jauh lebih sedikit. Pada baja hypereutektoid, austenit yang mula-mula terjadi mengandung 0.8% C, dan ini akan

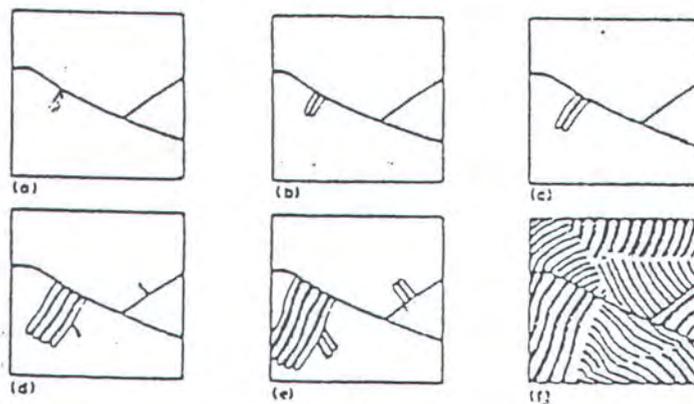
makin bertambah dengan adanya karbon yang larut dari jaringan sementit yang berada di sekitar austenit. Tentunya mula-mula tambahan karbon itu akan berada lebih banyak di bagian luar dari butir austenit, sedang yang bagian dalam masih belum banyak mendapat tambahan (karena proses berlangsung secara difusi). Agar semua austenit dapat menjadi homogen perlu diberikan waktu untuk berlangsungnya difusi. Dengan tambahan waktu yang cukup maka butir austenit yang kecil-kecil ini akan tumbuh menjadi butiran yang lebih besar seiring dengan kenaikan temperatur.

2.7 Transformasi Fase Pada Saat Pendinginan

Dalam proses laku-panas , setelah pemanasan mencapai temperatur yang diinginkan dan diberi holding time, maka dilakukan pendinginan dengan laju tertentu. Struktur mikro yang terjadi setelah pendinginan akan bergantung pada laju pendinginan. Sehingga sifat mekanis yang terjadi pada proses laku-pana sangat bergantung pada laju pendinginan.

Transformasi austenit pada pendinginan memegang peranan penting terhadap sifat baja. Austenit dari baja hypoeutektoid bila didinginkan dengan lambat, pada temperatur kritis A_3 mulai membentuk inti kristal ferrit. Inti ferrit tumbuh pada batas-batas butir kristal austenit. Transformasi ini terjadi karena perubahan allotropik dari besi gamma ke alfa hanya dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat kecil, maka kandungan karbon dalam austenit akan semakin besar bila ferrit yang tumbuh makin banyak. Besarnya kandungan karbon dalam austenit

dengan menurunnya temperatur mengikuti garis temperatur kritis A_3 , sehingga pada saat temperatur mencapai temperatur kritis A_1 komposisi sisa austenit sama dengan komposisi eutektoid dan pada saat temperatur itu austenit bertransformasi menjadi perlit. Pertumbuhan perlit ini dimulai dengan tumbuhnya inti cementit pada batas butir austenit. Untuk tumbuhnya cementit, yang kaya karbon (6.67% C) ini, diperlukan sejumlah besar karbon , yang diperoleh dari austenit di sekitarnya, yang akan mengeluarkan karbon untuk dapat menjadi ferrit. Karbon ini mengumpul pada cementit untuk bertumbuhnya cementit yang sudah ada, sedang yang keluar dari sisi lain akan membentuk cementit yang baru. Demikian seterusnya, sehingga terjadi struktur yang berlapis-lapis (lamellar) terdiri dari ferrit dan cementit, yang disebut perlit. Skema pertumbuhan perlit dan gambar struktur mikro perlit dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut :



GAMBAR 2.4
 SKEMA PERTUMBUHAN DAN STRUKTUR MIKRO PERLIT

Transformasi dari austenit menjadi perlit ini berlangsung dengan mengeluarkan sejumlah panas sehingga reaksi eutektoid itu berlangsung pada temperatur tetap. Temperatur akan turun lagi bila reaksi eutektoid sudah selesai. Pada temperatur yang lebih rendah lagi sudah tidak ada perubahan fase. Perubahan yang terjadi pada temperatur kritis A_1 hanya transformasi dari austenit menjadi perlit, sedang ferrit yang sudah terjadi sebelumnya (disebut ferrit proeutektoid), tidak mengalami perubahan. Struktur mikro baja ini pada temperatur kamar terdiri dari ferrit dan perlit. Makin tinggi kadar karbon dari baja ini maka makin banyak pula jumlah perlitnya dibandingkan dengan jumlah ferritnya, dan struktur akan terdiri dari perlit seluruhnya pada baja dengan komposisi eutektoid.

Pada baja hypereutektoid austenit mulai mengalami perubahan fase pada temperatur A_{cm} dengan keluarnya cementit dari larutan padat itu. Karena pada temperatur ini austenit mencapai batas kemampuannya dalam melarutkan karbon, dan jika temperaturnya diturunkan lagi maka austenit akan kelebihan karbon. Kelebihan ini akan mengendap keluar dari austenit sebagai cementit. Makin turun temperaturnya maka makin banyak cementit yang mengumpul pada batas akhir austenit, sehingga akan membentuk jaringan yang membungkus austenit.

Dengan keluarnya cementit ini maka akan mengurangi kadar karbon yang ada pada austenit, sehingga pada temperatur kritis A_1 komposisi austenit akan menjadi komposisi eutektoid dan akan terjadi reaksi eutektoid (terjadi transformasi austenit menjadi perlit). Di bawah temperatur kritis A_1 tidak terjadi lagi perubahan

fase. Pada temperatur kamar struktur mikro dari baja hypereutektoid terdiri dari perlit yang dikelilingi oleh jaringan cementit.

Transformasi dari austenit menjadi perlit terjadi karena perpindahan atom-atom secara difusi, sehingga perlu waktu yang lama. Pada pendinginan lambat akan tersedia waktu yang cukup untuk terjadinya difusi. Sehingga akan terbentuk perlit yang lamellar. Pada pendinginan yang cepat tidak tersedia cukup waktu untuk terjadinya proses transformasi pada temperatur eutektoid. Transformasi akan terjadi pada temperatur yang lebih rendah, karena akan terjadi didusi menjadi lebih terbatas. Oleh karena itu tebal lamel menjadi kecil dan butiran akan lebih halus. Bila pendinginan berlangsung lebih cepat akan dapat terbentuk struktur mikro yang berbeda dari pendinginan yang berlangsung lambat.

2.7.1. Transformasi Austenit Pada Temperatur Tetap

Temperatur transformasi austenit banyak berpengaruh terhadap penyebaran ferrit dan cementit, sehingga akan mempengaruhi sifat baja. Untuk mempelajari waktu mulai dan berakhirnya transformasi austenit, serta struktur mikro yang terjadi setelah transformasi maka digunakan diagram transformasi isothermal (I-T Diagram) atau *Time Temperatur Transformation Diagram* (TTT Diagram).

Pada setiap baja mempunyai diagram ini sendiri dan akan berbeda untuk tiap baja. Kurva sebelah kiri menunjukkan saat mulainya transformasi isothermal dan kurva sebelah kanan menunjukkan saat selesainya transformasi isothermal. Di atas garis A_1 , austenit dalam keadaan stabil. Di bawah temperatur kritis, pada daerah

sebelah kiri kurva awal transformasi, austenit tidak stabil dan sebelah kanan kurva akhir transformasi terdapat hasil transformasi isothermal dari austenit, sedang pada daerah di antara kedua kurva tersebut terdapat sisa austenit dan hasil transformasi.

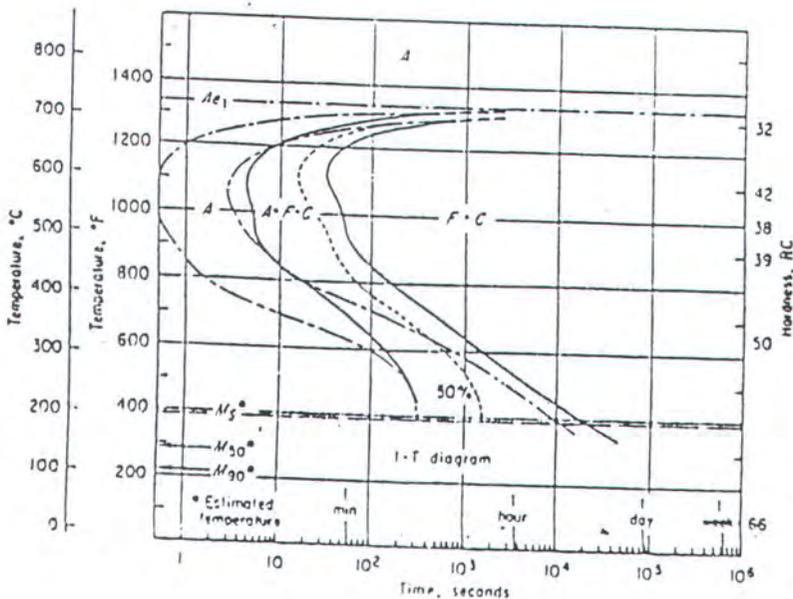
Titik paling kiri dari kurva awal transformasi disebut hidung (nose) digram ini. Transformasi austenit pada temperatur di atas "hidung" akan menghasilkan perlit sedang pada temperatur di bawah "hidung" akan menghasilkan bainit. Bila temperatur saat transformasi lebih rendah akan dihasilkan martensit.

Untuk semua baja, kecuali baja eutektoid, I-T diagram akan mempunyai dua kurva awal transformasi pada daerah di atas hidungnya. Kurva pertama menunjukkan awal transformasi dari austenit menjadi ferrit (pada baja hypoeutektoid) atau menjadi cementit (pada baja hypereutektoid). Kurva kedua menunjukkan awal transformasi austenit menjadi perlit.

Transformasi yang terjadi pada temperatur sedikit di bawah temperatur kritis A_1 akan menghasilkan perlit kasar, butir kristal besar, dan jarak antar lamel besar, kekerasan rendah. Dengan temperatur transformasi yang lebih rendah akan diperoleh butir kristal yang lebih halus dan jarak antar lamel pada perlit akan kecil sehingga kekerasannya meningkat. Bainit akan terjadi pada transformasi isothermal pada temperatur di bawah hidung. Pada temperatur yang lebih tinggi diperoleh bainit atas yang sering disebut fathery bainit, karena bentuknya seperti bulu ayam. Sedang pada temperatur yang lebih rendah diperoleh bainit bawah, karena bentuknya seperti sekumpulan jarum-jarum yang berserakan. Bainit tidak

berbentuk lamellar seperti perlit tetapi berupa cementit yang terperangkap dalam ferrit yang sangat halus.

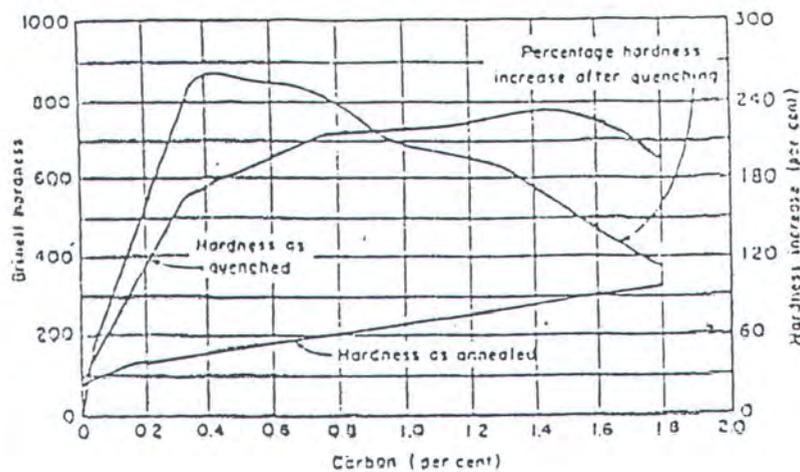
Dalam pendinginan, waktu temperatur kritis A_1 austenit (besi gamma, FCC) akan mengalami perubahan allotropik menjadi alfa (BCC), dan karena besi alfa tidak mampu melarutkan karbon sebanyak besi gamma maka karbon yang tadinya berada dalam besi gamma akan keluar dari larutan dan membentuk inti cementit di atas butir austenit. Makin banyak karbon yang keluar dari austenit untuk membentuk cementit, austenit di sekitar cementit semakin berkurang kadar karbonnya dan akan menjadi ferrit. Dengan demikian akan diperoleh struktur yang berlapis-lapis (lamellar) atau perlit. Perlit ini akan terjadi pada selang waktu yang cukup lama, atau pada proses pendinginan yang lambat.



GAMBAR 2.5
TTT DIAGRAM UNTUK BAJA KARBON

Bila besi gamma dipaksa berada pada temperatur di bawah temperatur A_1 maka akan ada gaya yang mendorong atom besi gamma untuk berubah posisinya menjadi besi alfa. Makin jauh temperaturnya dibawah temperatur kritis A_1 makin besar gaya ini, sehingga sebagian austenit berubah menjadi ferrit. Karena austenit mengandung banyak karbon maka karbon ini akan berdiffusi keluar membentuk cementit pada bidang kristallografik tertentu dari ferrit yang terbentuk. Struktur ini disebut bainit. Hal ini akan terjadi terus bila austenit didinginkan cepat sampai temperatur di bawah " hidung " diagram TTT (tetapi masih diatas garis M_3) dan dibiarkan pada temperatur ini sampai transformasi berakhir. Kalau pendinginan berlangsung sangat cepat maka gaya ini menjadi sangat besar sehingga seolah-olah pergeseran atom-atom untuk mengubah FCC menjadi BCC dapat terjadi tanpa diffusi, hanya karena dorongan gaya-gaya ini. Tetapi karena austenit mengandung karbon dan ferrit hanya mampu melarutkan sedikit karbon, maka karbon yang seharusnya keluar akan terperangkap dalam struktur baru, karena temperatur yang rendah dan tidak memiliki energi yang cukup untuk berdiffusi. Struktur baru ini terdistorsi tidak menjadi BCC tetapi menjadi BCT (Body Centered Tetragonal), yaitu martensit. Banyaknya martensit yang terjadi tidak bergantung pada waktu akan tetapi bergantung pada temperatur. Adanya karbon ini menyebabkan struktur menjadi tegang dan keras tetapi juga getas. Makin tinggi kadar karbonnya maka makin tinggi pula kekerasannya, akan tetapi kenaikan ini tidak berbanding lurus. Karena pada kadar karbon tertentu kenaikan kekerasan ini akan memadai sampai akhirnya turun.. Kadar karbon ini juga mempengaruhi temperatur M_s dan M_f .

Makin rendah temperatur M_s dan M_f , maka makin tinggi kadar karbonnya sehingga pada kadar karbon yang tinggi temperatur M_f sudah berada di bawah temperatur kamar. Hal ini berarti setelah selesainya pendinginan cepat dan mencapai temperatur kamar masih tersisa austenit yang belum bertransformasi. Struktur ini akan berupa martensit dan austenit sisa. Adanya austenit sisa ini menyebabkan kenaikan kekerasan berkurang.



GAMBAR 2.6
 PENGARUH KADAR KARBON TERHADAP KEKERASAN MARTENSIT

Transformasi ini tidak pernah selesai karena akan selalu ada retained austenit dalam jumlah yang sedikit. Pada temperatur rendah makin sedikit sisa austenit, makin rendah laju pembentukan martensit sehingga dapat dimengerti bahwa sisa austenit tidak akan habis. Martensit bukanlah suatu struktur yang stabil, ia merupakan suatu struktur transisi antara austenit yang tidak stabil pada temperatur kamar dengan campuran ferrit dan cementit yang stabil. Ia dapat dikatakan struktur yang meta stabil. Karenanya bila martensit dipanaskan kembali, maka martensit ini

akan menuju struktur yang stabil, dengan diikuti berkurangnya kekerasan dan bertambahnya keuletannya. Sedikit demi sedikit karbon yang terperangkap dalam BCT akan keluar dan menjadi karbida. Dengan keluarnya karbon maka akan mengurangi tegangan dalam BCT. Akhirnya jika semua karbon telah keluar maka BCT akan menjadi BCC (martensit sudah menjadi ferrit).

2.7.2. Kurva Pendinginan

I-T diagram (Kurva Pendinginan) adalah kurva yang menggambarkan proses pendinginan. Sehingga dari kurva ini akan dapat dipelajari berbagai transformasi yang terjadi.

Kurva Pendinginan 1 menggambarkan pendinginan yang sangat lambat, seperti pada proses annealing. Transformasi mulai terjadi pada titik x_1 menghasilkan perlit yang sifatnya kasar, dan berakhir pada titik x'_1 . Setelah melewati titik ini maka laju pendinginan tidak akan berpengaruh pada sifat dan struktur baja, selanjutnya pendinginan dilakukan dengan cepat.

Kurva Pendinginan 2 pada kurva ini menggambarkan bahwa proses berlangsung pada suhu konstan sehingga struktur yang terbentuk lebih homogen.

Kurva Pendinginan 3 menggambarkan pendinginan yang berlangsung cepat dan dimulai pada titik x_3 dengan hasil perlit kasar sampai pada titik x'_3 dengan hasil perlit menengah.

Kurva Pendinginan 4 menghasilkan perlit dengan kekasaran medium dan halus.

Kurva Pendinginan 5 pada transformasi ini mula-mula akan dihasilkan perlit halus, akan tetapi setelah 25 % austenit bertransformasi maka transformasi akan berhenti. Transformasi akan dimulai lagi bila temperatur telah mencapai M_s , disini austenit yang belum menjadi perlit akan bertransformasi menjadi martensit. Pada temperatur kamar akan terlihat hasil dengan komposisi 25 % perlit halus dan 75 % martensit.

Kurva Pendinginan 6 pada kurva ini laju pendinginan berlangsung sangat cepat sehingga transformasi tidak terjadi pada daerah "hidung". Transformasi baru dimulai pada temperatur M_s dan sampai temperatur M_f . Struktur material yang dihasilkan adalah martensit.

Kurva Pendinginan 7 menggambarkan transformasi austenit menjadi sehingga struktur akhir yang terbentuk adalah martensit.

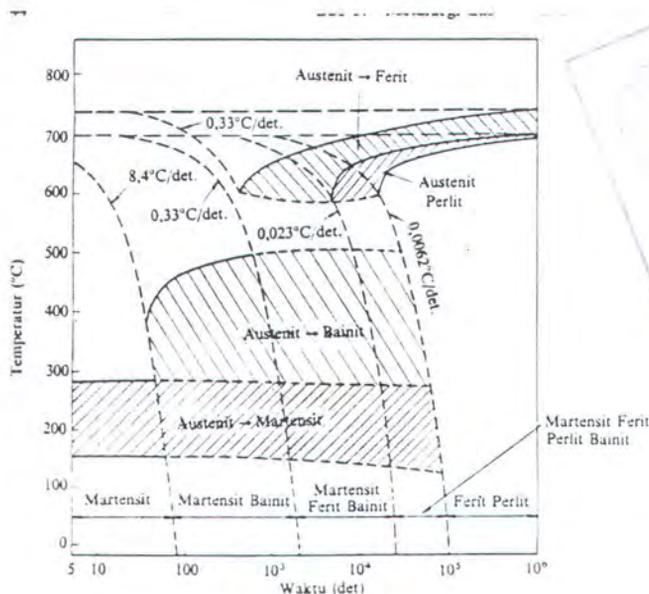
Dengan pendinginan kontinyu yang digambarkan diatas maka akan dapat dihasilkan struktur yang seluruhnya perlit atau seluruhnya martensit, akan tetapi tidak akan menghasilkan struktur yang seluruhnya bainit.

2.7.3. Transformasi Austenit Pada Pendinginan Kontinyu

Secara teoritis tidaklah tepat memplot kurva pendinginan pada suatu I-T diagram, karena I-T diagram menggambarkan transformasi berlangsung pada temperatur tetap, sedang pendinginan transformasi berlangsung pada temperatur tidak tetap, menurun secara kontinyu. Dengan pendinginan kontinyu bentuk diagram akan mengalami beberapa perubahan. Dari I-T diagram untuk

pendinginan kontinyu maka dapat diturunkan diagram yang dinamakan C-T diagram atau CCT diagram (Continuous Cooling Transformation).

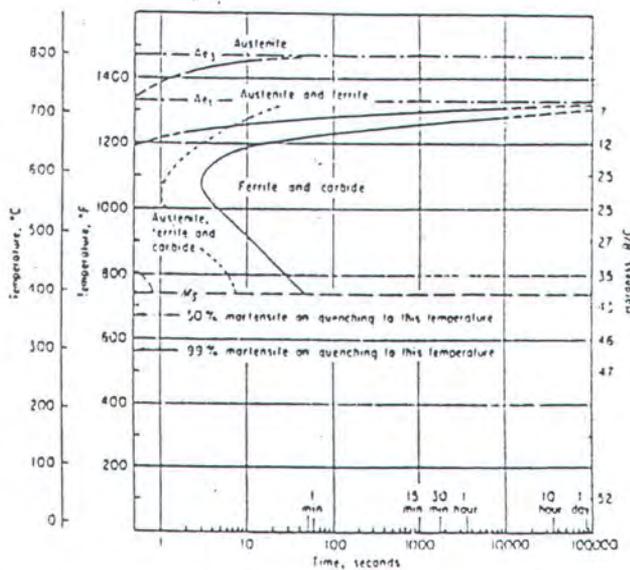
Pada gambar 2.7 menunjukkan C-T diagram yang di-superimpose pada I-T diagram dari baj eutektoid, agar dapat menunjukkan perbedaannya. Disini terlihat bahwa garis-garis transformasi tergeser ke kanan bawah akibat pendinginan kontinyu. Hidung C-T diagram berada di kanan bawah hidung I-T diagram , sehingga laju pendinginan kritis untuk pendinginan kontinyu akan lebih lambat dari laju pendinginan kritis I-T diagram. Pada C-T diagram tidak terdapat daerah transformasi austenit-bainit karena pada pendinginan kontinyu transformasi ini terhalang oleh hidung diagram. Pada baja ini tidak diperoleh bainit dengan pendinginan kontinyu.



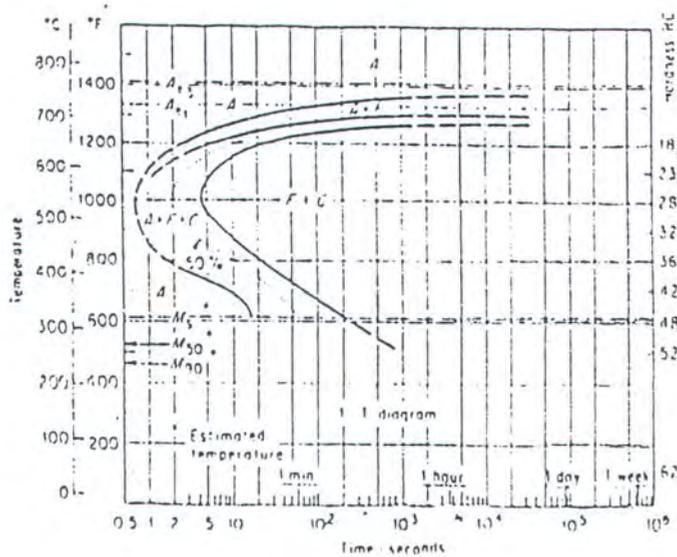
GAMBAR 2.7
CONTINUOUS COOLING TRANSFORMATION

Pada baja paduan keadaannya berbeda, terdapat juga daerah transformasi austenit-bainit . Daerah ini membentuk lutut yang berada di sebelah kiri bawah hidung, seperti pada gambar . Letak kurva transformasi dalam suatu I-T diagram dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu *komposisi kimia* dari baja dan *ukuran butir kristal austenit*. Pada umumnya makin tinggi kadar karbon dan atau kadar unsur paduan maka makin besar ukuran butir kristal austenit, maka letak kurva transformasi dalam suatu diagram transformasi akan makin ke kanan. Dengan demikian laju pendinginan kritis makin lambat, sehingga akan makin mudah melakukan pendinginan dalam membentuk martensit (makin mudah dikeraskan).

Pengaruh kadar karbon terhadap letak kurva transformasi dapat dilihat dengan membandingkan letak kurva transformasi dari dua macam baja yang berbeda kadar karbonnya seperti pada gambar 2.8 dan gambar 2.9.



GAMBAR 2.8
I-T DIAGRAM BAJA 1035

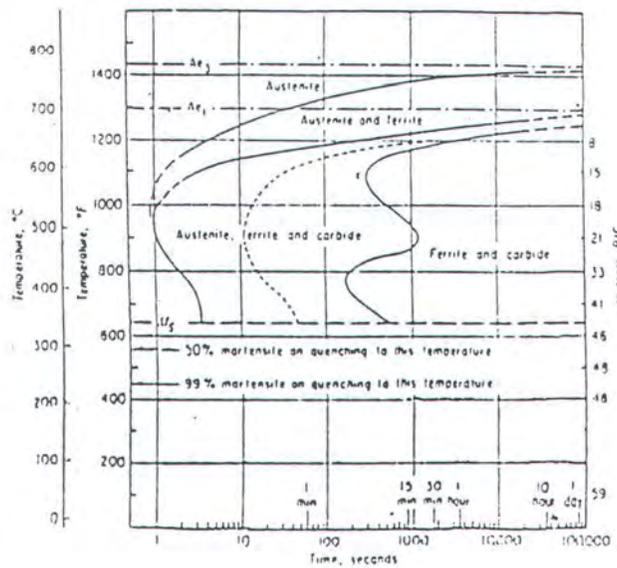


GAMBAR 2.9
I-T DIAGRAM BAJA 1050

Gambar 2.10 menunjukkan I-T diagram baja karbon dengan 0.35% C dan gambar 2.11 untuk baja dengan 0.50% C, terlihat bahwa temperatur M_s dan M_f menurun, berarti bahwa baja dengan kadar karbon lebih tinggi mudah dikeraskan. Besarnya kadar paduan akan menggeser kurva transformasi lebih ke kanan, besarnya pengaruh dari masing-masing unsur paduan tidaklah sama. Urutan kekuatan menggeser kurva transformasi adalah vanadium, tungsten, molyden, chrom, mangan, silikon dan nikel. Kalau ke dalam baja tersebut berasal dari beberapa unsur paduan maka pengaruh dari unsur-unsur akan bersifat kumulatif.

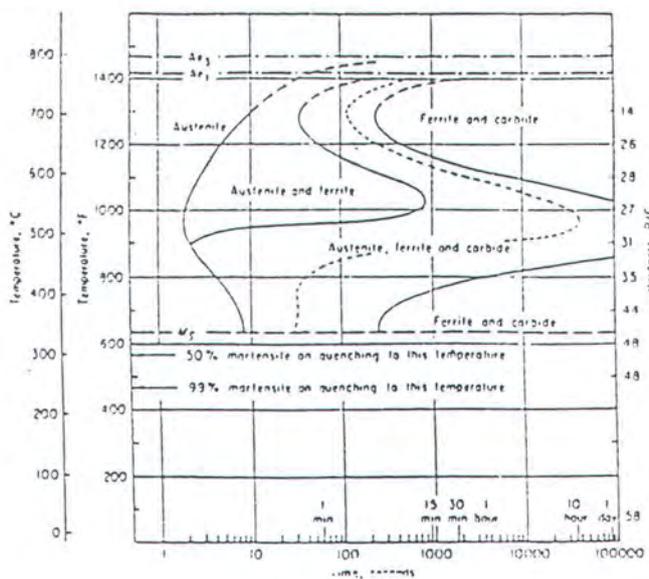
Beberapa unsur paduan mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap transformasi austenit-perlit dan austenit-bainit. Pada gambar 2.11 terlihat bahwa I-T diagram baja 0.33% karbon, 0.45% mangan dengan 1.97% chrom, ternyata chrom bukan hanya menggeser kurva transformasi ke kanan tetapi juga merubah bentuknya. Kurva transformasi austenit perlit menerima pengaruh yang lebih kuat,

sehingga tergeser lebih jauh ke kanan, sedang kurva transformasi austenit-bainit tergeser lebih sedikit. Dengan bentuk kurva yang demikian tentu akan memungkinkan terjadinya bainit dengan pendinginan kontinyu. Pengaruh dari ukuran butir kristal austenit terhadap letak kurva transformasi dapat dilihat pada gambar 2.11. Pada gambar ini terlihat bahwa transformasi dari baja 0.87% C, 0.30% Mn dan 0.27% V yang dipanaskan dengan temperatur yang berbeda. Dengan temperatur austenisasi yang lebih tinggi maka akan dihasilkan butiran yang lebih besar. Hal ini akan menyebabkan kurva transformasi akan bergeser lebih ke kanan dari pada yang diaustenisasi pada temperatur yang lebih rendah.



GAMBAR 2.10

I-T DIAGRAM BAJA 1335 ; 0.35% C, 1.85% Mn



GAMBAR 2.11
I-T DIAGRAM BAJA 0.33% C, 0.45% Mn DAN 1.97% Cr

2.8 Deformasi

Deformasi adalah perubahan dimensi atau bentuk akibat adanya beban \ gaya yang bekerja pada material. Jadi deformasi dapat terjadi apabila material mengalami pembebanan sehingga terjadi perubahan struktur atau susunan logam pada material tersebut. Perubahan struktur dapat berupa pemuaian, pengkerutan, dan pergeseran struktur logam. Perubahan struktur yang terjadi pada suatu logam menyebabkan perubahan dimensi atau deformasi juga berbeda-beda tiap material.

Pada pemotongan logam, terjadi proses laku panas pada sebagian kecil material yang dipotong sedangkan pada bagian lainnya tidak mengalami proses ini. Akibat adanya proses pemotongan logam ini maka terjadi perubahan sifat mekanis dan perubahan dimensi / deformasi pada logam tersebut.

2.8.1. Deformasi Struktur Logam

Deformasi apabila ditinjau dari sudut struktur material tidaklah tepat dikatakan deformasi, melainkan perubahan pada struktur kristalnya. Perbedaan struktur kristal yang terdapat dalam logam juga mengakibatkan adanya perbedaan sifat fisis dan mekanis dari struktur kristal. Oleh karena itu perubahan sifat fisis dan mekanis ini akan mengakibatkan perubahan atau transformasi yang terjadi antara struktur kristal.

Struktur material terdiri dari atom-atom yang mempunyai ikatan antara satu dengan yang lainnya. Untuk atom logam, ikatan yang terjadi dinamakan ikatan metalik. Atom-atom dalam ikatan ini memiliki beberapa elektron yang mengitariseluruh atom untuk mendapatkan keseimbangan ikatan atom ini. Elektron-elektron ini bergerak bebas dalam orbitnya yang berbentuk awan elektron. Ikatan atom-atom ini membentuk struktur kristal dari material tertentu, yaitu berupa unit sel.

Material yang mempunyai dua atau lebih bentuk kristal dapat terjadi pada fase tertentu, dan ditandai dengan adanya perbedaan sifat yang dinamakan allotrop. Adanya sifat ini amat berperan dalam proses pengerjaan yang dikenakan pada material tersebut.

Pada pemotongan material, terjadi perubahan suhu akibat Bergeraknya sumber panas, sehingga sumber panas yang dihasilkan tidak merata. Adanya panas ini maka akan terjadi pengembangan thermal pada bagian yang dipotong,

sedangkan pada bagian yang dingin terjadi penahanan yang mengakibatkan terbentuknya peregangan. Akibat tegangan ini maka terjadilah deformasi tersebut.

2.8.2. Deformasi Elastis

Deformasi elastis adalah deformasi yang tidak menyebabkan perubahan pada material yang bersifat tetap. Deformasi ini ada, selama beban luar bekerja pada material tersebut. Dengan bekerjanya beban maka terjadi perpindahan atom secara elastis ke tingkat yang lebih tinggi relatif terhadap yang lainnya. Karena selama deformasi bahan menyerap energi akibat gaya yang bekerja terhadap material.

Deformasi ini berbanding lurus dengan beban. Selama beban bekerja tegangan akan sepadan dengan regangan, hubungan ini dikenal dengan Hukum Hooke's. Bila beban yang bekerja berupa gaya tarik benda akan bertambah panjang dan apabila beban berupa gaya tekan maka material akan menjadi pendek. Setelah beban dihilangkan maka material akan kembali ke bentuk semula. Regangan elastis merupakan hasil dari perpanjangan sel satuan dalam arah tegangan tarik, atau kontraksi sel satuan dalam arah tekanan. Jika terjadi deformasi elastis maka regangan akan sebanding dengan tegangan.

2.8.3. Deformasi Plastis

Defrmasi plastis adalah deformasi yang menyebabkan perubahan permanen pada suatu material akibat perpindahan atom-atom didalam logam Deformasi plastis merubah struktur intern dari logam , oleh karena itu deformasi ini dapat

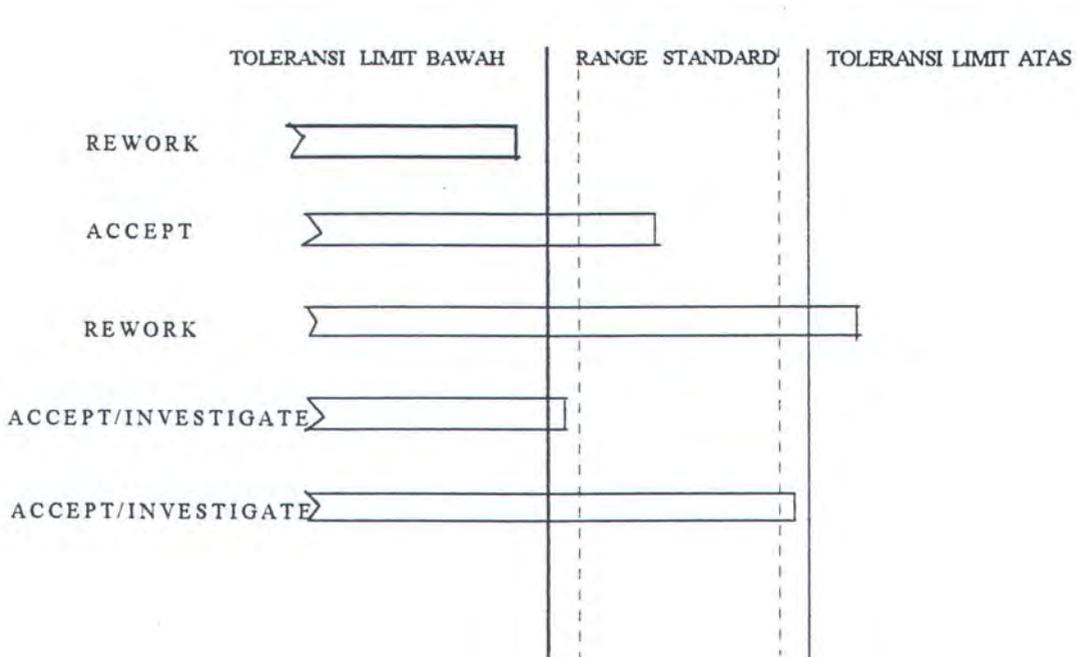
merubah sifat-sifat dari suatu logam. Untuk logam kubik dan paduannya terutama yang berdeformasi dengan geseran plastik atau slip, bidang atom akan bergeser terhadap bidang atom yang berada didekatnya.

2.9 Accuracy Control

Pengertian dari *accuracy control* adalah pemakaian dari metoda statistik untuk mengontrol dan memonitor ketepatan ukuran konstruksi guna memperkecil pekerjaan ulang dan keterlambatan waktu produksi. Tujuan dari *accuracy control* ini untuk jangka pendek adalah untuk memonitor pekerjaan-pekerjaan konstruksi pada proses produksi untuk memperkecil pekerjaan ulang pada proses erection, untuk jangka panjang adalah untuk menetapkan sistem manajemen dalam rangka terus menerus meningkatkan produktivitas galangan.

Accuracy control merupakan pekerjaan yang menganalisa variasi-variasi dimensi yang muncul pada kondisi operasi normal di setiap pekerjaan. Sehingga toleransi-toleransi pada setiap proses pekerjaan harus ditentukan untuk mengontrol proses akumulasi dari variasi pada akhir proses. Toleransi pada dasarnya diberikan atau ditetapkan oleh biro klasifikasi/ pemesan dan oleh pihak galangan itu sendiri.

Untuk mengontrol akumulasi dari variasi-variasi yang ada pada tahap akhir maka disusunlah suatu standard akurasi pada awal proses. Konsep yang biasanya digunakan adalah mengenai standard range dan toleransi limit seperti yang terlihat pada gambar berikut :



GAMBAR 2.12
RANGE STANDARD DAN TOLERANSI LIMIT .[Chirillo,1982]

Untuk mengontrol standard akurasi yang digabungkan maka perlu adanya pengambilan standard akurasi yang diambil dari range standard yang paling banyak dipakai dalam keseluruhan proses. Pada suatu proses produksi maka akan banyak terdapat penyimpangan-penyimpangan yang pada akhir proses akan menimbulkan variasi-variasi yang beraneka ragam. Penyimpangan ini dapat diterima, apabila masih dalam batas toleransi limit. Toleransi limit ini dapat dicapai dengan kemampuan produksi normal dan tidak boleh menyimpang dari integritas struktural pada proses akhir. Standard akurasi ini akan terus meningkat sejalan dengan peningkatan proses produksi dalam skala kualitas.

Untuk menghindari pekerjaan ulang dalam proses produksi maka beberapa hal yang perlu mendapat perhatian adalah :

1. Dimensi-dimensi yang penting untuk mencapai tingkat ketepatan yang diharapkan.
2. Cara-cara untuk mencapai tingkat ketepatan yang diharapkan.
3. Proses-proses pekerjaan dimana dimensi-dimensi vital harus dikontrol, dan
4. Toleransi-toleransi yang diperkenankan pada setiap proses pekerjaan.

2.9.1. Sistem Evaluasi Dan Analisa Data

Sistem analisa yang digunakan didalam implementasi accuracy control dalam proses produksi ada 2 (dua) macam yaitu :

➤ Analisa Reguler

Analisa reguler merupakan suatu bentuk analisa hasil pemeriksaan secara rutin dengan sasaran untuk memonitor pekerjaan yang sedang berlangsung dengan titik berat :

1. Menentukan distribusi normal dari pekerjaan
2. Pembuatan X dan R control chart
3. Memonitor unjuk kerja dari setiap tahap produksi
4. Menulis dan mengevaluasi persamaan variasi penggabungan
5. Analisa proses

Dalam pelaksanaannya, analisa reguler perlu didukung oleh adanya langkah-langkah yang bersifat operasional seperti dengan mengadakan penyelidikan yang lebih detail mengenai data-data yang telah dikumpulkan, memeriksa dan mengadakan penyelidikan terhadap peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan dan pengujian, meninjau kembali metode- metode kerja yang digunakan dalam proses produksi dan mempelajari kelebihan-kelebihan pengukuran.

➤ **Analisa Urgent**

Analisa urgent dilaksanakan pada saat sampel-sampel menunjukkan bahwa komponen produksi telah melewati batas-batas toleransi yang telah ditentukan, sehingga perlu dilakukan pemberhentian proses produksi. Dengan mengetahui tempat-tempat terjadinya kesalahan-kesalahan sehingga akan dapat digunakan untuk mengevaluasi pengaruh dari kesalahan tersebut terhadap aliran produksi, memberi rekomendasi mengenai apa, bagaimana, dimana, dan kapan pekerjaan ulang harus dilaksanakan, dan mengumpulkan data-data sebagai bukti untuk mengidentifikasi penyebab dan pemecahannya.

Hasil pemeriksaan dan pengukuran yang telah dilaksanakan di lapangan kemudian dianalisa dan dievaluasi secara teliti. Pada tahap awal perlu dipisahkan data-data yang menunjang terjadinya suatu penyimpangan sehingga perlu dilakukan analisa urgent dan data mana yang perlu dilaksanakan analisa reguler. Data-data yang tidak menunjukkan terjadinya penyimpangan disusun dan diperiksa dan dianalisa untuk mengetahui perilaku dari proses produksi dan aspek-aspek yang mungkin mempengaruhinya. Hasil evaluasi ini dapat digunakan sebagai feed back/ umpan balik dan dikirimkan pada setiap tahap-tahap aliran produksi serta digunakan untuk penetapan standard pengukuran pada setiap tahap produksi dan prosedur kerja yang diperlukan.

2.9.2. Aplikasi Metoda Statistik

Dalam tahap fabrikasi dan assembly untuk suatu proses produksi suatu kapal akan menghasilkan suatu produk antara secara terus-menerus akan menghasilkan produk akhir yang berupa kapal. Karena produk antara yang dihasilkan dalam bentuk besar pada, perlu adanya pengawasan yang terus menerus agar dapat menghasilkan mutu produk yang tetap terjaga baik produk antara maupun produk akhir.

Metoda Statistik adalah metoda untuk pengumpulan, analisa, dan interpretasi data. Statistik digunakan untuk mengetahui perilaku dan kecenderungan dari data yang telah dikumpulkan sehingga dapat digunakan untuk proyeksi di masa mendatang.

Dalam produksi selalu terjadi variasi dari hasil produksi, dengan kata lain tidak ada produksi yang sama. Keuntungan dari metoda statistik adalah dapat dilakukannya penjumlahan dua distribusi yang normal dari dua atau lebih variasi hasil produksi tersebut. Sehingga apabila diketahui variasi-variasi pada produksi awal, dapat diprediksi variasi yang terjadi pada proses berikutnya [Prayitna, 1993].

Untuk produksi kapal dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Z = \sum P + \sum S + \sum A + \sum E$$

Dimana :

Z = gabungan variasi total.

$\sum P$ = gabungan variasi pada proses fabrikasi.

$\sum S$ = gabungan variasi pada sub-assembly.

$\sum A$ = gabungan variasi pada proses assembly.

$\sum E$ = gabungan variasi pada proses erection.

2.9.2.1. Control Charts

Control charts adalah salah satu metoda statistik yang digunakan untuk mengetahui, mengontrol, dan memonitor suatu proses produksi. Tujuan penggambaran control charts adalah untuk menetapkan apakah setiap titik pada grafik normal atau tidak normal, dan jadi mengetahui perubahan dalam proses dari mana data dikumpulkan. Sehingga setiap grafik harus mengindikasikan dengan tepat dari proses mana data diambil.

Sebuah control charts terdapat tiga macam garis kendali : batas kendali atas, garis pusat, dan batas kendali bawah.. Ketiga garis ini disimbolkan sebagai UCL, $\bar{X}_{rata-rata}$, atau $R_{rata-rata}$, dan LCL. Ini merupakan peta kendali umum menggunakan nilai indiskrit Pada peta kendali ini garis tengah merupakan nilai rata-rata dari sampel dan dibatasi oleh batas kendali atas dan batas kendali bawah. Batas ini ditentukan berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Nilai R menunjukkan setiap perubahan dispersi proses. Sebuah peta kendali memungkinkan untuk melihat bila standarisasi ini betul, maka semua titik pada peta akan berada dalam batas kendali dan apakah itu sudah terjaga. Apabila suatu titik berada di luar kendali maka terjadi beberapa perubahan pada jalur perakitan atau manufakturing sehingga diperlukan adanya perbaikan dan penyelidikan untuk mendapatkan sebab-sebab terjadinya proses menjadi tidak terkendali. Peta ini dibuat untuk pengendalian proses, tujuan dari pengendalian proses ini adalah untuk mendeteksi setiap ketidaknormalan dalam proses dengan menggambarkan data dari hari ke hari. [Ishikawa, 1988]

2.9.2.2. Tipe Control Chart

Bentuk peta kendali bermacam-macam sesuai macam datanya. Beberapa data didasarkan pada pengukuran seperti pengukuran unit komponen (dalam mm), hal ini dikenal dengan nilai indiskrit atau data kontinyu. Apabila data didasarkan pada nilai seperti jumlah artikel cacat atau jumlah rusak, hal ini dikenal dengan nilai diskrit atau dapat dihitung. Peta kendali dapat juga diklasifikasikan menurut penggunaannya. Peta kendali ini akan banyak memberikan informasi daripada data yang digambarkan dalam urutan kronologi.

➤ X-R Chart

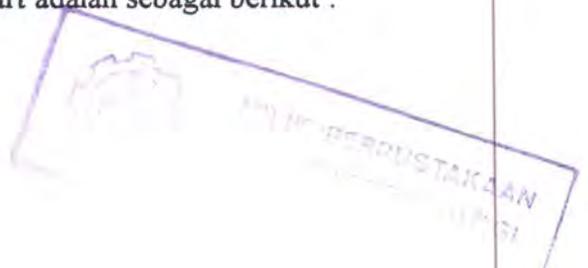
Peta ini dibuat apabila data yang diperoleh cukup banyak sehingga bisa dibuat kelompok dengan interval yang sama dan diharapkan dispersi data tidak besar. X adalah rata-rata dari tiap grup dan digunakan untuk mengetahui rata-rata total. Sedangkan R adalah range dari tiap grup yang selanjutnya dicari nilai rata-rata total.

➤ X Chart

Peta ini digunakan bila data yang diperoleh memiliki range yang besar dan bila dilakukan grup-grup data tidak efektif. Oleh karena itu dalam peta ini diperlukan deviasi standard agar dapat menunjukkan dispersi data yang lebih akurat.

Langkah-langkah pembuatan control chart adalah sebagai berikut :

1. Membagi data dalam grup-grup
2. Menghitung rata-rata tiap grup (\bar{x})



3. Menghitung rata-rata total
4. Menghitung range tiap grup
5. Menghitung range total
6. Menghitung garis pusat (CL), batas kendali atas (UCL), batas kendali bawah (LCL).

Untuk x chart :

$$CL = \bar{x}_{\text{rata-rata}}$$

$$UCL = \bar{x} + A_2 R_{\text{rata-rata}}$$

$$LCL = \bar{x} - A_2 R_{\text{rata-rata}}$$

Untuk R chart :

$$CL = R_{\text{rata-rata}}$$

$$UCL = D_3 R_{\text{rata-rata}}$$

$$LCL = D_4 R_{\text{rata-rata}}$$

Koefesien A_2 , D_3 , D_4 tergantung dari jumlah sampel dari tiap grup dan nilainya tertentu untuk jumlah sampel tertentu.

2.9.2.3. Interpretasi Peta Kendali

Interpretasi peta kendali adalah suatu hal penting untuk pengendalian proses yaitu untuk memahami keadaan dengan teliti dengan membaca peta kendali dan mengambil tindakan yang tepat, dan segera bila suatu yang tidak normal terjadi

dalam proses. Dimana keadaan terkendali suatu proses didefinisikan sebagai suatu keadaan stabil, rata-rata proses dan variasi tidak berubah.

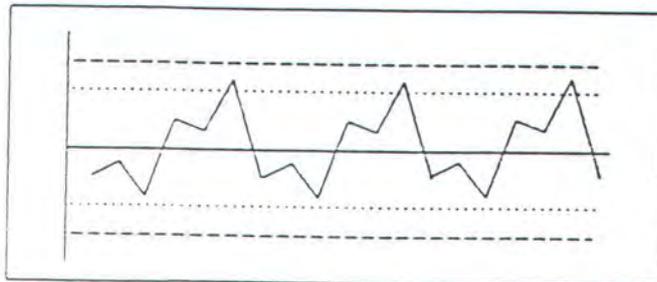
Kriteria yang menentukan suatu proses terkendali atau tidak :

- Pola Gerak Periodik atau Siklis

Pola ini terjadi bila kurva berulang-ulang menunjukkan kecenderungan naik atau turun pada selang yang sama , hal ini dapat dikatakan terjadi ketidaknormalan. Kondisi aktual di lapangan yang mempengaruhi terjadinya pete kendali ini antara lain :

1. Kondisi peralatan saat mulai pekerjaan dan kondisis puncak beban serta kalibrasi alat yang kurang baik sehingga hasil yang diharapkan tidak tercapai.
2. Kondisi material yang akan dikerjakan meliputi lokasi, beda pemasok material, dan beda pemeliharaan awal.
3. Kondisi tenaga kerja yang terlibat pada tingkat fisik maupun physikis.
4. Kondisi fasilitas penunjang seperti daya listrik yang naik-turun.

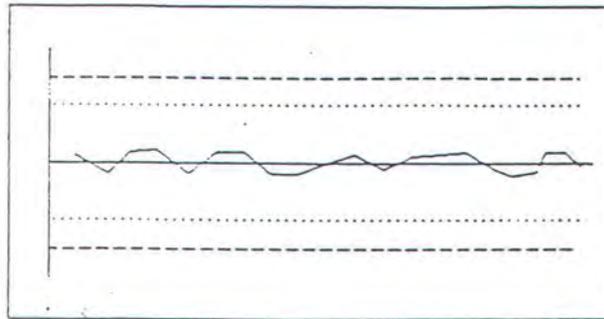
Pola ini dapat digambarkan sebagai berikut :



GAMBAR 2.13
POLA GERAK PERIODIK [montgomery, 1990]

- Pola Mendekati Garis Pusat atau Stratifikasi.

Bila kebanyakan titik terletak di dalam 1,5 garis sigma dari garis pusat. Hal ini terjadi karena adanya ketidaktepatan cara melakukan sub grup. Mendekati garis pusat tidak berarti menunjukkan keadaan yang terkendali, tetapi terdapat data dari populasi yang berbeda dalam sub grup yang membuat batas kendali terlalu lebar. Pola ini digambarkan sebagai berikut :



GAMBAR 2.14
POLA STRATIFIKASI. [montgomery, 1990]

Pada keadaan ini perlu adanya perubahan untuk melakukan sub grup.

- Pola Kecenderungan atau Trend

Pola ini digambarkan bila titik-titik membentuk kurva kontinyu ke atas dan ke bawah. Pola ini disebabkan oleh kelelahan pelan-pelan atau kemunduran dari suatu alat.

Pola ini dapat digambarkan sebagai berikut :

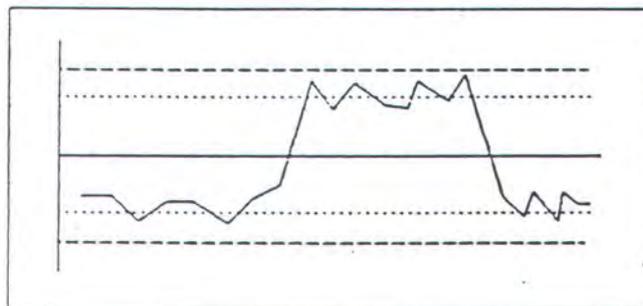


GAMBAR 2.15
POLA KECENDERUNGAN. [montgomery, 1990]

- Pola Mendekati Garis Kendali atau Campuran

Memperhatikan titik-titik yang mendekati batas kendali sigma , maka bila 2 dari 3 titik terjadi di luar garis-garis sigma kasus ini dianggap tidak normal. Kadang-kadang pola ini merupakan akibat dari pengendalian proses yang terlalu ketat dimana operatornya terlalu sering melakukan penyesuaian atau perubahan dari mesin atau metoda yang digunakan.

Pola ini dapat digambarkan sebagai berikut :

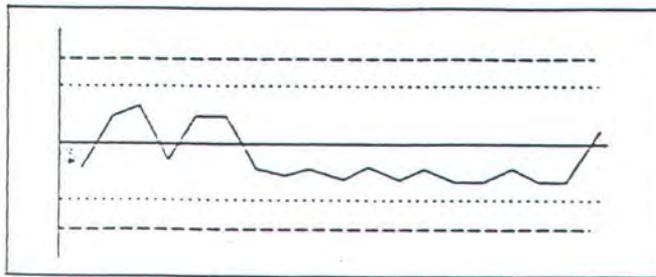


GAMBAR 2.16
POLA CAMPURAN. [montgomery, 1990]

- Pola Pergeseran Dalam Tingkat Proses

Pola ini terjadi karena adanya karyawan baru yang mengendalikan proses manufaktur atau adanya penerapan metoda atau mesin yang baru dalam proses produksi ini.

Pola ini dideskripsikan sebagai berikut :



GAMBAR 2.17
POLA PERGESERAN DALAM TINGKAT PROSES. [montgomery, 1990]

*"Apakah mereka tidak melihat langit dan bumi yang ada di muka dan di belakang mereka ? Jika Kami menghendaki, maka mereka Kami benamkan ke dalam bumi atau Kami jatuhkan gumpalan-gumpalan (azab) dari langit. Sesungguhnya yang demikian menjadi tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang yang taubat"
(Saba': 9)*

BAB III

PROSES PEMOTONGAN MATERIAL DENGAN MESIN NC PLASMA

BAB III

PROSES PEMOTONGAN MATERIAL DENGAN MESIN NC PLASMA

3.1 Pemotongan Busur Api Plasma

Busur api plasma yang ditransfer digunakan untuk memotong, oleh karena itu kerapatan energi dan kecepatan semburan plasmanya sangat tinggi. Busur api yang digunakan merupakan campuran argon /hidrogen, gas ini terionisasi dan menjadi pengantar arus listrik. Arus gas terionisasi yang bertemperatur tinggi mencapai kecepatan yang tinggi terutama akibat busur api yang menyempit, dan akan cepat mencairkan logam induk.

Suluh pada proses pemotongan ini pada dasarnya sama dengan pengelasan tetapi dengan pendinginan air yang tidak langsung dari nosel dan elektroda. Cetus api penyalur frekuensi tinggi yang menyalakan busur api akan mengionisasi busur api tambahan berintensitas arus rendah di antara tungsten (katoda) dan nosel. Gas plasma terionisasi dan merupakan pengantar listrik dan karena suluh yang didekatkan ke benda kerja, arus utama berhenti secara otomatis. Semburan plasma dengan temperatur dan kecepatan tinggi mampu memotong logam.

Kecepatannya yang tinggi meniup jauh logam cair dan menguapkannya sebgaiian membentuk potongan atau alur.

3.1.1 Gas Potong

Campuran argon/hidrogen memungkinkan pemotongan yang baik dan kecepatan potong yang tinggi, karena hidrogen akan menikkan busur api dan konduktivitas termal campuran. Penggunaan campuran A/H₂ menghasilkan alur yang sejajar, bagian yang terbuang sedikit dan permukaan potong bebas oksida. Campuran-campuran Argon/Hidrogen/Nitrogen atau A/N₂ digunakan apabila pemotongan dilakukan dengan mesin, tapi nitrogen tidak digunakan apabila pemotongan dilakukan dengan tangan karena akan terbentuk oksida nitrogen yang beracun. Kecepatan potong yang tinggi mungkin terjadi dengan campuran yang lebih rendah serta kehilangan sedikit kualitas. Semakin besar efisiensi pemotongan kemungkinan dihasilkan dari semakin besarnya penurunan voltase anoda yang bergabung dengan gas nitrogen.

Bila pemotongan menggunakan gas murni seperti argon , panas berasal dari energi listrik busur api. Baja karbon membutuhkan gas oksida agar hasilnya paling baik; reaksi eksotermik besi oksigen memberikan tambahan panas pada titik potong dan dengan demikian dibutuhkan pengurangan jumlah daya listrik. Udara telah terbukti merupakan gas yang paling efisien untuk saat ini.

3.1.2. Kecepatan Potong

Hal yang paling diperhatikan dalam pemotongan adalah penghematan kecepatan potong harus setinggi mungkin. Asal saja hal ini menghasilkan alur yang

sempit dan potongan yang bersih pada sisi bagian atas dan bawah. Untuk suatu daya listrik dan campuran gas tertentu, terdapat suatu daerah kecepatan maksimum pada masing-masing tipe dan ketebalan bahan.

Kecepatan potong yang berlebih menyebabkan berkurangnya lebar alur serta bertambahnya kemiringan akan tetapi intensitas arus merupakan faktor utama yang menentukan lebar alur. Untuk pengontrolan secara manual dan pemotongan dengan mesin yang rumit, kecepatan yang dapat dipertanggungjawabkan adalah 1 m/menit. Pada umumnya untuk pemotongan garis lurus dan garis hiasan digunakan kecepatan yang besarnya beberapa m/menit.

3.1.3. Proses Pemotongan

Teknologi pemotongan material dalam proses produksi sangat berperan penting. Dewasa ini teknologi pemotongan yang baru dan moderen telah banyak digunakan, sehingga segala macam material telah dapat dipotong untuk proses produksi bahan.

Pemotongan merupakan cara pemisahan suatu konstruksi logam atau paduan logam menjadi dua atau lebih dengan pengaruh panas. Proses pemotongan tersebut diawali dengan pemanasan pada bagian yang hendak dipotong hingga mencair kemudian cairan logam disembur dengan udara tekan. Pemanasan yang diterima logam pada proses pemotongan akan dialirkan secara konduktif ke sekitar logam tersebut. Logam yang mengalami kenaikan temperatur akan membentuk suatu daerah yang biasanya disebut daerah pemotongan. Dengan adanya proses

pemotongan ini, maka akan merubah struktur mikro dan terjadinya perubahan fisis dari material.

3.1.4. Daerah Pemotongan

Daerah pemotongan merupakan daerah yang terbentuk pada proses pemotongan akibat adanya masukan panas pada material yang dipotong. Pemanasan yang diberikan sepanjang garis potong akan menyebabkan perubahan struktur mikro pada logam tertentu dari logam induk. Perbedaan antara daerah pemotongan dengan daerah pengelasan terletak pada logam pengisi, dimana untuk daerah pemotongan logam pengisi tidak dipunyai.

Daerah pemotongan terdiri dari dua bagian yaitu :

- Logam induk
- H A Z (Heat Affected Zone)

3.1.4.1. Logam Induk

Logam induk merupakan bagian dari daerah pemotongan yang mengalami kenaikan temperatur sedikit sekali, dapat dikatakan sama sekali tidak terpengaruh temperatur selama proses pemotongan. Daerah ini tidak mengalami perubahan struktur mikro.

3.1.4.2. H A Z

H A Z merupakan bagian dari daerah pemotongan yang terpengaruh kenaikan temperatur selama proses pemotongan, sehingga mengalami perubahan struktur mikro pada daerah ini.

3.2 Proses Pembuatan Material Uji

Untuk mendapatkan material uji yang sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukanlah proses pemotongan material yang dilakukan di Bengkel Fabrikasi DIV. KANIA P.T. PAL INDONESIA. Persiapan pertama yang dilakukan adalah mempersiapkan data nesting dari biro perencanaan, setelah itu pelat yang akan dipotong diletakkan di tempat pemotongan. Pada tahap ini persiapan dan penyetelan pada mesin NC Plasma baik kecepatan potong, torch yang digunakan dan lain-lain sesuai dengan prosedur yang digunakan untuk masing-masing material.

Pemotongan pertama yang dilakukan adalah pemotongan material uji dengan set up tetap untuk pengujian tarik dengan ketebalan 8 mm dengan ukuran nozzle yang digunakan 0.166, tegangan listrik pada mesin potong 150 V, arus listrik 380 A, dan kecepatan pemotongan 2870 mm/menit. Hasil dari pemotongan ini terlihat bahwa adanya perbedaan bentuk dari hasil potong dengan bentuk yang diinginkan, yaitu timbulnya takik/ undercut pada sisi dalam material uji tarik. Pemotongan untuk material uji tarik tebal 8 mm dilakukan kembali dengan melakukan penyetelan ulang. Penyetelan ini meliputi perubahan kecepatan potong menjadi 2380 mm/menit dengan arus dan tegangan listrik yang tetap. Perubahan dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi pengaruh atau timbulnya takik pada sisi dalam material uji, tetapi hasil pemotongan yang terjadi tetap seperti keadaan awal.

Selanjutnya dilakukan pemotongan untuk material uji impak dan bending dengan ketebalan 8 mm. Pemotongan ini dilakukan dengan menggunakan

kecepatan pemotongan 2000 mm/menit, tegangan listrik 150 V dan arus listrik 380 A. Kecepatan potong ini dinaikkan menjadi 2870 mm/menit ketika digunakan untuk memotong material uji deformasi. Kemudian pemotongan dilanjutkan untuk material uji dengan ketebalan 14 mm dengan kecepatan potong 1820 mm/menit, tegangan listrik 165 V, ukuran nozzle 0.187 dan arus listrik 500 A.

Pemotongan material uji tarik, bending, impak dan deformasi untuk ketebalan 6,8,10 dan 14 mm yang dilakukan di lapangan dapat dibuat tabel seperti dibawah ini :

Tebal Pelat	Ukuran Nozzle	Tegangan	Arus	Kecepatan Potong
6 mm	0.187	155 V	410 A	1520 mm/menit
8 mm	0.187	150 V	418 A	2587 mm/menit
10 mm	0.187	155 V	440 A	1750 mm/menit
14 mm	0.187	160 V	412 A	1373 mm/menit

TABEL 3.1
DATA SETTING PEMOTONGAN SPESIMEN SET UP TETAP

Pada pemotongan pelat tebal 10 mm, kecepatan potong dinaikkan dari 1750 mm/menit menjadi 2450 mm/menit, serta hasil pemotongan pelat 6 mm terjadi pengurangan dimensi pada bagian atas sehingga sisi-sisinya miring $\pm (4-7^\circ)$.

Pelaksanaan pemotongan untuk set up berubah dilakukan dengan perubahan atau mengadakan penyetelan untuk kondisi pemotongan sesuai dengan prosedur

pemotongan. Pemotongan ini dilakukan sesuai dengan urutan pemotongan (lihat BAB IV) untuk masing-masing pengujian dengan mengadakan perubahan pada kecepatan potong, tegangan dan arus listrik.

Data-data pemotongan set up berubah ini dapat diberikan sebagai berikut :

Tebal Pelat	Ukuran Nozzle	Tegangan	Arus	Kecepatan Potong
8 mm	0.166	150 V	380 A	1620 mm/menit
10 mm	0.166	150 V	380 A	1440 mm/menit
14 mm	0.187	160 V	500 A	1080 mm/menit

TABEL 3.2
DATA SETTING PEMOTONGAN SPESIMEN SET UP BERUBAH



*"Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi sesudah baik. Dan mohonlah kepada-Nya dengan perasaan takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah itu dekat kepada orang-orang yang berbuat baik."
(Al A' Raaf: 55)*

BAB IV PELAKSANAAN DAN HASIL PENGUJIAN

BAB IV

PELAKSANAAN DAN HASIL PENGUJIAN

4.1 Umum

Untuk mengetahui sifat-sifat fisis dan mekanis (mechanical properties) dari material yang dipotong dengan mesin NC plasma dan gergaji, maka diperlukan suatu pengujian material dan pengukuran. Pengujian yang akan dilakukan antara lain pengujian tarik, pengujian impact dan pengujian bending. Sedangkan pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran deformasi. Pembuatan spesimen yang dipotong dengan mesin NC plasma dilakukan di P.T. PAL Indonesia sedang untuk spesimen yang dipotong dengan gergaji dilakukan di Laboratorium Kontruksi Dan Kekuatan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Semua spesimen baik bentuk dan ukurannya telah mengacu pada standar yang ada dan disesuaikan dengan kondisi dan keadaan yang ada di Laboratorium.

Material yang akan dipakai dalam pengujian ini terdiri dari baja produksi Krakatau Steel . Semua material ini adalah baja SS-41 yang merupakan jenis Mild Steel. Menurut JIS (Japanese Industrial Standard), pada JIS G-3101, baja ini merupakan baja yang digunakan dalam pembangunan kapal baru.

4.2 Pengujian Tarik (Tension Test)

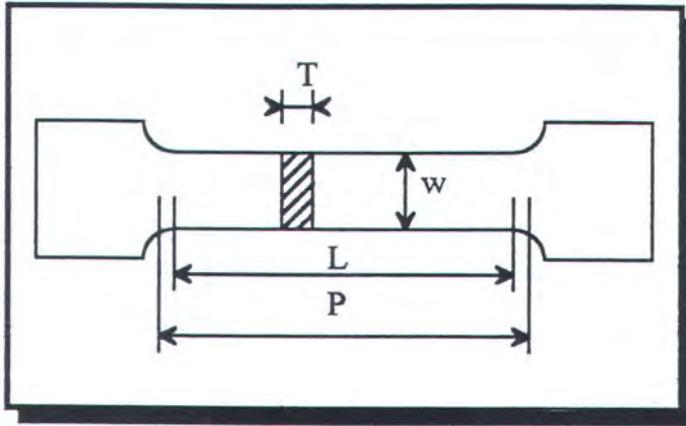
Pengujian tarik merupakan pengujian yang sifatnya merusak (Destructive Test) dan dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis statis material. Sifat-sifat mekanis itu meliputi Tegangan ultimate, tegangan yield, regangan. Pengujian ini dilakukan dengan alat uji tarik/ mesin uji tarik statis (Universal Testing Machine) pada temperatur kamar. Tegangan Ultimate / Kuat Tarik merupakan tegangan maksimum yang dapat diterima oleh material Sedangkan untuk mengetahui Tegangan Yield maka harus ditentukan dahulu titik yield-nya dari diagram tegangan-regangan yang didapatkan.

Dari pengujian ini akan dihasilkan grafik pengujian tarik atau tekan, atau lebih dikenal dengan *Diagram Stress-Strain*. Dari diagram yang dihasilkan dari pengujian ini maka kita akan mendapatkan sifat-sifat mekanis pada masing-masing ketebalan material untuk pemotongan yang berbeda.

4.2.1. Spesimen Uji Tarik

Spesimen uji tarik dibuat di P.T. PAL INDONESIA, hal ini dimaksudkan selain tersedia mesin potong yang digunakan agar supaya pemotongan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Dalam pembuatan spesimen uji tarik ini gauge length dan parallel length tergantung pada luas penampang spesimen. Dimensi ini akan berbeda untuk ketebalan yang berbeda.

Dimensi spesimen dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini :



GAMBAR 4.1
SPEKIMEN PENGUJIAN TARIK

Spesimen uji tarik dibuat pada masing-masing tebal 8 mm (Form T-8), tebal 10 mm (Form T-10), tebal 14 mm (Form T-14) untuk set up berubah dan tebal 6 mm (Form T-6), tebal 7 mm (Form T-7), tebal 10 mm (Form T-10), tebal 12 mm (Form T-12), dan tebal 15 mm (Form T-15) untuk mesin set up tetap. Proses pemotongan mengikuti dua variasi urutan (pemotongan dengan set up tetap dan berubah) sebagai berikut :

- a). T-6 1 - 2 - 3 - 4 - 5
T-7 1 - 2 - 3 - 4 - 5
T-10 1 - 2 - 3 - 4 - 5
T-12 1 - 2 - 3 - 4 - 5
T-15 1 - 2 - 3 - 4 - 5

b).	T- 8 - 1	T- 10 - 1	T- 14 - 1
	T- 8 - 2	T- 10 - 2	T- 14 - 2
	T- 8 - 3	T- 10 - 3	T- 14 - 3
	T- 8 - 4	T- 10 - 4	T-14 - 4
	T- 8 - 5	T- 10 - 5	T-14 - 5

4.2.2. Prosedur Pengujian Tarik

Prosedur pengujian tarik dapat dibagi berdasarkan tahap-tahap berikut :

Persiapan Spesimen :

1. Pemeriksaan fisik dari spesimen untuk mengetahui apakah spesimen mengalami cacat fisik sehingga spesimen tersebut tidak memenuhi standar pengujian yang ada.
2. Pembersihan spesimen sebelum diadakan pengukuran dimensi.
3. Pembuatan gauge length pada spesimen dengan menggunakan punch center agar tandanya tidak mudah hilang.
4. Pengukuran lebar (W) dengan menggunakan mistar, pengukuran ketebalan (T) dengan alat penguran ketebalan (Ultra sonic Test).
5. Menghitung luas *Reduction Area* (A) dengan mengalikan lebar dan ketebalan yang telah diukur sebelumnya atau dengan rumus $A = W \times T$.

Persiapan Alat Uji :

1. Pemeriksaan mesin uji statis (sesuai petunjuk operasi).
2. Pemasangan klem penjepit yang sesuai dengan spesimen.
3. Pemasangan kertas grafik pada drum penggambar grafik hasil pengujian.

4. Pemasangan pena penggambar grafik hasil pengujian.
5. Pemberian tanda absis (sumbu X) dari grafik hasil pengujian dengan cara menekankan pena pada kertas grafik dan drum diputar dengan tangan sehingga akan tergambar garis ± 1 cm.
6. Penyediaan alat tulis dan kertas pencatat hasil pengamatan secara visual serta besar beban pada alat penunjuk.

Pemilihan Skala Beban

Pemilihan skala beban adalah pemilihan besarnya beban yang akan digunakan pada pengujian tarik agar spesimen tepat putus pada interval pembebanan yang diberikan oleh mesin serta hasilnya/pembebanannya dapat terbaca dengan baik. Untuk pemilihan beban ini hal yang pertama diperlukan adalah mengetahui besarnya tegangan ultimate dari spesimen. Berdasarkan JIS G-3101 besarnya kekuatan tarik baja SS-41 adalah antara 41 kg/mm^2 sampai 52 kg/mm^2 .

Berdasarkan rumus :

$$\sigma = \frac{102F}{A}$$

dimana :

F = Beban (KN)

A = Luas penampang spesimen (mm^2)

Maka berdasarkan rumus di atas maka akan dapat memperkirakan tegangan ultimate yang harus diberikan untuk masing-masing ketebalan yang berbeda-beda.

Pelaksanaan Pengujian

Tahap-tahap pelaksanaan pengujian meliputi :

1. Pemasangan klem penjepit pada spesimen dengan mengatur posisi klem penjepit (menaikturunkan secara hidrolis) atau dengan menaikturunkan lever pemutar bawah.
2. Penyalaan saklar power mesin uji statis serta memanaskan mesin uji.
3. pemberian beban secara bertahap secara kontinyu kemudian beban diberikan secara konstan.
4. Pengamatan jarum penunjuk pembebanan dan apabila telah mencapai daerah yield dilakukan pencatatan. Titik yield ini dapat ditandai dengan adanya ketidakaturan peningkatan jarum penunjuk pada suatu daerah pembebanan tertentu.
5. Pencatatan besarnya beban ultimate yang terjadi.

4.2.3. Hasil Pengujian

Secara umum hasil pengujiannya berupa spesimen yang telah patah, kemudian spesimen ini dilepas dari kedudukannya. Pengukuran gauge length dilakukan kembali dengan jalan menggabungkan kedua patahan spesimen. Pengambilan dan mengamati grafik hasil pengujian. Dari grafik ini maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan kuat tarik (tegangan ultimate) dari material uji.

4.2.3.1. Tabel Hasil Pengujian Tarik

Tabel hasil pengujian tarik mesin potong NC Plasma cutting dengan set up mesin tetap dan mesin set up berubah adalah sebagai berikut :

TEBAL PELAT (mm)					
8		10		14	
No. Spesimen	Kuat Tarik (kg/mm ²)	No. Spesimen	Kuat Tarik (kg/mm ²)	No. Spesimen	Kuat Tarik (kg/mm ²)
1	45.22	1	51.19	1	51.82
2	46.03	2	50.97	2	48.17
3	43.7	3	50.66	3	52.38
Kuat Tarik Rata-rata (kg/mm ²)	44.99	Kuat Tarik Rata-rata (kg/mm ²)	50.94	Kuat Tarik Rata-rata (kg/mm ²)	50.79

TABEL 4.1
HASIL PENGUJIAN TARIK MESIN SET UP BERUBAH

TEBAL PELAT (mm)					
6		7		10	
No. Spesimen	Kuat Tarik (kg/mm ²)	No. Spesimen	Kuat Tarik (kg/mm ²)	No. Spesimen	Kuat Tarik (kg/mm ²)
1	47.89	1	46.74	1	48.31
2	47.67	2	46.35	2	50.31
3	47.91	3	47.88	3	50.71
4	47.73	4	48.53	4	50.22
		5	48.17	5	50.72
Kuat Tarik Rata-rata (kg/mm ²)	47.8	Kuat Tarik Rata-rata (kg/mm ²)	47.54	Kuat Tarik Rata-rata (kg/mm ²)	50.06

TEBAL PELAT (mm)			
12		15	
No. Spesimen	Kuat Tarik (kg/mm ²)	No. Spesimen	Kuat Tarik (kg/mm ²)
1	53.21	1	45.63
2	53.41	2	45.33
3	53.25	3	45.68
4	52.97	4	46.44
Kuat Tarik Rata-rata (kg/mm ²)	53.21	Kuat Tarik Rata-rata (kg/mm ²)	45.77

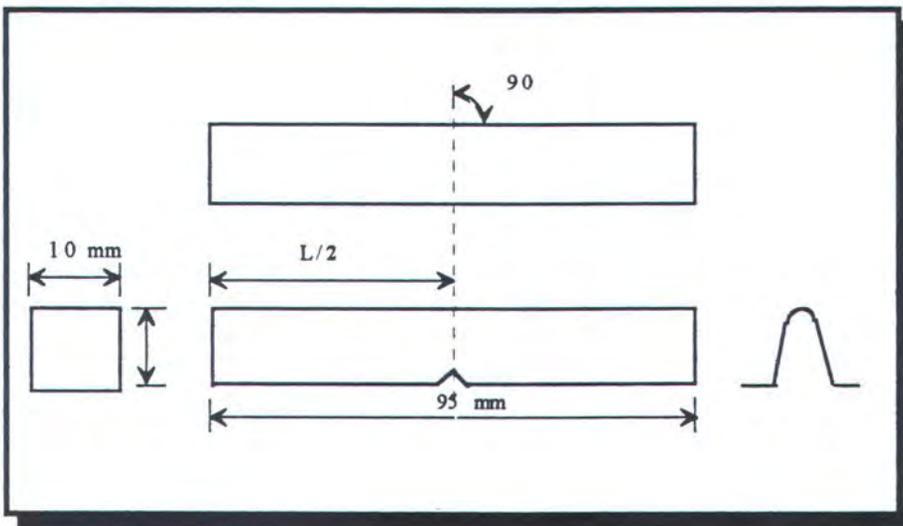
TABEL 4.2
HASIL PENGUJIAN TARIK SET UP MESIN TETAP

4.3 Pengujian Impak (Impact Test)

Pengujian impak adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan dalam menerima beban secara tiba-tiba. Pengujian impak ini ada dua metoda, yaitu : metoda Charpy Impact Test dan Izod Impact Test. Dalam pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metoda Charpy Impact Test. Pengujian ini dilakukan dalam suhu ruang/kamar dengan menggunakan alat uji impact yang dilakukan di laboratorium.

4.3.1. Spesimen Uji Impak

Spesimen uji impak dibuat berdasarkan standar ASTM E 23. Dimensi spesimen dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



GAMBAR 4.2
SPEKIMEN PENGUJIAN IMPAK

Spesimen uji tarik dibuat untuk tebal 6 mm (Form I-6), tebal 7 mm (Form I-7), tebal 10 mm (Form I-10), tebal 12 mm (Form I-12), dan tebal 15 mm (Form I-15) untuk mesin dengan set up tetap. Tebal 8 mm (Form I-8), tebal 10 mm (Form I-10), dan tebal 14 mm (Form I-14) untuk mesin dengan set up berubah. Pemotongan dilakukan dengan 2 (dua) variasi urutan sebagai berikut :

a) I - 6 1 - 2 - 3 - 4 - 5

I - 7 1 - 2 - 3 - 4 - 5

I - 10 1 - 2 - 3 - 4 - 5

I - 12 1 - 2 - 3 - 4 - 5

I - 15 1 - 2 - 3 - 4 - 5

b) I - 8 - 1 I - 10 - 1 I - 14 - 1

I - 8 - 2 I - 10 - 2 I - 14 - 2

I - 8 - 3 I - 10 - 3 I - 14 - 3

I - 8 - 4 I - 10 - 4 I - 14 - 4

I - 8 - 5 I - 10 - 5 I - 14 - 5

4.3.2. Prosedur Pengujian Impak

Prosedur pengujian impak ini dapat dibagi menjadi tahap-tahap sebagai berikut :

Persiapan spesimen :

1. Pemeriksaan fisik spesimen agar sesuai dengan standar yang digunakan untuk menghindari adanya spesimen yang cacat fisiknya atau memerlukan perlakuan sebelum diadakan pengujian.
2. Pengukuran pada spesimen yang meliputi panjang, lebar, tebal dan kedalaman notch.
3. Menghitung luas penampang (A) tepat pada notch, sehingga $A = \text{lebar} \times (\text{tebal-kedalaman notch})$.

Pemasangan Spesimen :

1. Memasang pendulum ke atas dan menguncinya dengan tuas pengunci.
2. Memasang spesimen pada posisinya dengan posisi notch tepat pada tengah-tengah, sehingga saat dilepas dari pengunci, sehingga pendulum akan memukul spesimen tepat pada notchnya.
3. Mengatur jarum skala penunjuk tepat pada posisi yang telah ditentukan untuk pengujian.

Pelaksanaan Pengujian :

1. Menekan dan memutar tuas pengunci sehingga pendulum akan terlepas dari tempatnya dan berayun ke bawah sehingga akan memukul spesimen.
2. Mencatat besarnya energi yang dilakukan pendulum untuk memukul spesimen. Cara membaca dengan melihat angka yang ditunjuk oleh jarum penunjuk pada alat uji impak.

4.3.3. Hasil Pengujian

Dari pengujian yang dilakukan maka diamati apakah spesimen mengalami patah atau tidak. Dari data-data yang diperoleh maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya kuat impak yang dimiliki oleh material pada masing-masing ketebalan. Untuk material uji dengan proses machining diketahui Kuat Impak Rata-rata adalah 1.411 joule/mm².

4.3.3.1. Tabel Hasil Pengujian Impak

Tabel dari hasil pengujian tarik dapat dilihat pada tabel berikut ini :

No.	Tebal Pelat	PxLxT	A (mm ²)	Energi Impak (joule)	Kuat Impak (joule/mm ²)
1	6	55x6.1x8.0	48.8	102.6	2.1
2	6	55x6.1x8.0	48.8	94.7	1.94
3	6	55x6.1x8.0	48.8	92.8	1.9
4	6	55x6.1x8.0	48.8	92.8	1.9
Kuat Impak Rata-rata (joule/mm ²)					1.96
1	7	55x6.25x8.0	50	89.8	1.8
2	7	55x5.95x8.0	47.6	83	1.74
3	7	55x5.95x8.0	47.6	81	1.7
4	7	55x6.0x8.0	48	76	1.65
Kuat Impak Rata-rata (joule/mm ²)					1.72
1	10	55x10x8.0	80	135	1.69
2	10	55x10x8.0	80	149.2	1.87
3	10	55x10x8.0	80	119.5	1.49
4	10	55x10x8.0	80	148.6	1.86
Kuat Impak Rata-rata (joule/mm ²)					1.73
1	12	55x10.1x8.0	80.8	120.5	1.49
2	12	55x9.9x8.05	79.69	118.4	1.49
3	12	55x10.1x7.95	80.3	120.5	1.5
4	12	55x9.7x7.9	76.63	130	1.7
Kuat Impak Rata-rata (joule/mm ²)					1.54
1	15	55x10.1x8.15	82.32	86	1.05
2	15	55x10.2x8.0	81.6	112.1	1.37
3	15	55x9.9x7.9	78.21	119.2	1.52
Kuat Impak Rata-rata (joule/mm ²)					1.31

TABEL 4.3
HASIL PENGUJIAN IMPAK MESIN SET UP TETAP

No.	Tebal Pelat	PxLxT	A (mm ²)	Energi Impak (joule)	Kuat Impak (joule/mm ²)
1	8	55x7.9x8.0	63.99	41.2	0.64
2	8	55x7.95x8.0	63.6	37.1	0.58
Kuat Impak Rata-rata (joule/mm ²)					0.61
1	10	55x10.05x8.0	50	80.4	1.7
2	10	55x10.15x8.0	47.6	80.19	1.68
Kuat Impak Rata-rata (joule/mm ²)					1.69
1	14	55x10.25x8.0	82	110	1.34
2	14	55x10.15x8.0	81.2	112	1.38
Kuat Impak Rata-rata (joule/mm ²)					1.36

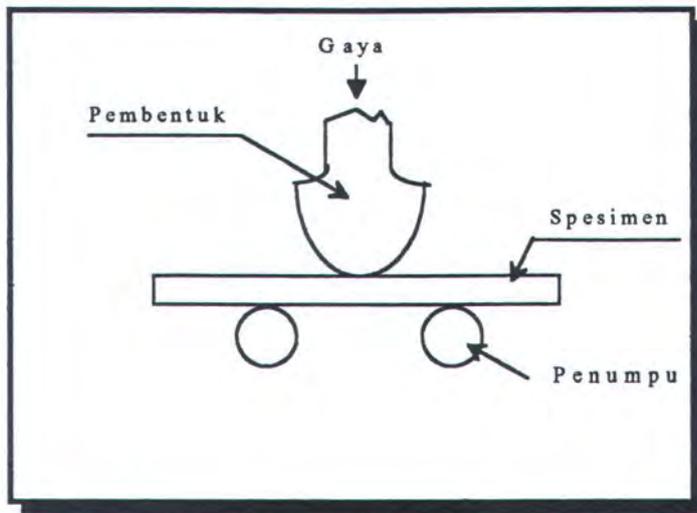
TABEL 4.4
HASIL PENGUJIAN IMPAK MESIN SET UP BERUBAH

4.4 Pengujian Bending

Pengujian bending dilakukan untuk menaksir kekuatan tekuk pelat yang telah dipotong. Pengujian ini terdiri dari *pengujian bending bebas* dan *pengujian bending yang dikendalikan*. Pengujian bending bebas dimana alat cengkeram kecil, batang lengkung, tang pelat, dan sebagainya, dipergunakan untuk membengkokkan lembaran pelat tanpa mempergunakan suatu pembentuk. Sedangkan pengujian yang dikendalikan, spesimen/pelat dikendalikan di antara rol-rol dan gaya pada pembentuk yang diberikan oleh sebuah pembentuk hidrolis atau alat-alat mekanis.

4.4.1. Spesimen Uji Bending

Dimensi spesimen dibuat berdasarkan standar yang ada. Dimensi spesimen dapat dilihat seperti pada gambar berikut :



GAMBAR 4.3
SPEKIMEN PENGUJIAN BENDING

Spesimen untuk pengujian bending dibuat dengan dua variasi urutan pemotongan untuk masing-masing ketebalan. Ketebalan yang digunakan adalah tebal 6 mm (Form B-6), tebal 7 mm (Form B-7), tebal 10 mm (Form B-10), tebal 12 mm (Form B-12), tebal 15 mm (Form B-15) untuk mesin dengan set up tetap. Untuk mesin dengan set up berubah menggunakan tebal 8 mm (Form B-9), tebal 10 mm (Form B-10), dan tebal 14 mm (Form B-14). Dua variasi urutan pemotongan tersebut adalah sebagai berikut :

- a) B - 6 1 - 2 - 3 - 4 - 5
- B - 7 1 - 2 - 3 - 4 - 5

B - 10 1 - 2 - 3 - 4 - 5

B - 12 1 - 2 - 3 - 4 - 5

B - 15 1 - 2 - 3 - 4 - 5

- b)
- | | | |
|-----------|------------|------------|
| B - 8 - 1 | B - 10 - 1 | B - 14 - 1 |
| B - 8 - 2 | B - 10 - 2 | B - 14 - 2 |
| B - 8 - 3 | B - 10 - 3 | B - 14 - 3 |
| B - 8 - 4 | B - 10 - 4 | B - 14 - 4 |
| B - 8 - 5 | B - 10 - 5 | B - 14 - 5 |

4.4.2. Dasar Teori

Untuk menentukan kuat tekuk suatu material, maka spesimen dengan ukuran yang telah dibuat berdasarkan standar diletakkan diatas dua buah penumpu dengan jarak tertentu. Selanjutnya bagian tengah material uji ditekan dengan mandrel hingga membentuk sudut 180° . Besarnya kuat tekuk dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$\sigma_b = \frac{Mb}{W_b} = \frac{1/4PL}{1/6BH^2} (\text{kg/mm}^2)$$

Dimana : P = Beban (kg)

L = Jarak kedua penumpu (mm)

B = Lebar spesimen uji (mm)

H = Tebal spesimen uji (mm)

Jarak kedua penumpu merupakan fungsi dari tebal spesimen. Makin besar ketebalan spesimen, jarak kedua penumpu juga makin besar. Jarak kedua penumpu spesimen dinyatakan dengan rumus :

$$D = 3t + \phi$$

dimana : t = Tebal spesimen (mm)

ϕ = Diameter mandrel

ϕ = 2t untuk $P < 52 \text{ kg/mm}^2$

= 3t untuk $P > 52 \text{ kg/mm}^2$

4.4.3. Prosedur Pengujian Bending

Prosedur pengujian bending dapat dibagi menjadi tahap-tahap berikut ini :

Pelaksanaan Pengujian

Pembuatan spesimen uji bending dibuat berdasarkan standar ASTM atau JIS . Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan menekuk spesimen uji dengan mesin penekan (pada umumnya sama dengan mesin uji tarik).

Langkah Pengujian

Langkah-langkah pengujian bending :

1. Mempersiapkan mesin tekuk dan spesimen yang akan diuji.
2. Memasang mandrel yang sesuai dengan ketebalan spesimen.
3. Mengatur jarak penumpu berdasarkan ketebalan spesimen dan diameter mandrel.
4. Meletakkan spesimen di atas penumpu dengan bagian tengah spesimen tepat di bawah mandrel penekan.

5. Memberikan beban sehingga mandrel bergerak ke bawah dan menekan spesimen hingga bengkok dan membentuk sudut 180° .
6. Mandrel dinaikkan ke atas dan selanjutnya dicatat besarnya gaya /beban maksimum yang terjadi.

4.4.4. Hasil Pengujian Bending

Dari pengujian yang dilakukan maka akan didapatkan kuat tekuk dari material uji. Material uji akan bengkok sampai sudut 180° . Dari hasil pengujian tekuk ini selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil pengujian tekuk untuk proses machining yang mempunyai kekuatan tekuk rata-rata 64.89 kg/mm^2 .

4.4.4.1. Tabel Hasil Pengujian Bending

Data-data hasil pengujian bending dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini :

TEBAL PELAT (mm)					
8		10		14	
No. Spesimen	Kuat Tekuk (kg/mm ²)	No. Spesimen	Kuat Tekuk (kg/mm ²)	No. Spesimen	Kuat Tekuk (kg/mm ²)
1	61.17	1	57.24	1	68.22
2	65.48	2	59.25	2	69.65
Kuat Tekuk Rata-rata (kg/mm ²)	63.32	Kuat Tekuk Rata-rata (kg/mm ²)	58.25	Kuat Tekuk Rata-rata (kg/mm ²)	68.93

TABEL 4.5
HASIL PENGUJIAN TEKUK SET UP BERUBAH

TEBAL PELAT (mm)					
6		7		10	
No. Spesimen	Kuat Tekuk (kg/mm ²)	No. Spesimen	Kuat Tekuk (kg/mm ²)	No. Spesimen	Kuat Tekuk (kg/mm ²)
1	53.81	1	60.49	1	83.75
2	50.77	2	68.56	2	70.96
3	44.21	3	58.08	3	76.66
		4	61.56	4	81.21
Kuat Tekuk Rata-rata (kg/mm ²)	49.6	Kuat Tekuk Rata-rata (kg/mm ²)	62.17	Kuat Tekuk Rata-rata (kg/mm ²)	78.14

TEBAL PELAT (mm)			
12		15	
No. Spesimen	Kuat Tekuk (kg/mm ²)	No. Spesimen	Kuat Tekuk (kg/mm ²)
1	79.48	1	73.32
2	70.96	2	67.31
3	75.45	3	62.19
4	82.25	4	69.55
Kuat Tekuk Rata-rata (kg/mm ²)	76.54	Kuat Tekuk Rata-rata (kg/mm ²)	68.09

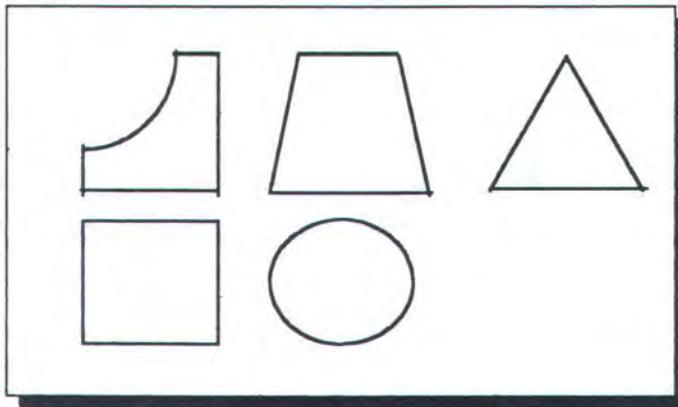
TABEL 4.6
HASIL PENGUJIAN TEKUK SET UP TETAP

4.5 Pengukuran Dimensi Dan Deformasi Geometri

Pengukuran ini dimaksudkan untuk mengetahui terjadinya deformasi pada model-model pelat yang dipotong dan dimensi dari material akibat pemotongan material dengan mesin NC Plasma. Spesimen untuk pengukuran deformasi dan dimensi ini dilakukan di P.T. PAL INDONESIA . Dengan mengetahui deformasi dan penyimpangan dimensi dari material yang terjadi maka akan dapat digunakan untuk memperkecil pekerjaan ulang pada proses pembangunan kapal.

4.5.1. Spesimen Pengukuran

Spesimen pengukuran dibuat sesuai dengan gambar di bawah ini :



GAMBAR 4.4
SPEKIMEN PENGUKURAN DEFORMASI GEOMETRI

Spesimen ini dibuat dengan masing-masing ketebalan 6 mm (Form D-6), ketebalan 8 mm (Form D-8), ketebalan 10 mm (Form D-10), ketebalan 12 mm (Form D-12), ketebalan 14 mm (Form D-14). Pemotongan dilakukan dengan dua variasi urutan sebagai berikut :

- a). D-7 1 - 2 - 3 - 4 - 5
 D-10 1 - 2 - 3 - 4 - 5
 D-12 1 - 2 - 3 - 4 - 5
 D-15 1 - 2 - 3 - 4 - 5
- b). D-8 - 1 D-10 - 1 D-14 - 1
 D-8 - 2 D-10 - 2 D-14 - 2
 D-8 - 3 D-10 - 3 D-14 - 3
 D-8 - 4 D-10 - 4 D-14 - 4
 D-8 - 5 D-10 - 5 D-14 - 5

4.5.2. Prosedur Pengukuran Dimensi Dan Deformasi

Pelaksanaan pengukuran dimensi dan deformasi dapat disusun dengan urutan sebagai berikut :

1. Pengecekan ulang bentuk fisik material uji.
2. Membersihkan sisi-sisi material uji dari segala bentuk kotoran termasuk kerf agar pada waktu pengukuran akan didapatkan data yang akurat.
3. Mengukur dimensi material dan mencatat hasil pengukuran.
4. Membersihkan meja alat pengukur deformasi (meja datar) dan dijaga agar tetap bersih dan rata selama pengukuran deformasi.
5. Menandai titik-titik pengukuran deformasi pada material uji.
6. Spesimen diletakkan diatas meja pengukuran kemudian diklem pada bagian yang berdekatan dengan titik acuan pengukuran deformasi.

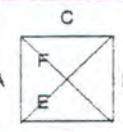
7. Melakukan penyetelan alat pengukur deformasi /dial gauge dimana jarum pengukur harus selalu dimulai dari titik nol pada tanda pengukuran deformasi (titik satu).
8. Pengukuran dimulai dari titik acuan (titik satu) dan dilanjutkan ke titik berikutnya, kemudian hasil pengukuran dapat ditunjukkan dari berubahnya tempat jarum.

4.5.3. Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran deformasi dan dimensi dari material uji ini maka akan didapatkan data-data yang diperlukan untuk mengetahui akurasi dimensi dan deformasi yang terjadi.

Hasil pengukuran dimensi dan deformasi dapat dibagi menjadi :

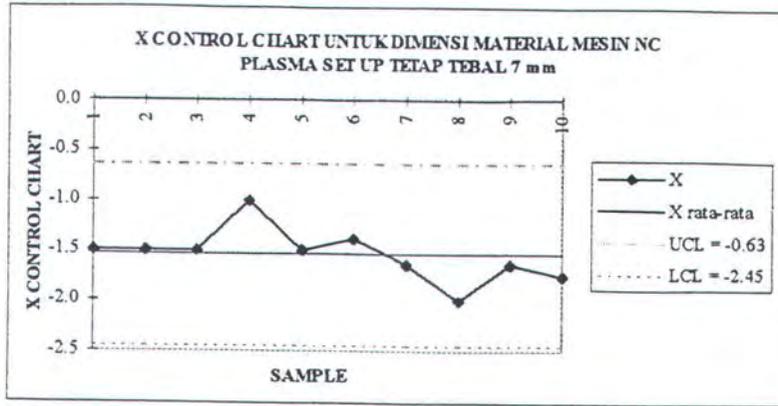
- **Contoh hasil pengukuran Dimensi.** (Lihat Lampiran A)

UKURAN	TEBAL PELAT									KETERANGAN
	7			10			15			
	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	
220X200	200.0	198.5	-1.5	200.0	198.0	-2.0	200.0	198.5	-1.5	 <p>Dev : Deviasi An : A nesting Aa : A aktual</p>
	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	
	200.0	198.5	-1.5	200.0	198.5	-1.5	200.0	198.0	-2.0	
	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	
	220.0	218.0	-2.0	220.0	219.0	-1.0	220.0	218.5	-1.5	
	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	
	220.0	219.0	-1.0	220.0	219.0	-1.0	220.0	218.5	-1.5	
	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	
	297.0	295.0	-2.0	297.0	295.0	-2.0	297.0	295.0	-2.0	
	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	
297.0	295.0	-2.0	297.0	295.0	-2.0	297.0	295.0	-2.0		

TABEL 4.7

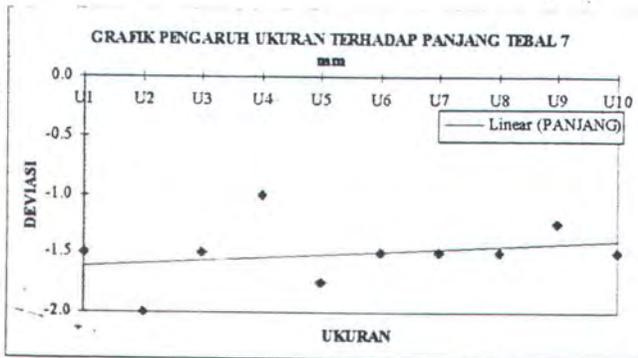
HASIL PENGUKURAN DIMENSI MATERIAL UKURAN 220 X 200 mm

- Contoh Peta Kendali (lihat Lampiran B)



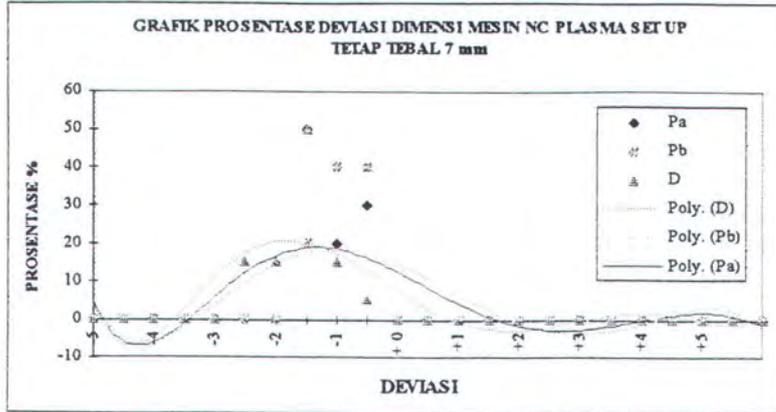
GAMBAR 4.5
PETA KENDALI SPESIMEN TEBAL 7 mm

- Contoh Grafik Hubungan Ukuran Material Dan Perubahan Panjang.
(lihat lampiran C)



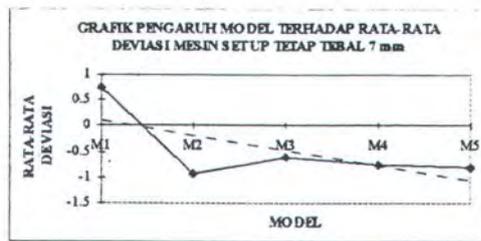
GAMBAR 4.6
PENGARUH UKURAN TERHADAP DEVIASI PANJANG TEBAL 7 mm

- Hubungan Dimensi Dan Prosentase Deviasi. (lihat lampiran D)



GAMBAR 4.7
GRAFIK PROSENTASE DEVIASI DIMENSI TEBAL 7 mm

- Hubungan Model Dengan Deviasi. (lihat Lampiran E)



GAMBAR 4.8
GRAFIK PENGARUH MODEL TERHADAP DEVIASI TEBAL 7 mm

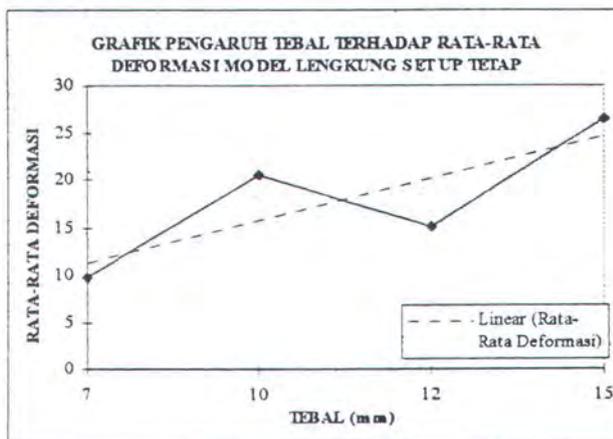
- Hasil Pengukuran Deformasi. (lihat Lampiran F)

NO. URUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KETERANGAN
1. RUT PL 10 PC	0.00	0.12	0.09	0.43	0.75	1.27	1.12	0.62		
2. RUT PL 10 PC	0.00	0.20	0.28	0.63	0.90	1.52	1.38	0.76		
3. RUT PL 10 PC	0.00	0.23	0.35	0.45	0.41	0.36	0.23	0.20		
4. RUT PL 10 PC	0.00	0.28	0.36	0.72	1.01	1.65	1.50	0.82		
5. RUT PL 10 PC	0.00	0.28	0.23	0.32	0.42	0.33	0.16	0.13		
6. RUT PL 10 PC	0.00	0.70	1.30	1.33	1.30	0.70	0.02	0.17	0.80	
7. RUT PL 10 PC	0.00	0.31	0.59	0.61	0.60	0.40	0.09	0.16	0.41	
8. RUT PL 10 PC	0.00	0.29	0.52	0.60	0.60	0.41	0.18	0.15	0.41	
9. RUT PL 10 PC	0.00	0.57	1.01	1.13	1.20	0.90	0.46	0.33	0.76	
10. RUT PL 10 PC	0.00	0.85	1.62	1.72	1.73	1.02	0.23	0.27	1.01	
11. RUT PL 10 PC	0.00	0.30	0.41	0.65	0.49	0.40	0.10	0.26	0.54	
12. RUT PL 10 PC	0.00	0.23	0.29	0.50	0.30	0.33	0.12	0.21	0.44	
13. RUT PL 10 PC	0.00	0.24	0.29	0.63	0.70	0.74	0.56	0.37	0.58	
14. RUT PL 10 PC	0.00	0.56	0.83	1.09	1.00	0.74	0.22	0.25	0.79	
15. RUT PL 10 PC	0.00	0.34	0.58	0.80	0.65	0.47	0.08	0.21	0.61	
16. RUT PL 10 PC	0.00	0.93	1.44	1.03	0.21	0.35	0.86			
17. RUT PL 10 PC	0.00	0.67	0.77	0.62	0.08	0.39	0.88			
18. RUT PL 10 PC	0.00	0.96	1.36	1.04	0.20	0.38	0.88			
19. RUT PL 10 PC	0.00	0.45	0.40	0.49	0.17	0.39	0.56			
20. RUT PL 10 PC	0.00	0.82	1.10	0.94	0.29	0.46	0.85			
21. RUT PL 10 PC	0.00	0.15	0.48	0.94	1.08	0.72	0.23	0.04	0.80	
22. RUT PL 10 PC	0.00	0.08	1.19	2.91	4.14	3.97	2.49	0.88	2.06	
23. RUT PL 10 PC	0.00	0.06	0.54	1.20	1.62	1.54	0.94	0.42	0.92	
24. RUT PL 10 PC	0.00	0.05	0.21	0.44	0.50	0.48	0.28	0.15	0.38	
25. RUT PL 10 PC	0.00	0.09	0.35	0.84	0.70	0.48	0.16	0.03	0.42	

TABEL 4.8

HASIL PENGUKURAN DEFORMASI MESIN SET UP TETAP TEBAL 10 mm

- Hubungan Tebal Material Terhadap Deformasi Model. (Lihat Lampiran G)



GAMBAR 4.9

GRAFIK PENGARUH TEBAL TERHADAP DEFORMASI MODEL LENGKUNG SET UP TETAP

*"Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi
dan silih bergantinya siang dan malam terdapat
tanda bagi kaum yang berakal."
(Ali'Imran: 190)*

BAB V

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

BAB V

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN MASALAH

5.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas permasalahan-permasalahan yang telah dikemukakan pada bab pendahuluan. Pembahasan ini dilakukan berdasarkan konsep dasar dan data-data dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan sebelumnya. Dari pengujian dan pengukuran ini diharapkan dapat dicapai tujuan dari penulisan tugas akhir ini sehingga akan mampu memberikan penyelesaian untuk permasalahan yang terjadi.

Permasalahan yang telah dihadapkan di awal paragraf ini yaitu perubahan struktur mikro pada material akibat pemotongan dengan mesin NC plasma serta perubahan sifat mekanis jika dibandingkan dengan material yang dikenai proses machining, perubahan sifat fisis yang berupa terjadinya deformasi dan akurasi dimensi dari hasil potong dengan desain bentuk material yang telah direncanakan.

5.2 Analisa Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Material

Pada dasarnya pemotongan material yang dilakukan pada suatu material atau pelat dilakukan pada temperatur yang sangat tinggi agar supaya logam dipotong

cepat mencair dan memberikan efisiensi pada proses pemotongan. Di lapangan dalam hal ini di P.T. PAL Indonesia, temperatur dari busur api yang mengenai bagian terpotong mempunyai temperatur yang sangat tinggi sehingga memberikan proses pemindahan panas pada bagian kecil material ini dan karena proses pemotongan ini dilakukan di dalam air (air berfungsi sebagai media pendingin) maka material hasil potong akan mengalami laju pendinginan yang cepat. Sehingga pada bagian material terpotong akan terjadi perambatan panas sehingga akan terjadi perubahan struktur mikro pada material.

Transformasi fase pada saat berlangsungnya proses pemotongan pada temperatur kamar, baja akan terdiri dari butir-butir kristal ferrit dan perlit. Ketika panas mengenai material dan temperatur berlanjut hingga tepat pada temperatur kritis A_1 , maka perlit akan mengalami *reaksi eutektoid*, reaksi ini akan berlangsung terus pada suhu yang konstan sampai reaksi ini selesai.

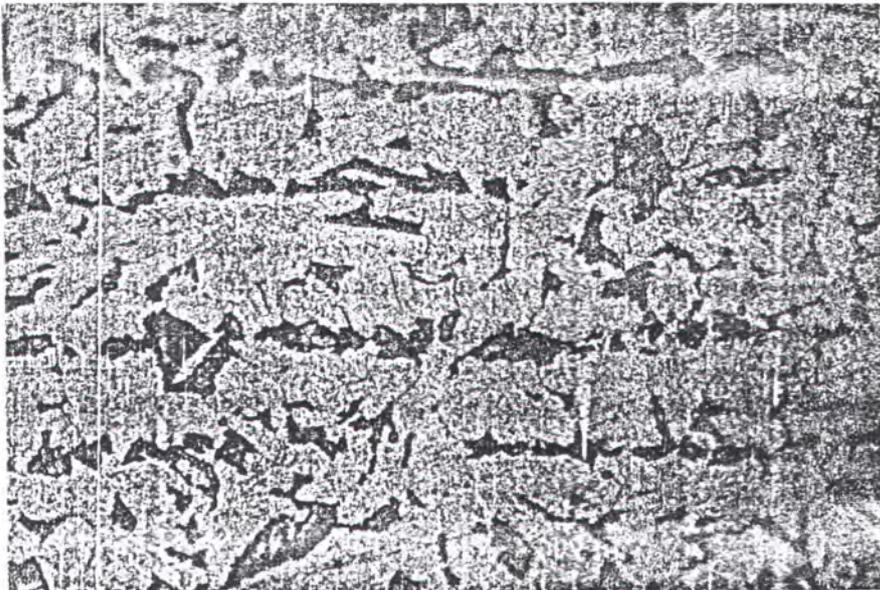
Setelah proses pemanasan ini selesai dan mencapai temperatur yang diinginkan maka dilakukan pendinginan dengan laju tertentu. Laju pendinginan ini akan sangat menentukan sifat mekanis baja pada saat proses ini berakhir. Pada proses pemotongan dengan mesin NC plasma material hasil pemotongan langsung mengalami pendinginan yang sangat cepat maka akan terjadi pergeseran atom-atom untuk mengubah FCC menjadi BCC tanpa difusi, hal ini terjadi karena adanya gaya dorong. Tetapi karena austenit mengandung sejumlah karbon dan ferrit hanya memiliki kemampuan yang terbatas dalam melarutkan karbon maka karbon yang seharusnya keluar dari larutan akan terperangkap (atom karbon sudah tidak lagi

dapat berdiffusi keluar karena tidak memiliki energi yang cukup untuk berdiffusi karena berlangsung pada temperatur rendah) dalam struktur baru yang seharusnya BCC tetapi menjadi BCT, yaitu *martensit*. Martensit ini bukanlah struktur yang stabil karena merupakan suatu struktur transisi antar austenit yang tidak stabil dengan campuran ferrit dan sementit yang stabil. Martensit ini berbentuk jarum-jarum yang tipis dan panjang, makin besar ukuran butir austenit maka makin besar pula jarum martensit yang terbentuk.

Karena adanya karbon yang terperangkap ini maka struktur menjadi tegang dan karenanya struktur ini menjadi sangat keras dan getas. Martensit akan mulai terjadi bila austenit langsung didinginkan hingga mencapai temperatur M_s (martensit start). *Banyaknya austenit yang bertransformasi menjadi martensit tidak tergantung pada waktu, tetapi tergantung pada temperatur, makin rendah temperatur maka makin banyak martensit yang terjadi.* Transformasi ini tidak akan pernah selesai, karena selalu ada retained austenit meski dalam jumlah yang sedikit. Karena itu setelah pendinginan ini selesai dan mencapai temperatur kamar maka masih terdapat austenit sisa yang belum bertransformasi. Adanya austenit sisa ini menyebabkan kenaikan kekerasan semakin berkurang. Selain memiliki kekerasan yang tinggi, martensit juga mempunyai kekuatan impak yang rendah. Hal ini disebabkan adanya distorsi pada kisi-kisi ruang martensit yang menghalangi deformasi plastis. Besarnya distorsi pada kisi ruang ini dipengaruhi oleh kadar karbon yang terkandung di dalam martensit.

Setelah diadakan pengujian mekanis yang berupa pengujian tarik, impak dan bending untuk material yang telah dipotong di P.T. PAL Indonesia dan membandingkannya dengan kekuatan mekanis untuk material yang dipotong dengan proses machining. Hasil yang tampak dari pengujian tarik adalah material ini memiliki sifat kuat tarik yang tinggi. Dari pengujian impak, ternyata spesimen memiliki sifat kuat impak yang rendah serta memiliki kekuatan tekuk yang tinggi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pada material yang dipotong dengan mesin NC plasma akan terjadi perubahan struktur mikro pada material tersebut yang berupa struktur martensit, dimana struktur ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi, kuat impak rendah dan tekuk yang tinggi.

Bentuk butiran martensit dapat dilihat pada gambar 5.1 berikut ini :



GAMBAR 5.1
*STRUKTUR MARTENSIT AKIBAT PEMOTONGAN DENGAN MESIN NC
PLASMA CUTTING*

5.3 Analisa Akurasi Dimensi Material

5.3.1. Analisa Peta Kendali

Analisa ketepatan dari ukuran dimensi material ini dilakukan berdasarkan data-data yang telah diperoleh dari pengukuran yang dilakukan di laboratorium. Spesimen yang dianalisa memiliki berbagai variasi perubahan panjang dan lebar dengan pertimbangan bahwa pada observasi di lapangan banyak dijumpai bentuk-bentuk hasil produksi yang memiliki perubahan dimensi dari panjang dan lebar secara berderet.

Interpretasi data hasil pengukuran untuk akurasi dimensi ini berdasarkan control chart yang telah dibuat dan dapat dilihat pada lampiran B. Informasi yang didapat dari peta kendali untuk ketebalan spesimen 7, 10 dan 15 mm yaitu :

- Pada peta kendali tebal 7 mm.

Pada peta kendali ini menggambarkan suatu proses produksi yang terkendali dimana \bar{x} rata-rata untuk tebal 7 mm memiliki harga yang tinggi jika dibandingkan dengan tebal 10 dan 15 mm. Titik-titik dalam peta kendali tebal 7 mm terletak di dalam batas kendali dengan pelarian 6 titik diikuti pelarian 4 titik, hal ini menunjukkan suatu ketidaknormalan dalam suatu proses produksi. Pengelompokan titik-titik ini tidak menunjukkan suatu bentuk yang khusus. Ketidaknormalan akan terjadi apabila beberapa titik berada di luar batas kendali dan terjadi pengelompokan dengan membentuk pola yang khusus.

- Pada peta kendali tebal 10 mm.

Informasi yang didapat dari peta kendali tebal 10 mm adalah bahwa proses produksi masih dalam batas-batas pengendalian karena semua titik terletak dalam batas kendali. Pola yang ditunjukkan dari peta kendali ini juga tidak menunjukkan suatu pola yang khusus. Jadi akan terjadi ketidaknormalan dalam proses produksi apabila terjadi kasus bahwa ada atau sebagian titik jatuh di luar batas kendali dan membuat suatu pola yang khusus.

- Pada peta kendali 15 mm

Dari peta kendali ini digambarkan bahwa titik untuk sample 4 jatuh diluar dari batas kendali bawah, hal ini menunjukkan suatu ketidaknormalan dalam suatu proses produksi. Ketidaknormalan ini juga ditunjukkan dengan adanya pelarian 4 titik dari garis pusat.

5.3.2. Pengaruh Dimensi Terhadap Deviasi Material

Analisa pengaruh dimensi dilakukan untuk material dengan klasifikasi yang menunjukkan perubahan ukuran secara memanjang. Informasi yang didapatkan dari grafik prosentase deviasi dimensi untuk tebal 7, 10, dan 15 mm adalah prosentase deviasi untuk titik-titik deviasi menunjukkan pola/ kecenderungan suatu bentuk yang khusus dimana prosentase deviasi maksimum berkisar antara 10 ~20 %. Pada tebal 7 mm (panjang atas = -2, panjang bawah = -1.5, dan diagonal = -2), tebal 10 mm (panjang atas = -2, panjang bawah = -2, dan diagonal = -2), dan tebal 15 mm (panjang atas = -2, panjang bawah = -1, dan diagonal = -2) seperti yang terlihat pada Lampiran D.

Berkurangnya ukuran hasil potong dari ukuran nesting ini dapat terjadi karena kurangnya pengendalian terhadap kecepatan pemotongan dan nozzle yang digunakan dalam pemotongan material. Jika jarak nozzle terlalu tinggi yang disebabkan karena material dasar sebelumnya telah mengalami deformasi/ melengkung atau kedudukan awal dari nozzle yang tidak tepat maka hal ini dapat mengurangi hasil potong. Hal ini dapat diidentifikasi pada hasil potong yang tepi atasnya agak bundar dan melebur.

Untuk menganalisa pengaruh perubahan ukuran atau panjang dimana lebar dari dimensi material tidak mengalami perubahan maka didapatkan grafik yang mewakili besarnya deviasi (Lampiran C). Dari grafik untuk tebal 7 mm ditunjukkan bahwa dengan semakin berubah ukuran panjang dari dimensi panjang suatu material maka akan terjadi penurunan deviasi dimensi. Analisis ini berlaku juga untuk material dengan tebal 10 mm dan 15 mm.

Adanya masukan panas yang berasal dari pemotongan menyebabkan tegangan mnegembang sehingga pelat/ material terpisah dan kepingan bergerak relatif terhadap yang lain. Pada model yang lebarnya sangat pendek dan memanjang perlu dilakukan kontrol tinggi terhadap nozzle yang otomatis. Pengelompokkan komponen agar dapat menghasilkan ukuran yang sesuai dilakukan dengan memasang komponen yang berdekatan sehingga memungkinkan ruangan hanya cukup untuk pemotongan saja.

5.3.3. Pengaruh Model Terhadap Deviasi Dimensi

Penelaahan grafik (Lampiran E) pengaruh macam-macam model terhadap terjadinya deviasi dimensi dilakukan pada material yang mengalami pemotongan setup tetap dan setup berubah. Untuk model kontruksi dengan mesin setup tetap dan berubah dengan ketebalan yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa pada umumnya untuk pemotongan berurutan dari model lengkung - trapesium - bujursangkar - segitiga - lingkaran akan didapatkan peningkatan perubahan deviasi ke arah yang semakin tinggi dimana model lengkung memiliki deviasi paling minimum dan model lingkaran mempunyai harga paling tinggi, pada model lingkaran ini semestinya dilakukan pengendalian terhadap kecepatan pemotongan karena garis lengkung akan terjadi pengurangan ukuran yang disebabkan karena bagian tepi atas dari model banyak yang melebur jika terlalu banyak masukan panas yang mengenainya. Hal ini berlaku untuk model-model dengan tebal 7,10, dan 15 mm. Pada material dengan tebal 12 mm terjadi penyimpangan jika dibandingkan dengan tebal pelat lainnya. Kemungkinan ini terjadi adalah karena proses yang ada di lapangan yang tidak berjalan sesuai dengan pemotongan material seperti pada ketebalan material lainnya.

Berkurangnya dimensi material yang terjadi pada proses pemotongan di lapangan juga dipengaruhi oleh kesalahan operator dalam menyetel kecepatan pemotongan untuk material dengan ketebalan yang berbeda serta juga karena ausnya lubang nozzle karena terlalu lama dipakai dan pada pemakainnya kurang

diperhatikan. Material dasar yang digunakan juga harus bersih permukaannya dari karat atau kotoran lainnya yang menyebabkan berkurangnya ukuran.

5.4 Analisa Deformasi Geometri

Beranekaragamnya bentuk kontruksi yang dibuat di lapangan tentunya akan mempengaruhi lama pemotongan dan tingkat kesulitan dalam pemotongannya. Hal ini berpengaruh juga terhadap deformasi yang terjadi pada material akibat adanya hal-hal yang muncul seperti yang tersebut diatas.

Untuk itu dari data-data yang diperoleh telah dibuat garfik-grafik (Lampiran F) yang menunjukkan hubungan deformasi dengan parameter yang mempertimbangkan ketebalan dari material, model-model kontruksi yang dipotong serta metoda pemotongan yang digunakan..

5.4.1. Pengaruh Tebal Terhadap Deformasi

Berdasarkan grafik yang telah dibuat dianalisa bahwa untuk model trapesium, segitiga dan bujur sangkar memperlihatkan kecenderungan bahwa untuk ketebalan yang semakin meningkat akan didapatkan deformasi material yang semakin menurun, hal ini ditunjukkan baik itu pemotongan dengan menggunakan set up mesin tetap maupun berubah.

Akan tetapi untuk bentuk lengkung, semakin tebal material yang dipotong maka akan semakin tinggi deformasi yang terjadi. hal ini memberikan informasi bahwa adanya kombinasi bentuk antara lurus dan lengkung pada bentuk kontruksi ini akan meningkatkan kesulitan pada proses pemotongan dan dengan lamanya

proses transfer panas pada bagian yang terpotong akan mengakibatkan terjadinya deformasi yang semakin besar.

Pada bentuk lingkaran, untuk ketebalan material yang semakin tinggi tidak mengakibatkan peningkatan pada besarnya deformasi yang terjadi, akan tetapi deformasi berjalan stabil dan linier.

Pada dasarnya proses yang terjadi di lapangan, material dasar yang digunakan merupakan pelat sisa dimana luasan dari material dibandingkan dengan kepingan/ hasil potongan sangat mempengaruhi hasil potong. Distorsi paling besar terjadi pada luas permukaan yang paling kecil. Misalnya jika suatu model lingkaran dengan diameter 990 mm dipotong dari material dasar dengan luas 1 mm^2 maka model lingkaran akan tetap stabil sedangkan kepingan akan terdistorsi akibat gerakan miring. Begitu pula dengan luas suatu model yang lebih kecil dari material dasar maka model tersebut akan terdistorsi.

*"(Yaitu) orang-orang yang mengingat Allah di saat sedang berdiri, duduk dan waktu berbaring. Dan mereka memikirkan kejadian langit dan bumi, (lantas berdoa) "Ya Tuhan kami tiada Engkau ciptakan ini dengan percuma. Maha Suci Engkau. Maka peliharalah kami dari azab neraka."
(Ali' Imran: 191)*

PENUTUP

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengukuran dan pengujian di Laboratorium Kontruksi dan Kekuatan FTK - ITS, serta berdasarkan analisa yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemotongan material dengan mesin NC plasma yang dilakukan di P.T. PAL Indonesia mengakibatkan perubahan yang terjadi pada struktur mikro material. Struktur material berubah menjadi struktur *martensit*, dimana struktur ini memiliki sifat-sifat mekanis yang berupa kuat tarik yang tinggi , kuat impak rendah, dan kuat tekuk yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan proses machining.
2. Pemakaian mesin NC plasma sangat menunjang dalam meningkatkan produktivitas galangan, terutama di P.T. PAL Indonesia. Karena dapat menghasilkan produk antara dalam jumlah yang lebih banyak dan baik, serta dapat menghemat waktu pemotongan jika dibandingkan dengan metoda pemotongan lainnya.

3. Pemotongan material dengan mesin NC plasma dapat digunakan terhadap berbagai bentuk/ model konstruksi, asalkan sesuai dengan tipe dan ketebalan bahan.
4. Berdasarkan pertimbangan penghematan kecepatan potong setinggi mungkin maka perlu diperhatikan hasil potongan yang mempunyai lebar yang sempit dan potongan yang bersih pada bagian atas dan bawah.
5. Ketelitian hasil pemotongan sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan material sebelum dipotong, penyetelan setup mesin yang meliputi arus listrik, tegangan listrik, ukuran nozzle, dan kecepatan pemotongan. Kecepatan yang berlebih akan menyebabkan berkurangnya lebar alur serta menghasilkan kemiringan potongan akan tetapi intensitas arus merupakan faktor utama yang menentukan lebar alur.
6. Deviasi dimensi yang terjadi dipengaruhi oleh perbandingan ukuran hasil potong yang diinginkan dengan luasan material dasar serta bentuk dari model konstruksi yang diinginkan.
7. Deformasi yang terjadi pada model trapesium, segitiga, dan bujur sangkar untuk ketebalan yang semakin tinggi akan didapatkan deformasi yang semakin menurun. Sedangkan untuk bentuk lengkung semakin tebal material maka deformasinya akan semakin tinggi, dan pada lingkaran deformasi yang terjadi tetap stabil untuk ketebalan yang semakin meningkat.

6.2 Saran

Pada proses pemotongan material dengan mesin NC plasma yang terjadi di lapangan pada dasarnya sudah sesuai dan cukup baik. Akan tetapi perlu adanya pengontrolan terhadap prosedur pemotongan agar dapat menghasilkan kualitas hasil pemotongan yang tinggi. Pengendalian terhadap arus listrik, ukuran nozzle, tegangan listrik dan kecepatan jalannya torch yang disesuaikan dengan tebal dan model konstruksi akan semakin memperkecil terjadinya ketidakakurasian dimensi dan besarnya deformasi yang terjadi. Sebaiknya perlu dilakukan pelatihan kembali bagi para operator mesin NC plasma sehingga memiliki kemampuan dan pengetahuan yang lebih baik.

*"Maka sesungguhnya di samping kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya di samping kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (mengerjakan suatu pekerjaan) kerjakanlah pekerjaan lain (dengan sungguh-sungguh). Dan hanya kepada Tuhanmu (sajalah) kamu berharap."
(Alam Nasyrah: 5-8)*

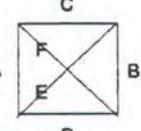
DAFTAR PUSTAKA

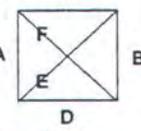
DAFTAR PUSTAKA

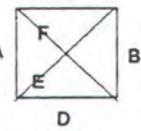
1. Smallman, R.E., **Metalurgi Fisik Modern**, P.T. Gramedia Jakarta, Edisi Keempat, 1991.
2. Gregory, E.N., C Eng, FIM, F. Weld , **Welding And Cutting Distortion Causes Prevention And Reetification**, The Welding Institute Research Bulletin, 1982.
3. Glizmanenko, D. and G. Yeuseyev, **Flame -Cut Precision, Gas Welding And Cutting**, Peace Publisher, Moskow.
4. Annual Book of ASTM Standard, **Metals Test Methods And Analytical Prosedures**, Vol. 03.01, 1916 Race Street/Philadelphia. PA 19103 (215) 299-5400, 1986.
5. R. Wilson, **Metallurgy And Heat Treatment Of Tool Steels**, Mc Graw -Hill Book Company (UK) Limited Maiden England.
6. Van Vlack, terjemahan Sriati Djaprie, **Ilmu Dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam Dan Bukan Logam)**, Erlangga, Jakarta, 1991.
7. Suherman, W., Ir., **Prinsip-prinsip Perlakuan Panas**, ITS Surabaya, 1987.
8. Ishikawa, K., Dr., **Teknik Penuntun Pengendalian Mutu**, Medyatama Sarana Perkasa, 1988.

9. Feigenbaum, A.V., **Total Quality Control**, McGraw-Hill Inc., Third Edition, Revised, 1991.
10. Kenyon, W., **Dasar-dasar Pengelasan**, Erlangga, 1985
11. Sriwidharto., **Petunjuk Kerja Las**, P.T. Pradya Paramita, Jakarta, 1987.
12. Putra, W.H.P.A., **Studi Pengaruh Pemakaian Line Heating Terhadap Kekuatan Mekanis Pelat Baja SS-41 Produksi P.T. KRAKATAU STEEL Yang Dipakai di P.T. PAL Indonesia**, Tugas Akhir ITS Surabaya, 1994.
13. Prayitna, H., **Analisa Pelaksanaan Accuracy Control Di P.T. PAL Indonesia**, Tugas Akhir ITS Surabaya, 1993.

LAMPIRAN A : PENGUKURAN DIMENSI SPESIMEN PERBANDINGAN
PANJANG DAN LEBAR

UKURAN	TEBAL PELAT									KETERANGAN
	7			10			15			
	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	
220X200	200.0	198.5	-1.5	200.0	198.0	-2.0	200.0	198.5	-1.5	 <p>Dev : Deviasi An : A nesting Aa : A aktual</p>
	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	
	200.0	198.5	-1.5	200.0	198.5	-1.5	200.0	198.0	-2.0	
	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	
	220.0	218.0	-2.0	220.0	219.0	-1.0	220.0	218.5	-1.5	
	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	
	220.0	219.0	-1.0	220.0	219.0	-1.0	220.0	218.5	-1.5	
	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	
	297.0	295.0	-2.0	297.0	295.0	-2.0	297.0	295.0	-2.0	
	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	
	297.0	295.0	-2.0	297.0	295.0	-2.0	297.0	295.0	-2.0	

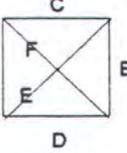
UKURAN	TEBAL PELAT									KETERANGAN
	7			10			15			
	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	
300X200	200.0	199.0	-1.0	200.0	198.0	-2.0	200.0	198.0	-2.0	 <p>Dev : Deviasi An : A nesting Aa : A aktual</p>
	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	
	200.0	199.0	-1.0	200.0	200.0	0.0	200.0	198.0	-2.0	
	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	
	300.0	298.0	-2.0	300.0	298.0	-2.0	300.0	298.0	-2.0	
	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	
	300.0	298.0	-2.0	300.0	298.0	-2.0	300.0	299.0	-1.0	
	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	
	360.5	358.0	-2.5	360.5	357.0	-3.5	360.5	359.0	-1.5	
	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	
	360.5	359.0	-1.5	360.5	358.0	-2.5	360.5	358.5	-2.0	

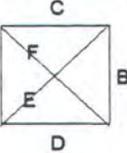
UKURAN	TEBAL PELAT									KETERANGAN
	7			10			15			
	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	
320X200	200.0	199.0	-1.0	200.0	197.0	-3.0	200.0	198.0	-2.0	 <p>Dev : Deviasi An : A nesting Aa : A aktual</p>
	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	
	200.0	198.0	-2.0	200.0	199.0	-1.0	200.0	199.0	-1.0	
	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	
	320.0	318.5	-1.5	320.0	318.0	-2.0	320.0	318.0	-2.0	
	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	
	320.0	318.5	-1.5	320.0	318.5	-1.5	320.0	318.0	-2.0	
	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	
	377.0	375.0	-2.0	377.0	374.0	-3.0	377.0	375.0	-2.0	
	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	
	377.0	375.0	-2.0	377.0	375.0	-2.0	377.0	376.0	-1.0	

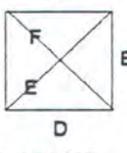
UKURAN	TEBAL PELAT									KETERANGAN
	7			10			15			
	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	
400X200	200.0	200.0	0.0	200.0	197.5	-2.5	200.0	196.0	-4.0	<p>Dev : Deviasi An : A nesting Aa : A aktual</p>
	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	
	200.0	198.0	-2.0	200.0	198.0	-2.0	200.0	194.0	-6.0	
	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	
	400.0	399.0	-1.0	400.0	398.0	-2.0	400.0	398.5	-1.5	
	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	
	400.0	399.0	-1.0	400.0	398.0	-2.0	400.0	398.5	-1.5	
	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	
	447.0	445.0	-2.0	447.0	445.0	-2.0	447.0	442.5	-4.5	
	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	
447.0	446.0	-1.0	447.0	444.5	-2.5	447.0	443.0	-4.0		

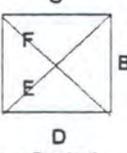
UKURAN	TEBAL PELAT									KETERANGAN
	7			10			15			
	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	
420X200	200.0	198.5	-1.5	200.0	198.0	-2.0	200.0	199.0	-1.0	<p>Dev : Deviasi An : A nesting Aa : A aktual</p>
	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	
	200.0	199.0	-1.0	200.0	197.0	-3.0	200.0	198.5	-1.5	
	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	
	420.0	418.0	-2.0	420.0	415.5	-4.5	420.0	418.0	-2.0	
	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	
	420.0	418.5	-1.5	420.0	418.0	-2.0	420.0	419.0	-1.0	
	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	
	465.0	462.0	-3.0	465.0	462.0	-3.0	465.0	464.0	-1.0	
	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	
465.0	463.0	-2.0	465.0	463.0	-2.0	465.0	464.0	-1.0		

UKURAN	TEBAL PELAT									KETERANGAN
	7			10			15			
	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	
500X200	200.0	198.5	-1.5	200.0	197.0	-3.0	200.0	198.0	-2.0	<p>Dev : Deviasi An : A nesting Aa : A aktual</p>
	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	
	200.0	199.0	-1.0	200.0	195.0	-5.0	200.0	196.0	-4.0	
	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	
	500.0	498.0	-2.0	500.0	498.0	-2.0	500.0	498.0	-2.0	
	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	
	500.0	499.0	-1.0	500.0	498.0	-2.0	500.0	498.0	-2.0	
	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	
	538.5	536.5	-2.0	538.5	535.0	-3.5	538.5	536.0	-2.5	
	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	
538.5	537.0	-1.5	538.5	535.0	-3.5	538.5	536.0	-2.5		

UKURAN	TEBAL PELAT									KETERANGAN
	7			10			15			
	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	
520X200	200.0	198.0	-2.0	200.0	198.5	-1.5	200.0	198.0	-2.0	 <p>Dev : Deviasi An : A nesting Aa : A aktual</p>
	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	
	200.0	198.5	-1.5	200.0	198.0	-2.0	200.0	198.0	-2.0	
	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	
	520.0	518.5	-1.5	520.0	518.0	-2.0	520.0	519.0	-1.0	
	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	
	520.0	518.5	-1.5	520.0	518.0	-2.0	520.0	519.0	-1.0	
	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	
	557.0	555.0	-2.0	557.0	553.5	-3.5	557.0	556.0	-1.0	
	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	
557.0	555.0	-2.0	557.0	555.0	-2.0	557.0	555.0	-2.0		

UKURAN	TEBAL PELAT									KETERANGAN
	7			10			15			
	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	
600X200	200.0	198.0	-2.0	200.0	197.0	-3.0	200.0	198.0	-2.0	 <p>Dev : Deviasi An : A nesting Aa : A aktual</p>
	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	
	200.0	197.0	-3.0	200.0	198.0	-2.0	200.0	198.0	-2.0	
	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	
	600.0	598.0	-2.0	600.0	598.5	-1.5	600.0	598.0	-2.0	
	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	
	600.0	599.0	-1.0	600.0	598.5	-1.5	600.0	599.0	-1.0	
	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	
	632.5	630.0	-2.5	632.5	630.0	-2.5	632.5	629.0	-3.5	
	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	
632.5	630.0	-2.5	632.5	630.0	-2.5	632.5	630.0	-2.5		

UKURAN	TEBAL PELAT									KETERANGAN
	7			10			15			
	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	
700X200	200.0	199.0	-1.0	200.0	199.0	-1.0	200.0	199.0	-1.0	 <p>Dev : Deviasi An : A nesting Aa : A aktual</p>
	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	
	200.0	197.0	-3.0	200.0	199.0	-1.0	200.0	197.0	-3.0	
	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	
	700.0	699.0	-1.0	700.0	698.0	-2.0	700.0	698.0	-2.0	
	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	
	700.0	698.5	-1.5	700.0	698.0	-2.0	700.0	699.0	-1.0	
	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	
	728.0	725.0	-3.0	728.0	725.0	-3.0	728.0	725.0	-3.0	
	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	
728.0	726.0	-2.0	728.0	726.0	-2.0	728.0	726.0	-2.0		

UKURAN	TEBAL PELAT									KETERANGAN
	7			10			15			
	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	An	Aa	Dev	
800X200	200.0	198.0	-2.0	200.0	197.0	-3.0	200.0	197.0	-3.0	 <p>Dev : Deviasi An : A nesting Aa : A aktual</p>
	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	Bn	Ba	Dev	
	200.0	198.0	-2.0	200.0	198.0	-2.0	200.0	200.0	0.0	
	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	Cn	Ca	Dev	
	800.0	799.0	-1.0	800.0	798.0	-2.0	800.0	798.5	-1.5	
	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	Dn	Da	Dev	
	800.0	798.0	-2.0	800.0	799.0	-1.0	800.0	799.0	-1.0	
	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	En	Ea	Dev	
	825.0	822.0	-3.0	825.0	822.0	-3.0	825.0	822.0	-3.0	
	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	Fn	Fa	Dev	
825.0	823.5	-1.5	825.0	822.0	-3.0	825.0	823.0	-2.0		

TABEL A.1
TABEL HASIL PENGUKURAN DIMENSI PERUBAHAN P/L

LAMPIRAN B : PETA KENDALI

Sample No.	Difference From Design Dimension (mm)				X	R
1	-1.5	-1.5	-2.0	-1.0	-1.5	1.0
2	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.5	1.0
3	-1.0	-2.0	-1.5	-1.5	-1.5	1.0
4	0.0	-2.0	-1.0	-1.0	-1.0	2.0
5	-1.5	-1.0	-2.0	-1.5	-1.5	1.0
6	-1.5	-1.0	-2.0	-1.0	-1.4	1.0
7	-2.0	-1.5	-1.5	-1.5	-1.6	0.5
8	-2.0	-3.0	-2.0	-1.0	-2.0	2.0
9	-1.0	-3.0	-1.0	-1.5	-1.6	2.0
10	-2.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.8	1.0
TOTAL =					-15.4	12.5

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \sum x/L \\ &= -1.54 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sum R/L \\ &= 1.25 \end{aligned}$$

Peta kendali \bar{x} rata-rata :

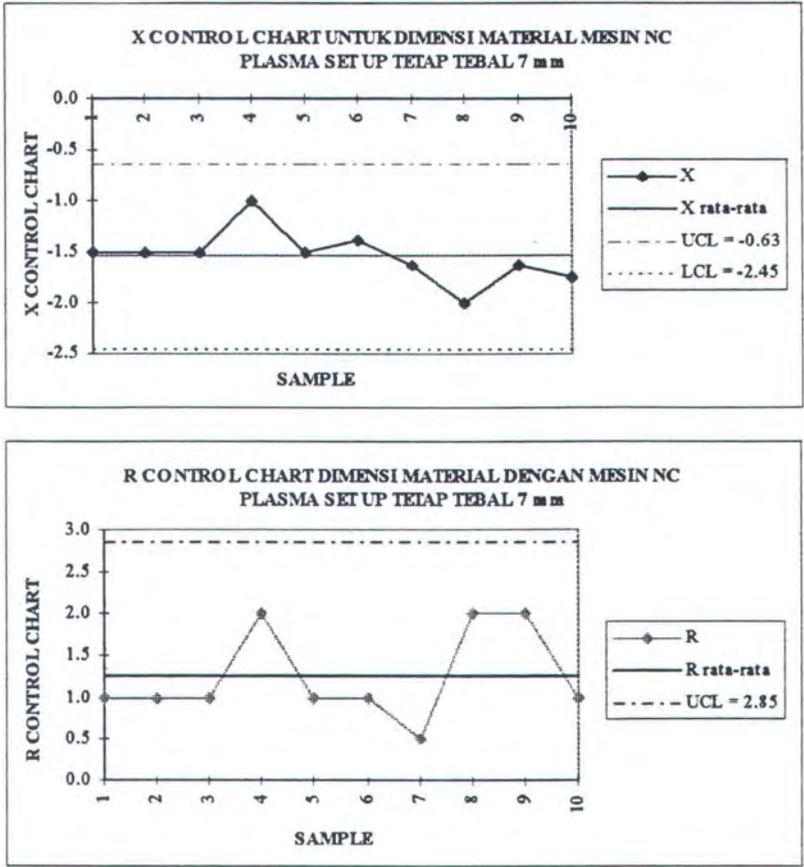
$$\begin{aligned} \text{Garis pusat CL} &= -1.54 \\ \text{Batas kendali atas UCL} &= \bar{x} + A_2R \\ &= (-1.54 + 0.729 \cdot 1.25) \\ &= -0.63 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas kendali bawah LCL} &= \bar{x} - A_2R \\ &= (-1.54 - 0.729 \cdot 1.25) \\ &= -2.45 \end{aligned}$$

Peta kendali R :

$$\begin{aligned} \text{Garis pusat CL} &= -1.54 \\ \text{Batas kendali atas UCL} &= D_4 \cdot R \\ &= (2.282 \cdot 1.25) \\ &= 2.85 \end{aligned}$$

$$\text{Batas kendali bawah LCL} = D_3 \cdot R \quad (\text{tidak ada})$$



GAMBAR B.1
PETA KENDALI SPESIMEN TEBAL 7 mm

Sample No.	Difference From Design Dimension (mm)				X	R
1	-2.0	-1.5	-1.0	-1.0	-1.4	1.0
2	-2.0	0.0	-2.0	-2.0	-1.5	2.0
3	-3.0	-1.0	-2.0	-1.5	-1.9	2.0
4	-2.5	-2.0	-2.0	-2.0	-2.1	0.5
5	-2.0	-3.0	-4.5	-2.0	-2.9	2.5
6	-3.0	-5.0	-2.0	-2.0	-3.0	3.0
7	-1.5	-2.0	-2.0	-2.0	-1.9	0.5
8	-3.0	-2.0	-1.5	-1.5	-2.0	1.5
9	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.5	1.0
10	-3.0	-2.0	-2.0	-1.0	-2.0	2.0
TOTAL =					-20.1	16.0

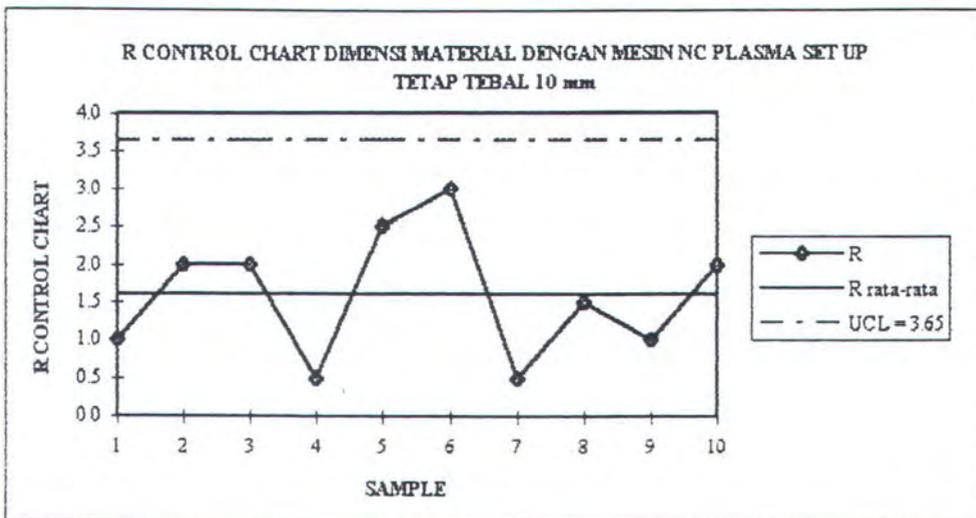
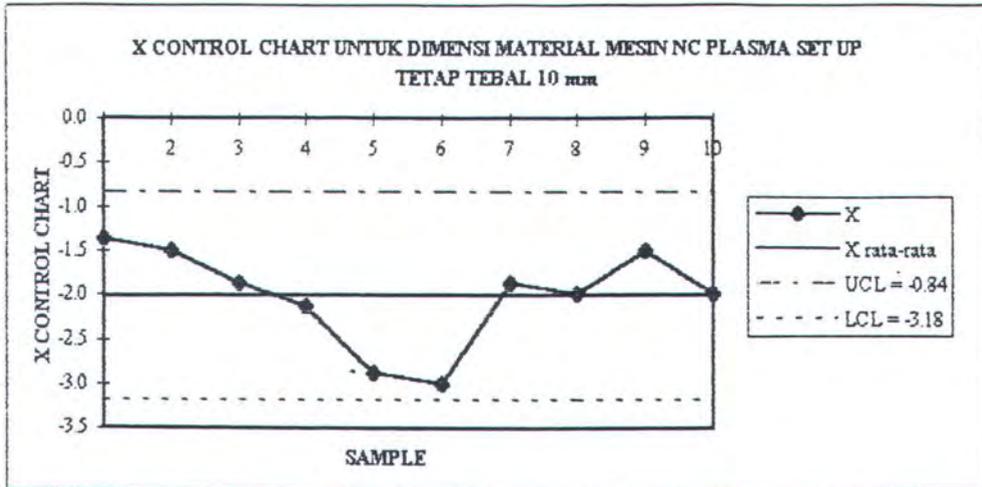
$$\begin{aligned}
 \bar{X} &= \frac{\sum x/L}{L} & R &= \frac{\sum R/L}{L} \\
 &= -2.01 & &= 1.60
 \end{aligned}$$

Peta kendali \bar{x} rata-rata :

$$\begin{aligned}
 \text{Garis pusat CL} &= -2.01 \\
 \text{Batas kendali atas UCL} &= \bar{x} + A_2R \\
 &= (-2.01 + 0.729 \cdot 1.6) \\
 &= -0.84 \\
 \\
 \text{Batas kendali bawah LCL} &= \bar{x} - A_2R \\
 &= (-2.01 - 0.729 \cdot 1.6) \\
 &= -3.18
 \end{aligned}$$

Peta kendali R :

$$\begin{aligned}
 \text{Garis pusat CL} &= -2.01 \\
 \text{Batas kendali atas UCL} &= D_4 \cdot R \\
 &= (2.282 \cdot 1.6) \\
 &= 3.65 \\
 \\
 \text{Batas kendali bawah LCL} &= D_3 \cdot R \quad (\text{tidak ada})
 \end{aligned}$$



GAMBAR B.2
PETA KENDALI SPESIMEN TEBAL 10 mm

Sample No.	Difference From Design Dimension (mm)				X	R
1	-1.5	-2.0	-1.5	-1.5	-1.6	0.5
2	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0	-1.8	1.0
3	-2.0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.8	1.0
4	-4.0	-6.0	-1.5	-1.5	-3.3	4.5
5	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.4	1.0
6	-2.0	-4.0	-2.0	-2.0	-2.5	2.0
7	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0	-1.5	1.0
8	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0	-1.8	1.0
9	-1.0	-3.0	-2.0	-1.0	-1.8	2.0
10	-3.0	0.0	-1.5	-1.0	-1.4	2.0
TOTAL =					-18.6	16.0

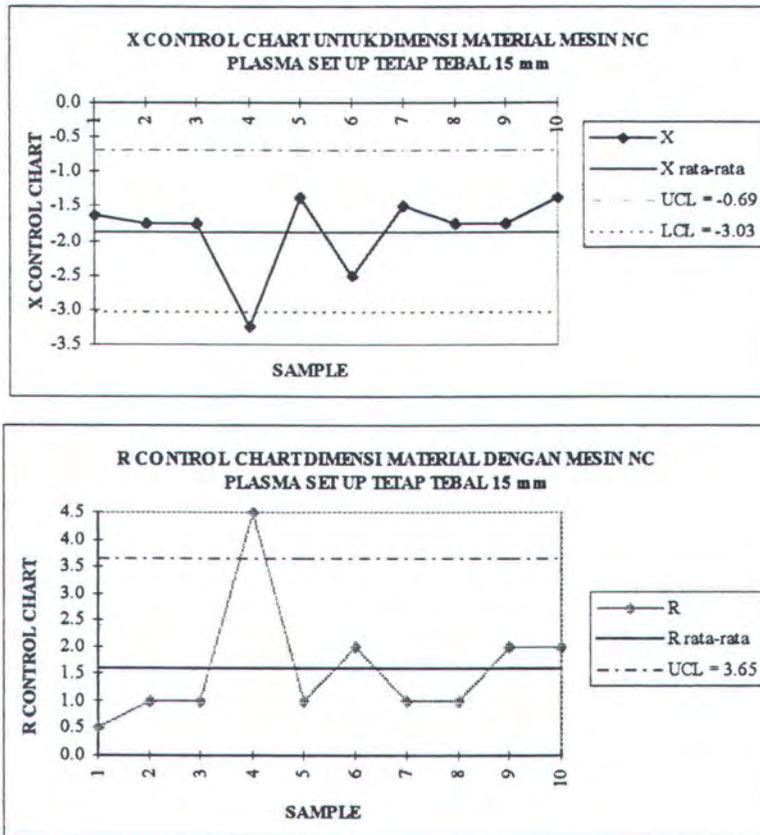
$$\begin{aligned}
 \bar{X} \text{ rata-rata} &= \frac{\sum x/L}{n} = \frac{-18.6}{10} = -1.86 \\
 R &= \frac{\sum R/L}{n} = \frac{16.0}{10} = 1.60
 \end{aligned}$$

Peta kendali \bar{x} rata-rata :

$$\begin{aligned}
 \text{Garis pusat CL} &= -1.86 \\
 \text{Batas kendali atas UCL} &= \bar{x} + A_2R \\
 &= (-1.86 + 0.729 \cdot 1.6) \\
 &= -0.69 \\
 \text{Batas kendali bawah LCL} &= \bar{x} - A_2R \\
 &= (-1.86 - 0.729 \cdot 1.6) \\
 &= -3.03
 \end{aligned}$$

Peta kendali R :

$$\begin{aligned}
 \text{Garis pusat CL} &= -1.86 \\
 \text{Batas kendali atas UCL} &= D_4 \cdot R \\
 &= (2.282 \cdot 1.6) \\
 &= 3.65 \\
 \text{Batas kendali bawah LCL} &= D_3 \cdot R \quad (\text{tidak ada})
 \end{aligned}$$

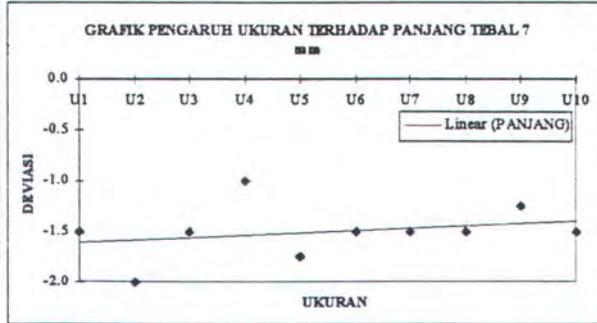


GAMBAR B.3
PETA KENDALI SPESIMEN TEBAL 15 mm

LAMPIRAN C : HUBUNGAN UKURAN DENGAN DEVIASI PANJANG

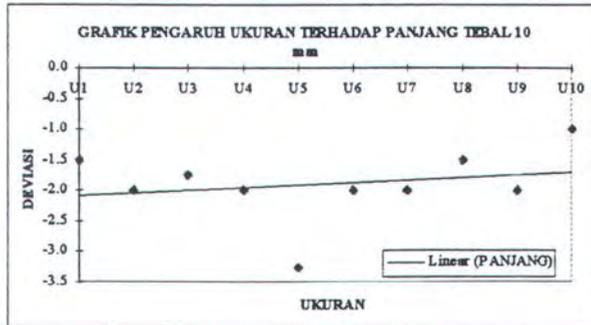
TEBAL PELAT 7 mm

UKURAN	PANJANG
U1	-1.5
U2	-2.0
U3	-1.5
U4	-1.0
U5	-1.8
U6	-1.5
U7	-1.5
U8	-1.5
U9	-1.3
U10	-1.5



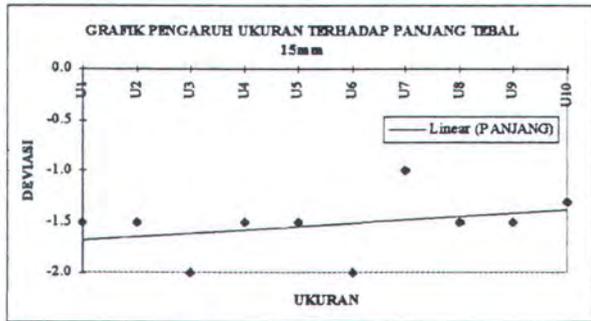
TEBAL PELAT 10 mm

UKURAN	PANJANG
U1	-1.5
U2	-2.0
U3	-1.8
U4	-2.0
U5	-3.3
U6	-2.0
U7	-2.0
U8	-1.5
U9	-2.0
U10	-1.0



TEBAL PELAT 15 mm

UKURAN	PANJANG
U1	-1.5
U2	-1.5
U3	-2.0
U4	-1.5
U5	-1.5
U6	-2.0
U7	-1.0
U8	-1.5
U9	-1.5
U10	-1.3

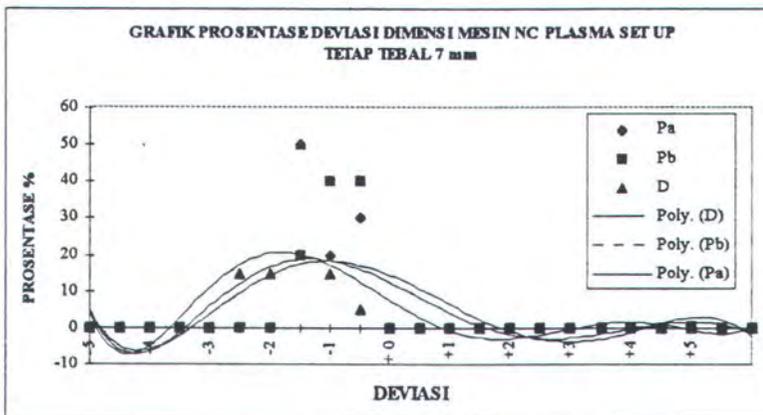


GAMBAR C.1

GRAFIK PENGARUH UKURAN TERHADAP DEVIASI PANJANG UNTUK
TEBAL PELAT 7, 10, DAN 15 mm

LAMPIRAN D : HUBUNGAN DIMENSI DENGAN PROSENTASE DEVIASI

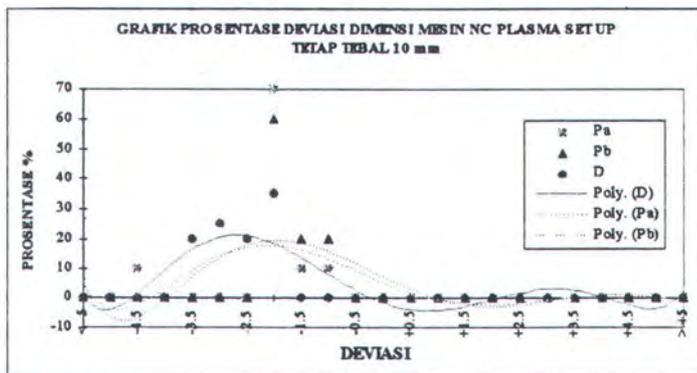
NO	DEVIASI	PANJANG ATAS		PANJANG BAWAH		DIAGONAL	
		JUMLAH	Pa	JUMLAH	Pb	JUMLAH	D
1	< -5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	-5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	-4.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
4	-4	0	0.00	0	0.00	0	0.00
5	-3.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
6	-3	0	0.00	0	0.00	3	15.00
7	-2.5	0	0.00	0	0.00	3	15.00
8	-2	5	50.00	2	20.00	10	50.00
9	-1.5	2	20.00	4	40.00	3	15.00
10	-1	3	30.00	4	40.00	1	5.00
11	-0.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
12	+0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
13	+0.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
14	+1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
15	+1.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
16	+2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
17	+2.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
18	+3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
19	+3.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
20	+4	0	0.00	0	0.00	0	0.00
21	+4.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
22	+5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
23	> +5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
TOTAL =		10	100.00	10	100.00	20	100.00



GAMBAR D.1

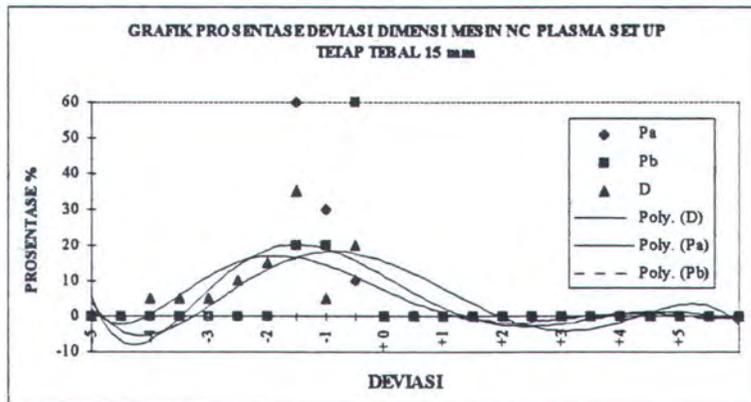
GRAFIK PROSENTASE DEVIASI DIMENSI SPESIMEN TEBAL 7 mm

NO	DEVIASI	PANJANG ATAS		PANJANG BAWAH		DIAGONAL	
		JUMLAH	Pa	JUMLAH	Pb	JUMLAH	D
1	< -5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	-5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	-4.5	1	10.00	0	0.00	0	0.00
4	-4	0	0.00	0	0.00	0	0.00
5	-3.5	0	0.00	0	0.00	4	20.00
6	-3	0	0.00	0	0.00	5	25.00
7	-2.5	0	0.00	0	0.00	4	20.00
8	-2	7	70.00	6	60.00	7	35.00
9	-1.5	1	10.00	2	20.00	0	0.00
10	-1	1	10.00	2	20.00	0	0.00
11	-0.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
12	+0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
13	+0.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
14	+1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
15	+1.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
16	+2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
17	+2.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
18	+3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
19	+3.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
20	+4	0	0.00	0	0.00	0	0.00
21	+4.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
22	+5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
23	> +5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
TOTAL =		10	100.00	10	100.00	20	100.00



GAMBAR D.2
GRAFIK PROSENTASE DEVIASI DIMENSI SPESIMEN TEBAL 10 mm

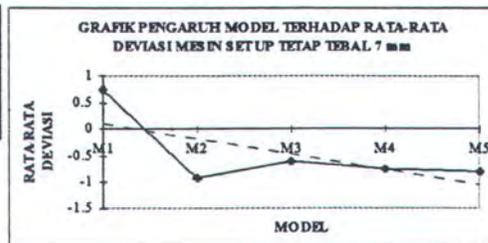
NO	DEVIASI	PANJANG ATAS		PANJANG BAWAH		DIAGONAL	
		JUMLAH	Pa	JUMLAH	Pb	JUMLAH	D
1	<-5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	-5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	-4.5	0	0.00	0	0.00	1	5.00
4	-4	0	0.00	0	0.00	1	5.00
5	-3.5	0	0.00	0	0.00	1	5.00
6	-3	0	0.00	0	0.00	2	10.00
7	-2.5	0	0.00	0	0.00	3	15.00
8	-2	6	60.00	2	20.00	7	35.00
9	-1.5	3	30.00	2	20.00	1	5.00
10	-1	1	10.00	6	60.00	4	20.00
11	-0.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
12	+0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
13	+0.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
14	+1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
15	+1.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
16	+2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
17	+2.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
18	+3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
19	+3.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
20	+4	0	0.00	0	0.00	0	0.00
21	+4.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
22	+5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
23	>+5	0	0.00	0	0.00	0	0.00
TOTAL =		10	100.00	10	100.00	20	100.00



GAMBAR D.3
GRAFIK PROSENTASE DEVIASI SPESIMEN TEBAL 15 mm

LAMPIRAN E : HUBUNGAN MODEL DENGAN DEVIASI

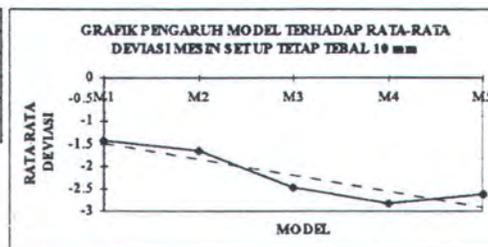
MODEL	RATA-RATA DEVIASI
M1	0.75
M2	-0.93
M3	-0.60
M4	-0.75
M5	-0.80



Keterangan :

- M1 = Model Lengkung
- M2 = Model Trapesium
- M3 = Model Bujur Sangkar
- M4 = Model Segi Tiga
- M5 = Model Lingkaran

MODEL	RATA-RATA DEVIASI
M1	-1.43
M2	-1.65
M3	-2.47
M4	-2.83
M5	-2.63



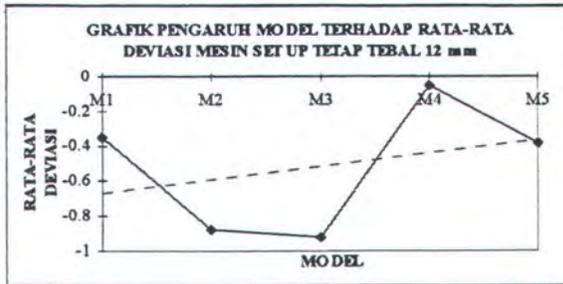
Keterangan :

- M1 = Model Lengkung
- M2 = Model Trapesium
- M3 = Model Bujur Sangkar
- M4 = Model Segi Tiga
- M5 = Model Lingkaran

GAMBAR E.1

GRAFIK PENGARUH MODEL TERHADAP RATA-RATA DEVIASI MESIN SETUP TETAP TEBAL 7 DAN 10 mm

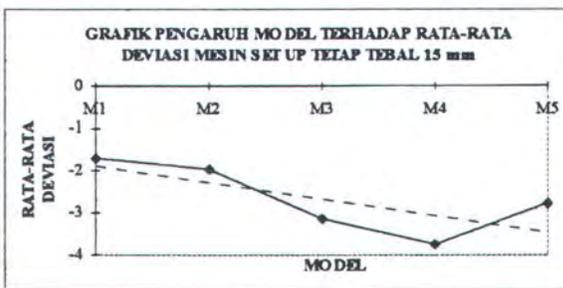
MODEL	RATA-RATA DEVIASI
M1	-0.35
M2	-0.88
M3	-0.92
M4	-0.05
M5	-0.38



Keterangan :

- M1 = Model Lengkung
- M2 = Model Trapesium
- M3 = Model Bujur Sangkar
- M4 = Model Segi Tiga
- M5 = Model Lingkaran

MODEL	RATA-RATA DEVIASI
M1	-1.73
M2	-1.95
M3	-3.13
M4	-3.75
M5	-2.78



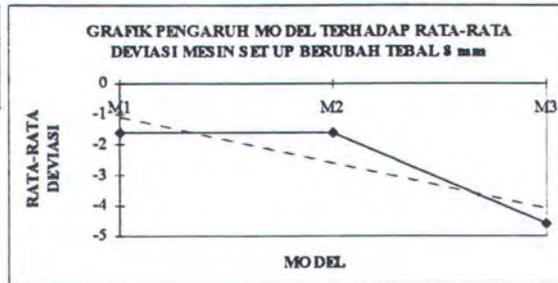
Keterangan :

- M1 = Model Lengkung
- M2 = Model Trapesium
- M3 = Model Bujur Sangkar
- M4 = Model Segi Tiga
- M5 = Model Lingkaran

GAMBAR E.2

GRAFIK PENGARUH MODEL TERHADAP DEVIASI MESIN SET UP TETAP TEBAL 12 DAN 15 mm

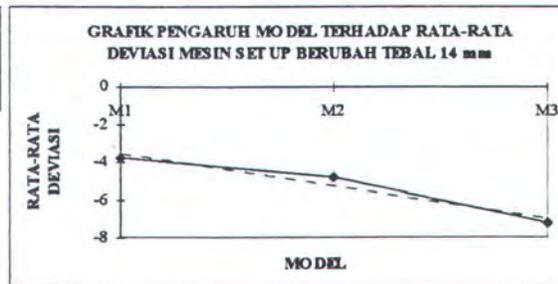
MODEL	RATA-RATA DEVIASI
M1	-1.58
M2	-1.58
M3	-4.58



Keterangan :

- M1 = Model Trapesium
- M2 = Model Bujur Sangkar
- M3 = Model Segi Tiga

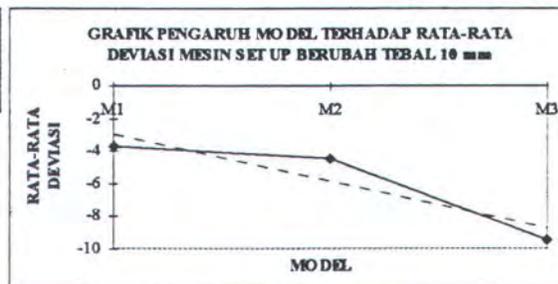
MODEL	RATA-RATA DEVIASI
M1	-3.75
M2	-4.81
M3	-7.21



Keterangan :

- M1 = Model Trapesium
- M2 = Model Bujur Sangkar
- M3 = Model Segi Tiga

MODEL	RATA-RATA DEVIASI
M1	-3.67
M2	-4.47
M3	-9.42



Keterangan :

- M1 = Model Trapesium
- M2 = Model Bujur Sangkar
- M3 = Model Segi Tiga

GAMBAR E.3

GRAFIK PENGARUH MODEL TERHADAP RATA-RATA DEVIASI MESIN SET UP BERUBAH TEBAL PELAT 8, 10 DAN 14 mm

LAMPIRAN F : TABEL HASIL PENGUKURAN DEFORMASI

NO. URUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KETERANGAN
1. RUT PL 7 PC	0.00	0.23	-0.11	0.24	0.81	0.94	0.74	0.52		
2. RUT PL 7 PC	0.00	0.05	-0.16	0.35	1.03	1.58	1.51	0.96		
3. RUT PL 7 PC	0.00	0.21	-0.05	0.10	0.43	0.18	0.04	0.21		
4. RUT PL 7 PC	0.00	0.88	1.31	0.26	0.99	1.32	0.00	0.80	1.23	
5. RUT PL 7 PC	0.00	1.09	1.88	0.39	1.25	1.77	0.10	1.07	1.65	
6. RUT PL 7 PC	0.00	0.41	0.50	0.27	0.57	0.60	0.09	0.38	0.49	
7. RUT PL 7 PC	0.00	1.03	1.77	0.30	1.26	1.83	0.13	1.18	1.79	
8. RUT PL 7 PC	0.00	1.48	2.56	0.29	1.58	2.62	0.04	1.47	2.48	
9. RUT PL 7 PC	0.00	0.15	-0.01	0.32	0.01	0.24	0.09	0.34	0.51	
10. RUT PL 7 PC	0.00	0.16	0.03	0.40	0.20	0.38	0.22	0.40	0.57	
11. RUT PL 7 PC	0.00	0.13	0.00	0.39	0.10	0.25	0.12	0.34	0.50	
12. RUT PL 7 PC	0.00	0.52	0.78	1.06	0.62	0.48	0.00	0.34	0.86	
13. RUT PL 7 PC	0.00	0.25	0.16	0.53	0.19	0.29	0.01	0.34	0.85	
14. RUT PL 7 PC	0.00	0.95	1.30	1.04	0.20	0.42	0.92			
15. RUT PL 7 PC	0.00	0.78	1.09	0.86	0.09	0.41	0.80			
16. RUT PL 7 PC	0.00	0.45	0.37	0.54	0.15	0.39	0.56			
17. RUT PL 7 PC	0.00	0.32	0.17	0.35	0.03	0.33	0.43			
18. RUT PL 7 PC	0.00	1.10	1.64	1.15	0.12	0.38	0.99			
19. RUT PL 7 PC	0.00	0.13	0.22	0.28	0.31	0.48	0.44	0.20	0.48	
20. RUT PL 7 PC	0.00	0.09	0.45	0.95	1.41	1.40	0.89	0.31	0.89	
21. RUT PL 7 PC	0.00	0.12	0.15	0.21	0.32	0.46	0.34	0.09	0.41	
22. RUT PL 7 PC	0.00	0.12	0.54	1.00	1.02	0.77	0.51	0.23	0.78	
23. RUT PL 7 PC	0.00	0.02	0.76	1.72	2.27	2.12	1.51	0.86	1.34	

TABEL F.1
 HASIL PENGUKURAN DEFORMASI MODEL MESIN SET UP TETAP TEBAL
 7 mm

NO. URUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KETERANGAN
1. RUT PL 10 PC	0.00	0.12	0.09	0.43	0.75	1.27	1.12	0.82		
2. RUT PL 10 PC	0.00	0.20	0.28	0.63	0.90	1.52	1.38	0.78		
3. RUT PL 10 PC	0.00	0.23	0.35	0.45	0.41	0.36	0.23	0.20		
4. RUT PL 10 PC	0.00	0.28	0.38	0.72	1.01	1.65	1.50	0.82		
5. RUT PL 10 PC	0.00	0.28	0.23	0.32	0.42	0.33	0.16	0.13		
6. RUT PL 10 PC	0.00	0.70	1.30	1.33	1.30	0.70	0.02	0.17	0.80	
7. RUT PL 10 PC	0.00	0.31	0.59	0.61	0.60	0.40	0.09	0.16	0.41	
8. RUT PL 10 PC	0.00	0.29	0.52	0.80	0.80	0.41	0.18	0.15	0.41	
9. RUT PL 10 PC	0.00	0.57	1.01	1.13	1.20	0.90	0.46	0.33	0.76	
10. RUT PL 10 PC	0.00	0.85	1.62	1.72	1.73	1.02	0.23	0.27	1.01	
11. RUT PL 10 PC	0.00	0.30	0.41	0.85	0.49	0.40	0.10	0.26	0.54	
12. RUT PL 10 PC	0.00	0.23	0.29	0.50	0.30	0.33	0.12	0.21	0.44	
13. RUT PL 10 PC	0.00	0.24	0.29	0.63	0.70	0.74	0.56	0.37	0.58	
14. RUT PL 10 PC	0.00	0.56	0.83	1.09	1.00	0.74	0.22	0.25	0.79	
15. RUT PL 10 PC	0.00	0.34	0.58	0.80	0.85	0.47	0.08	0.21	0.61	
16. RUT PL 10 PC	0.00	0.93	1.44	1.03	0.21	0.35	0.86			
17. RUT PL 10 PC	0.00	0.67	0.77	0.62	0.06	0.39	0.68			
18. RUT PL 10 PC	0.00	0.96	1.36	1.04	0.20	0.38	0.88			
19. RUT PL 10 PC	0.00	0.45	0.40	0.49	0.17	0.39	0.56			
20. RUT PL 10 PC	0.00	0.82	1.10	0.94	0.29	0.46	0.85			
21. RUT PL 10 PC	0.00	0.15	0.48	0.94	1.08	0.72	0.23	0.04	0.80	
22. RUT PL 10 PC	0.00	0.08	1.19	2.91	4.14	3.97	2.49	0.88	2.06	
23. RUT PL 10 PC	0.00	0.06	0.54	1.20	1.62	1.54	0.94	0.42	0.92	
24. RUT PL 10 PC	0.00	0.05	0.21	0.44	0.50	0.46	0.28	0.15	0.38	
25. RUT PL 10 PC	0.00	0.09	0.35	0.84	0.70	0.48	0.16	0.03	0.42	

TABEL F.2

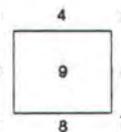
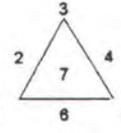
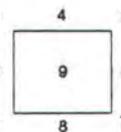
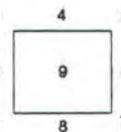
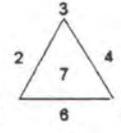
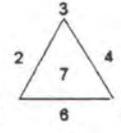
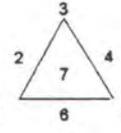
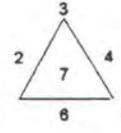
**HASIL PENGUKURAN DEFORMASI MODEL MESIN SET UP TETAP TEBAL
10 mm**

NO. URUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KETERANGAN
1. RUT PL 12 PC	0.00	0.07	-0.05	0.05	0.19	0.22	0.18	0.15		
2. RUT PL 12 PC	0.00	0.14	0.32	0.55	0.46	0.56	0.48	0.30		
3. RUT PL 12 PC	0.00	0.00	-0.13	0.32	0.86	1.66	1.69	0.93		
4. RUT PL 12 PC	0.00	-0.18	-0.14	0.36	0.74	1.67	1.70	0.91		
5. RUT PL 12 PC	0.00	-0.04	0.00	0.15	0.20	0.26	0.28	0.21		
6. RUT PL 12 PC	0.00	0.13	0.13	-0.18	-0.05	0.01	-0.30	-0.11	-0.07	
7. RUT PL 12 PC	0.00	0.11	0.00	-0.02	0.08	-0.03	0.13	0.14	0.00	
8. RUT PL 12 PC	0.00	0.06	0.01	0.04	0.08	0.03	-0.18	0.03	-0.04	
9. RUT PL 12 PC	0.00	0.81	1.53	0.11	0.88	1.58	0.21	0.95	1.62	
10. RUT PL 12 PC	0.00	0.63	1.07	0.24	0.80	1.18	0.77	0.76	1.17	
11. RUT PL 12 PC	0.00	0.39	0.66	0.83	0.71	0.38	-0.08	0.08	0.46	
12. RUT PL 12 PC	0.00	0.25	0.43	0.64	0.71	0.57	0.30	0.11	0.38	
13. RUT PL 12 PC	0.00	0.33	0.33	0.61	0.87	0.86	0.60	0.42	0.65	
14. RUT PL 12 PC	0.00	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04	-0.01	-0.14	-0.08	-0.03	
15. RUT PL 12 PC	0.00	-0.22	1.44	1.51	1.54	0.95	0.27	0.17	0.88	
16. RUT PL 12 PC	0.00	0.20	0.10	0.23	0.13	0.14	0.23			
17. RUT PL 12 PC	0.00	0.31	0.36	0.31	0.00	0.02	0.24			
18. RUT PL 12 PC	0.00	0.21	0.13	0.35	0.22	0.22	0.30			
19. RUT PL 12 PC	0.00	0.41	0.55	0.59	0.18	0.19	0.42			
20. RUT PL 12 PC	0.00	0.37	0.41	0.37	-0.01	0.15	0.38			
21. RUT PL 12 PC	0.00	0.15	0.91	0.92	1.61	1.50	1.68	0.63	1.39	
22. RUT PL 12 PC	0.00	-0.24	0.26	1.08	1.83	2.07	1.66	0.79	0.99	
23. RUT PL 12 PC	0.00	0.31	0.91	1.51	1.75	1.40	0.81	0.21	0.90	
24. RUT PL 12 PC	0.00	0.24	0.71	1.18	1.34	1.13	0.64	0.20	0.77	
25. RUT PL 12 PC	0.00	0.21	0.53	0.73	0.74	0.50	0.22	-0.04	0.37	

TABEL F.3
HASIL PENGUKURAN DEFORMASI MODEL MESIN SET UP TETAP TEBAL
12 mm

NO. URUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KETERANGAN
1. RUT PL 15 PC	0.00	0.13	0.05	0.22	0.45	0.45	0.30	0.27		
2. RUT PL 15 PC	0.00	0.21	0.14	0.38	0.68	0.85	0.76	0.50		
3. RUT PL 15 PC	0.00	0.10	0.05	0.12	0.32	0.23	0.17	0.21		
4. RUT PL 15 PC	0.00	-0.04	0.03	0.25	0.42	0.88	0.91	0.51		
5. RUT PL 15 PC	0.00	0.24	0.35	0.68	0.99	1.90	11.8	0.96		
6. RUT PL 15 PC	0.00	0.13	0.07	0.11	0.16	0.05	-0.08	0.05	0.00	
7. RUT PL 15 PC	0.00	0.07	-0.06	0.06	0.13	-0.01	-0.14	0.01	-0.04	
8. RUT PL 15 PC	0.00	0.72	1.32	0.23	0.90	1.48	0.23	1.02	1.56	
9. RUT PL 15 PC	0.00	0.14	0.13	-0.02	0.10	0.14	0.50	0.30	0.26	
10. RUT PL 15 PC	0.00	0.71	1.28	0.11	0.85	1.35	0.19	0.86	1.36	
11. RUT PL 15 PC	0.00	0.30	0.20	0.34	0.19	0.34	0.15	0.27	0.45	
12. RUT PL 15 PC	0.00	0.02	-0.11	-0.01	-0.22	-0.07	-0.09	0.08	0.11	
13. RUT PL 15 PC	0.00	0.20	0.14	0.35	0.42	0.40	0.09	0.10	0.36	
14. RUT PL 15 PC	0.00	0.26	0.25	0.15	0.22	0.15	-0.12	-0.12	0.12	
15. RUT PL 15 PC	0.00	-0.10	-0.12	0.01	-0.05	0.08	0.07	0.12	0.12	
16. RUT PL 15 PC	0.00	0.27	0.33	0.29	-0.03	0.20	0.28			
17. RUT PL 15 PC	0.00	0.19	0.15	0.32	0.17	0.17	0.24			
18. RUT PL 15 PC	0.00	0.36	0.53	1.13	1.20	0.75	0.80			
19. RUT PL 15 PC	0.00	0.37	0.55	0.53	0.30	0.06	0.26			
20. RUT PL 15 PC	0.00	0.75	1.28	0.82	0.16	0.11	0.60			
21. RUT PL 15 PC	0.00	0.13	0.22	0.28	0.31	0.48	0.44	0.20	0.48	
22. RUT PL 15 PC	0.00	0.09	0.45	0.95	1.41	1.40	0.89	0.31	0.89	
23. RUT PL 15 PC	0.00	0.12	0.15	0.21	0.32	0.46	0.34	0.09	0.41	
24. RUT PL 15 PC	0.00	0.12	0.54	1.00	1.02	0.77	0.51	0.23	0.78	
25. RUT PL 15 PC	0.00	0.02	0.76	1.72	2.27	2.12	1.51	0.66	1.34	

TABEL F.4
HASIL PENGUKURAN DEFORMASI MODEL MESIN SET UP TETAP TEBAL
15 mm

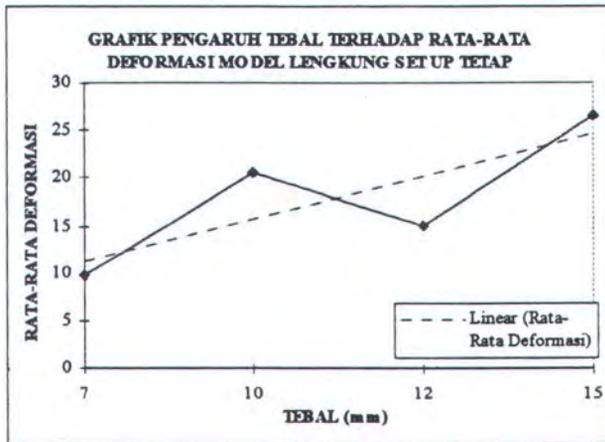
NO. URUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KETERANGAN
1.1 RUT PL 8 PC (I)	0.00	0.42	0.31	0.06	0.50	0.38	0.00	0.49	0.40	I 
1.2 RUT PL 8 PC (II)	0.00	0.27	0.06	0.24	0.28	0.34	-0.10	0.02	0.38	
1.3 RUT PL 8 PC (III)	0.00	0.43	0.22	0.48	-0.03	0.07	0.41			
1.1 RUT PL 10 PC (I)	0.00	0.13	0.14	0.06	0.17	0.18	0.02	0.13	0.15	II 
1.2 RUT PL 10 PC (II)	0.00	0.14	0.16	0.33	0.27	0.25	0.13	0.17	0.32	
1.3 RUT PL 10 PC (III)	0.00	0.22	0.22	0.34	0.37	0.34	0.32			
1.1 RUT PL 14 PC (I)	0.00	0.22	0.17	0.28	0.34	0.29	-0.07	0.12	0.09	III 
1.2 RUT PL 14 PC (II)	0.00	0.13	0.10	0.44	0.33	0.34	0.18	0.30	0.42	
1.3 RUT PL 14 PC (III)	0.00	0.06	-0.31	-0.15	-0.31	0.02	0.09			
2.1 RUT PL 8 PC (I)	0.00	0.18	0.01	0.04	0.28	0.05	-0.08	0.17	0.02	II 
2.2 RUT PL 8 PC (II)	0.00	0.22	0.04	0.12	0.08	0.28	0.03	0.08	0.30	
2.3 RUT PL 8 PC (III)	0.00	0.12	-0.25	0.02	-0.24	-0.04	0.09			
2.1 RUT PL 10 PC (I)	0.00	0.08	0.06	0.15	0.01	0.08	0.01	0.05	0.08	II 
2.2 RUT PL 10 PC (II)	0.00	0.10	0.10	0.22	0.18	0.20	0.13	0.14	0.21	
2.3 RUT PL 10 PC (III)	0.00	0.28	0.43	0.32	0.15	0.17	0.30			
2.1 RUT PL 14 PC (I)	0.00	0.17	0.10	0.14	0.24	0.19	0.11	0.28	0.25	III 
2.2 RUT PL 14 PC (II)	0.00	0.18	0.19	0.18	0.02	0.00	-0.15	-0.04	0.10	
2.3 RUT PL 14 PC (III)	0.00	0.40	0.28	0.44	-0.04	0.09	0.34			
3.1 RUT PL 8 PC (I)	0.00	0.42	0.38	-0.09	0.44	0.40	-0.11	0.36	0.43	III 
3.2 RUT PL 8 PC (II)	0.00	0.27	0.05	0.20	0.21	0.40	0.06	0.06	0.41	
3.3 RUT PL 8 PC (III)	0.00	0.25	-0.04	0.32	-0.01	-0.13	0.11			
3.1 RUT PL 10 PC (I)	0.00	0.12	0.10	0.42	0.31	0.20	0.41	0.33	0.17	III 
3.2 RUT PL 10 PC (II)	0.00	0.19	0.08	0.18	0.11	0.24	0.05	0.08	0.27	
3.3 RUT PL 10 PC (III)	0.00	-0.03	-0.32	-0.32	-0.46	-0.07	-0.07			
3.1 RUT PL 14 PC (I)	0.00	0.03	-0.06	0.00	0.06	0.06	-0.10	-0.05	0.02	III 
3.2 RUT PL 14 PC (II)	0.00	0.12	0.05	0.14	0.05	0.09	0.00	0.07	0.17	
3.3 RUT PL 14 PC (III)	0.00	0.06	-0.14	0.11	-0.13	0.12	0.24			

TABEL F.5
HASIL PENGUKURAN DEFORMASI MODEL MESIN SET UP BERUBAH

LAMPIRAN G : HUBUNGAN TEBAL MATERIAL DENGAN DEFORMASI

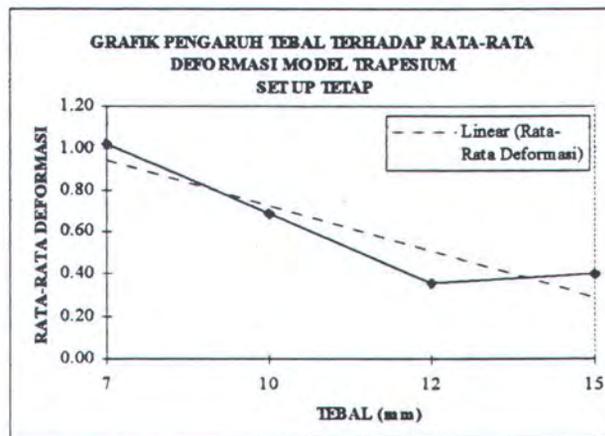
Model Lengkung

Tebal	Rata-Rata Deformasi
7	9.81
10	20.51
12	15.07
15	26.50



Model Trapesium

Tebal	Rata-Rata Deformasi
7	1.02
10	0.69
12	0.36
15	0.41

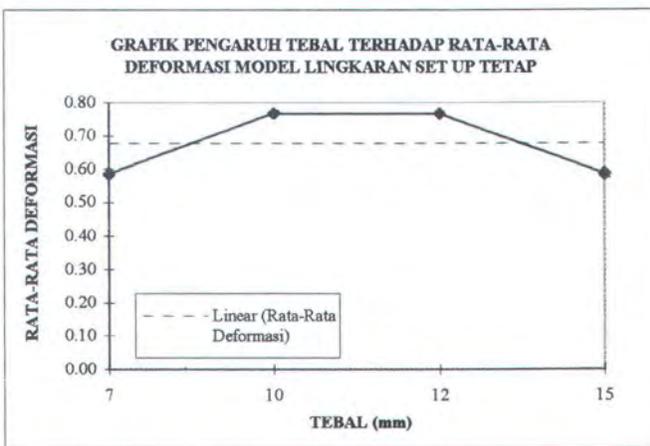


GAMBAR G.1

GRAFIK PENGARUH TEBAL TERHADAP DEFORMASI MODEL MESIN SET UP TETAP

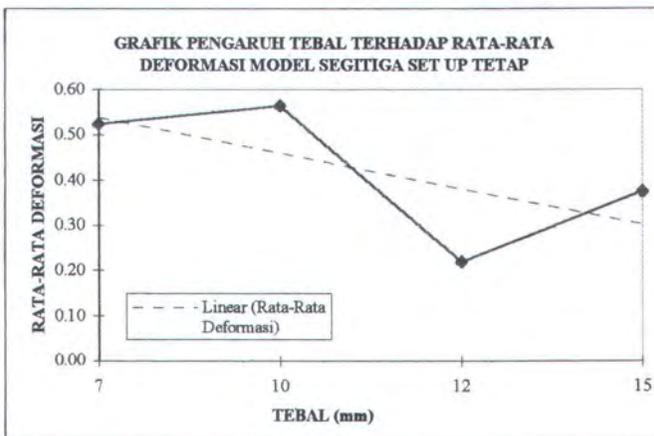
Model Lingkaran

Tebal	Rata-Rata Deformasi
7	0.59
10	0.77
12	0.77
15	0.59



Model Segitiga

Tebal	Rata-Rata Deformasi
7	0.52
10	0.56
12	0.22
15	0.38

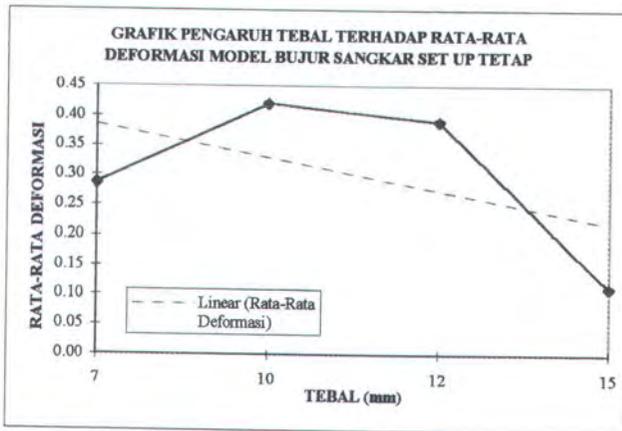


GAMBAR G.2

GRAFIK PENGARUH TEBAL TERHADAP DEFORMASI MODEL MESIN SET UP TETAP

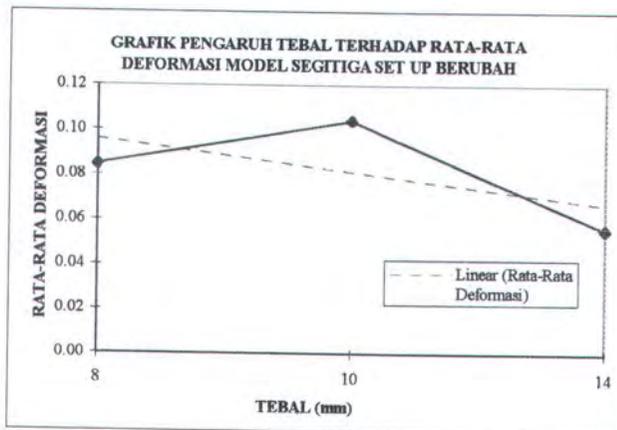
Model Bujur Sangkar

Tebal	Rata-Rata Deformasi
7	0.29
10	0.42
12	0.39
15	0.11



Model Segitiga

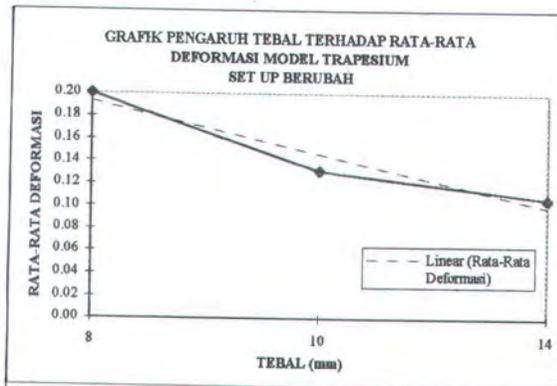
Tebal	Rata-Rata Deformasi
8	0.08
10	0.10
14	0.06



GAMBAR G.3
 GRAFIK PENGARUH TEBAL TERHADAP DEFORMASI MODEL MESIN SET UP BERUBAH

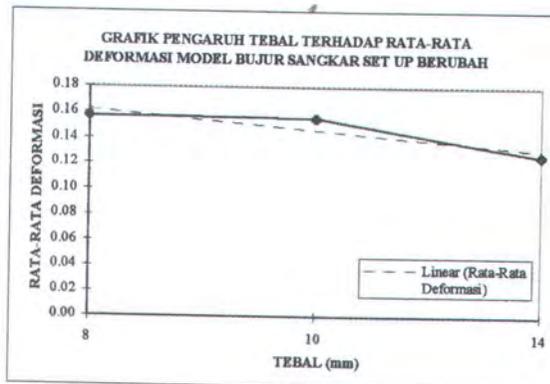
Model Trapesium

Tebal	Rata-Rata Deformasi
8	0.20
10	0.13
14	0.11



Model Bujur Sangkar

Tebal	Rata-Rata Deformasi
8	0.16
10	0.16
14	0.13



GAMBAR G.4
 GRAFIK PENGARUH TEBAL TERHADAP DEFORMASI MODEL MESIN SET UP BERUBAH



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

mahasiswa : Zanzan Fahruri
 : 4914100391
 diberikan : Semester Gasal 1995 . / 19 96 .
 mulai tugas : 21 September 1995
 selesai tugas : 01 Maret 1996
 Pembimbing : 1. Ir. Triwilaswandio, M.Sc
 : 2.

tanggal	Uraian Kemajuan Tugas	Tanda Tangan
95	- Diskusi mengenai pelaksanaan dan prosedur Pengujian Tarik, Impak, Tekuk & Pengukuran dimensi/deformasi	
95	- Pengumpulan Data hasil Pengujian & Pengukuran - Pengumpulan & pembuatan grafik Analisa data	
95	- Konsultasi masalah analisa grafik dan - Diskusi literatur (konsep Dasar yang digunakan)	
95	- Pembenahan Analisa grafik & data hasil - Konsultasi Penulisan skripsi .	
2 95	- Penyerahan Bab I & II - Diskusi tentang Struktur sifat Baja & AC	
96	- Penyerahan Bab III & IV - Diskusi tentang proses Pemotongan & Masalah Pemotongan di Lapangan	
96	- Konsultasi Bab V & VI tentang Analisa data & Pembahasan - Pembahasan kesimpulan	
96	- Penyerahan seluruh penulisan Tugas Akhir	