18.128/H603

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

TUGAS AKHIR
(KP 1701)

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS SAMBUNGAN DENGAN METODE RIVET DAN SPOT WELDING PADA BAJA SS41

RSPe
623.843 2
Fas
a-1
2002

OLEH :

MUCHAMAD FASICH

NRP. 4196 100 043

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2002

PERPUSTAKAAN ITS

Tgl. Terima	4-4-2003
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	216639

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS SAMBUNGAN DENGAN METODE RIVET DAN SPOT WELDING PADA BAJA SS41

TUGAS AKHIR

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

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing

Ir. Soeweify, M.Eng.	**Wing Hendro P.A.P, S.T., M.Eng.**
NIP. 130 368 597	**NIP. 132 133 972**

SURABAYA
2002

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Kampus ITS -Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5947254, 5994251-5 Pes. 1173 - 1176 Fax 5947254

SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR

No. : 893- a / K03.4.2/PP/2001

Nama Mahasiswa	: Muchamad Fasich
Nomor Pokok	: 4196100043
Tanggal diberi tugas	: 27 Agustus 2001
Tanggal selesai tugas	: 20 Januari 2002
Dosen Pembimbing	: 1. Ir. Soeweify, M.Eng
	2. Wing Hendro prasetyo Akbar Putra, ST, M.Eng

Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :

#ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS SAMBUNGAN DENGAN METODE RIVET DAN SPOT WELDING PADA BAJA SS-41#

Surabaya, 27 Agustus 2001

Jurusan Teknik Perkapalan
K e t u a,

Ir. Djauhar Manfaat, MSc., Ph.D.
NIP. 131 651 444.

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

ABSTRACT

The purpose of this research is to investigate base on the technical and economical aspects of rivet and spot welding joint.

A series of testing was conducted to analyze and compare those methods of joint. The specimens were fabricated based on ASTM E-466. Mode of loading is tension-to-tension. The economic aspect was determined based on cost and time of production.

A series of experiments showed that for specimens which have same diameter for both of those joint methods that is 8 mm, rivet method has higher fatigue strength at about 34% than spot welding. Spot welding joint which an average penetration diameter at about 3 mm has highest fatigue strength than another methode of joint. The specimens did not fail when were loaded with 57.58 N/mm^2 up to 125,009 cycle.

Based on time and cost of productions, spot welding joint method had less time about 96% and about 56.5% cheaper than rivet method

ABSTRAK

Tugas akhir ini meneliti segi teknis dan ekonomis sambungan dengan metode rivet dan spot welding akibat beban fatik.

Serangkaian percobaan dilakukan untuk menganalisa dan membandingkan metode sambungan tersebut. Spesimen yang digunakan mengikuti standard ASTM E-466 dengan mode tension-to-tension loading. Perhitungan ekonomis didasarkan pada besarnya jumlah biaya dan waktu produksi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk diameter sambungan yang sama pada kedua metode tersebut yaitu 8 mm, sambungan dengan metode rivet mempunyai kekuatan fatik 34% lebih tinggi dibandingkan sambungan spot welding. Hal ini disebabkan tingginya faktor konsentrasi tegangan sambungan spot welding sehingga menurunkan kekuatan fatik. Sambungan spot welding dengan diameter penembusan rata-rata 3 mm mempunyai kekuatan fatik tertinggi dibandingkan dengan metode sambungan yang lain, dimana pemberian tegangan sebesar 57.58 N/mm^2 hingga 125,009 cycle belum menyebabkan spesimen patah.

Berdasarkan waktu dan biaya produksi, sambungan spot welding lebih cepat 96% dan 56.5% lebih murah dibandingkan dengan metode rivet.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Allah SWT. Berkat rahmat dan pertolongan-Nya-lah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu prasyarat meraih gelar sarjana di jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS.

Laporan tugas akhir ini dibuat berdasarkan analisa hasil berbagai pengujian yang telah dilakukan di laboratorium Konstruksi Teknik perkapalan FTK, untuk membandingkan metode sambungan yang baik antara spot welding dengan rivet dan mendapatkan ukuran sambungan yang baik ditinjau dari kekuatan sambungan dan tinjauan ekonomis sambungan didasarkan pada biaya dan waktu yang diperlukan untuk produksi.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis telah berusaha semaksimal mungkin dan terselesaikannya penulisan tugas akhir ini tentu tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Bapak (Alm.)** dan **Ibu** tercinta yang telah memberikan dorongan baik moral maupun material dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak **Ir. Soeweify, M.Eng.** dan Bapak **Wing Hendroprasetyo A.P., ST, M.Eng.** sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak **Ir. Djauhar Manfaat, MSc, PhD.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.

4. Staff Lab. Kontruksi dan Kekuatan ITS, Bapak **Moerdjito**, Bapak **Yono** dan Bapak **Didik** yang telah memberikan ijin dan banyak membantu dalam proses pengujian.
5. Bapak **Usman** selaku kepala lab produksi Poltek Perkapalan ITS dan Mas **Fauzi** yang telah banyak membantu dalam pembuatan spesimen uji.
6. **PT. Mahakarya Nusabhakti** (Bpk. **Hendra**, Bpk. **Sigit**, Bpk **Sugeng** dan Sdr **Mulyono**) atas pengertian, waktu dan support yang diberikan.
7. Keluarga di Singosari, serta Kakak dan Adikku tercinta yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan demi terselesaikannya tugas akhir ini.
8. Semua **Crew P'36**, khususnya **Didik** '*Thewol*', **Yoko** '*Cing he*', **Uzhan** '*Smile Up*', **Nasir** '*ayam sayur*', **P@ Goeh**, **Darlian** dan **Yusni**, Arigatô Gozaimasu. And **Dear Hastin**, thank's for U'r support.
9. Dan semua pihak yang telah membantu yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Akhir kata, semoga segala sesuatu yang telah dihasilkan dalam tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penulis khususnya.

Surabaya, 31 Juli 2002

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRACT i

ABSTRAK ii

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI v

DAFTAR TABEL viii

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR GRAFIK xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang I - 1

1.2. Perumusan Masalah I - 4

1.3. Tujuan Penulisan I - 5

1.4. Manfaat Penelitian I - 6

1.5. Batasan Masalah I - 6

1.6. Metodologi Penelitian I - 6

BAB II PENGELASAN GMAW DAN METODE SAMBUNGAN RIVET

2.1 Pendahuluan II - 1

2.1.1. Pengertian Tegangan dan Regangan II - 1

2.1.2. Pembebanan Statis dan Pembebanan Dinamis II - 1

2.2 Baja Dalam Pengelasan II - 6

2.2.1. Baja SS-41 II - 7

2.2.2. Pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding) II - 9

2.2.3. Arc Spot Welding II - 16

2.3 Rivet dan Metode Rivetting II - 20

2.3.1 Tipe Rivet Kecil II - 21

2.3.2 Ukuran dan Jarak Rivet II - 23

2.3.3 Desain dan Pemasangan Rivet II - 25

2.3.4 Kekuatan Rivet dan Sambungan Rivet II – 26

BAB III KELELAHAN DAN KEPATAHAN

3.1. Metalurgi Las III - 1

3.1.1. Struktur Mikro dan Sifat Mekanis III - 1

3.1.2. Siklus Thermal Daerah Lasan III - 3

3.2. Fatigue Damage III - 6

3.2.1. Pendekatan Fracture Mechanics Pada Perancangan atau Analisa Struktur III - 6

3.2.2. Faktor Konsentrasi Tegangan Pada Sifat Kelelahan Sambungan III - 7

3.2.3. Pengaruh Bentuk Pada Kekuatan Kelelahan III - 9

3.3. Kegagalan Fatigue III - 10

3.3.1. Perkiraan Umur Kelelahan (Fatigue Life) III - 13

3.3.2. Ciri-Ciri Patah Lelah III - 14

3.3.3. Peningkatan Kekuatan Fatigue III - 16

BAB IV TINJAUAN EKONOMIS

4.1. Efesiensi Produksi IV - 1

4.2. Waktu Pengerjaan IV - 2

4.3. Biaya Pengerjaan IV - 3

4.4. Biaya Keseluruhan IV - 6

BAB V PELAKSANAAN PENGUJIAN

5.1. Pendahuluan V - 1

5.2. Metodologi Penelitian V - 1

5.3. Persiapan Pengujian V - 3

5.3.1. Pembuatan Spesimen V - 3

5.3.2. Proses Rivetting V - 3

5.3.3. Proses Spot Welding dengan Mesin Las GMAW V - 5

5.4. Pengujian V - 8

5.4.1. Pengujian Mekanik V - 8

5.4.1.1. Pengujian Tarik V - 8
5.4.1.2. Pengujian Kekerasan V - 12
5.4.1.3. Pengujian Fatigue V - 12
5.4.2. Pengujian Metallography V - 14

BAB VI ANALISA DATA HASIL PENGUJIAN

6.1. Hasil Pengujian Tarik VI - 1
6.2. Hasil Pengujian Kekerasan VI - 5
6.3. Pengujian Kelelahan VI - 6
6.3.1. Perhitungan Dan Analisa Konsentrasi Tegangan VI - 6
6.3.2. Hasil Pengujian Fatigue VI - 10

BAB VII PERHITUNGAN DAN ANALISA BIAYA EKONOMIS

7.1. Perhitungan Biaya Ekonomis VII - 1
7.2. Metode Pendekatan Dalam Perhitungan Biaya VII - 2
7.3. Perhitungan Biaya Pengelasan Spot Weld VII - 3
7.4. Perhitungan Biaya Untuk Pekerjaan Rivetting VII - 9
7.5. Analisa Hasil Perhitungan Ekonomis VII - 12

BAB VIII KESIMPULAN DAN SARAN

8.1. Kesimpulan VIII - 1
8.2. Saran VIII - 3

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Spesifikasi baja lunak (JIS)	II - 9
Tabel 2.2.	Spesifikasi komposisi kimia electrode gas metal arc welding	II - 15
Tabel 2.3.	Mechanical property weld wetal pada gas metal arc welding	II - 16
Tabel 2.4.	Pengelasan Spot Welding menggunakan GMAW	II - 19
Tabel 2.5.	Data rivet semi tubular	II - 23
Tabel 2.6.	Data rivet full-tubular dan split rivet	II - 23
Tabel 2.7.	Jarak rivet untuk berbagai tipe sambungan	II - 24
Tabel 2.8.	Komposisi kimia material rivets	II - 25
Tabel 5.1.	Data spesimen uji fatigue sambungan rivet	V - 5
Tabel 5.2.	Data spesimen uji fatigue sambungan spot welding	V - 8
Tabel 5.3.	Geometry spesimen uji tarik raw material	V - 9
Tabel 5.4.	Geometry spesimen uji tarik sambungan spot welding	V - 10
Tabel 5.5.	Geometry spesimen uji tarik sambungan rivet	V - 11
Tabel 5.6.	Data beban uji fatigue sambungan rivet	V - 13
Tabel 5.7.	Data beban uji fatigue sambungan spot welding variasi I	V - 13
Tabel 5.8.	Data beban uji fatigue sambungan spot welding variasi II	V - 14
Tabel 5.9.	Data beban uji fatigue sambungan spot welding variasi III	V - 14
Tabel 6.1.	Hasil uji tarik raw material	VI - 2
Tabel 6.2.	Hasil uji tarik untuk sambungan rivet	VI - 2
Tabel 6.3.	Hasil uji tarik sambungan spot welding variasi I	VI - 2
Tabel 6.4.	Hasil uji tarik sambungan spot welding variasi II	VI - 3
Tabel 6.5.	Hasil uji tarik sambungan spot welding variasi III	VI - 3
Tabel 6.6.	Hasil pengujian kekerasan Rockwell C	VI - 5
Tabel 6.7.	Faktor konsentrasi tegangan pada spesimen spot welding	VI - 7
Tabel 6.8.	Posisi terjadinya retak awal pada spesimen uji fatigue	VI - 10
Tabel 7.1.	Estimasi harga Consumable untuk beberapa proses pengelasan	VII - 3
Tabel 7.2.	Estimasi harga labor dan overhead	VII - 3
Tabel 7.3.	Berat deposit weld metal pad pengelasan spot welding	VII - 6

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Grafik pembebanan Statis	II - 2
Gambar 2.2.	Grafik pembebanan dinamis	II - 3
Gambar 2.3.	Mode pembebanan	II - 5
Gambar 2.4.	Skema Terjadinya Percikan dalam Las Busur Gas CO_2	II - 10
Gambar 2.5.	Mesin las MIG semi-otomatis	II - 12
Gambar 2.6.	Pemindahan sembur pada las MIG	II - 13
Gambar 2.7	Pengaruh perubahan arus terhadap ukuran dan frekuensi tetesan	II - 14
Gambar 2.8.	Hubungan antara arus kritis dengan diameter elektroda	II - 14
Gambar 2.9.	Pengaruh gas pelindung terhadap penetrasi	II - 15
Gambar 2.10.	Rivet dan terminology sambungan rivet	II - 21
Gambar 2.11.	Tipe small rivet	II - 21
Gambar 3.1.	Diagram CCT baja ASTM 4340	III - 1
Gambar 3.2.	Siklus thermal las pada beberapa jarak dari batas las	III - 4
Gambar 3.3.	Strukur mikro pada daerah pengaruh panas (HAZ)	III - 4
Gambar 3.4.	Perbandingan antara pendekatan fracture mechanics dan pendekatan bahan untuk perencanaan	III - 7
Gambar 3.5.	Retak sepanjang 2a pada pelat tak berhingga yang di bebani tegangan tarik	III - 7
Gambar 3.6.	Aliran gaya pada pelat dan konsentrasi tegangan	III - 8
Gambar 3.7.	Hubungan antara sudut kemiringan sisi manik las dengan kekuatan fatigue sambungan tumpul	III - 10
Gambar 3.8.	Bidang patah lelah pada pelat tipis	III - 16
Gambar 5.1.	Model spesimen yang dipersiapkan	V - 3
Gambar 5.2.	Jenis rivet semi tubular	V - 4
Gambar 5.3.	Hasil penyambungan pelat dengan rivet	V - 5
Gambar 5.4.	Hasil penyambungan pelat dengan spot welding	V - 7
Gambar 5.5.	Bentuk spesimen uji tarik raw material	V - 9
Gambar 5.6.	Bentuk spesimen uji tarik untuk pelat sambungan	V - 10

Gambar 5.7. Titik pengujian kekerasan V - 12
Gambar 5.8. Foto makro I spot welding joint variasi I (perbesaran 1,5 x) V - 16
Gambar 5.8. Foto makro II spot welding joint variasi I (perbesaran 1,5 x) V - 16
Gambar 6.1. Geometry sambungan las VI - 6
Gambar 6.2. Bentuk penampang hasil spot welding joint one side VI - 8
Gambar 6.3. Bentuk pembebanan sambungan rivet VI - 9
Gambar 6.4. Aliran gaya pada pelat sambungan las spot welding VI - 19
Gambar 7.1. Bentuk penampang deposit weld metal VII - 5

DAFTAR GRAFIK

Grafik 6.1. Grafik uji tarik pada spesimen spot welding joint variasi 1, 2 dan 3 VI - 4

Grafik 6.2. Grafik S-N sambungan spot welding variasi I (Ratio 0,05) VI - 12

Grafik 6.3 Grafik S-N sambungan spot welding variasi II (Ratio 0,05) VI - 13

Grafik 6.4. Grafik S-N sambungan spot welding variasi III (Ratio 0,05) VI - 14

Grafik 6.5. Grafik S-N sambungan rivet (Ratio 0,05) VI - 15

Grafik 6.6. Grafik S-N gabungan sambungan spot welding variasi I, 2 dan 3 serta sambungan rivet VI - 16

Bab I

Pendahuluan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Pada masa sekarang ini penggunaan logam khususnya baja dalam pembuatan struktur sudah sedemikian luas, sehingga hampir tidak ada bangunan yang tidak ditopang atau menggunakan komponen baja. Hal ini dapat kita lihat pada berbagai struktur yang ada pada saat sekarang ini seperti jembatan mobil, kereta api, kapal, bangunan lepas pantai dan sebagainya. Salah satu kenggulan penggunaan baja adalah kekuatannya sangat tinggi bila dibandingkan dengan material lain dengan dimensi yang sama.

Dengan semakin luasnya penggunaan baja maka makin banyak pula ditemukan permasalahan yang berkaitan dengan penggunaannya dalam struktur. Banyak studi yang telah dilakukan untuk mempelajari karakteristik logam ini dengan tujuan untuk memperluas pengguanaan baja dalam dunia teknik dan industri. Kenggulan dan kelemahan baja dipelajari sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam perancangan struktur.

Salah satu sifat baja yang penting adalah perilakunya terhadap beban yang diterapkan. Hubungan antara kekuatan material baja dengan beban merupakan faktor penting dalam perancangan struktur. Konsep utamanya adalah kekuatan material harus mampu menopang beban yang diterapkan sesuai dengan umur struktur yang direncanakan. Pada umumnya kekuatan material diukur dengan parameter kekuatan berdasarkan beban statis, sedangkan dalam pengoperasiannya

material struktur akan lebih cenderung untuk menerima beban dinamis, yaitu beban yang bekerja secara berulang-ulang.

Penerapan beban secara berulang-ulang akan menurunkan kekuatan bahkan dalam jumlah pengulangan yang besar akan menimbulkan kepatahan pada material, walaupun beban yang diterapkan lebih kecil dari kekuatan statis material tersebut. Fenomena ini yang disebut dengan *fatigue* atau kelelahan pada komponen struktur karena pembebanan secara berulang.

Kemajuan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dicapai saat ini umumnya merupakan pengembangan dari ilmu pengetahuan dan teknologi pada masa sebelumnya demikian halnya dengan teknologi pengujian terhadap kemampuan sambungan, dimana pada mulanya sambungan tidak terlalu membutuhkan berbagai macam analisa kekuatan, akan tetapi seiring dengan kemajuan jaman, untuk struktur yang membutuhkan kekuatan yang baik maka perlu diadakan pengujian pada struktur tersebut sebelum struktur tersebut dibangun.

Berbagai macam pengujian terhadap suatu struktur yang ada saat ini telah banyak berkembang, sebagai contoh adalah pengujian fatigue atau pengujian terhadap kelelahan suatu material. Pengujian fatigue perlu dipertimbangkan dalam merancang suatu struktur, karena kenyataan dilapangan membuktikan bahwa lebih dari 75 % kerusakan komponen suatu struktur disebabkan oleh adanya beban fatigue.

Kondisi seperti ini harus benar-benar diperhitungkan dalam perancangan struktur. Selain faktor beban berulang, bentuk dan geometri material juga mempunyai kontribusi yang besar pada kekuatan material. perubahan bentuk pada

material secara tiba-tiba akan menimbulkan konsentrasi tegangan, sehingga pada daerah tersebut akan timbul tegangan lokal yang harganya jauh lebih besar dari tegangan rata-rata yang bekerja. Tegangan lokal inilah yang memicu timbulnya keretakan pada komponen. Dengan adanya beban berulang keretakan tersebut akan menjalar dengan cepat sampai terjadi kepecahan pada komponen struktur tersebut.

Dalam proses pembuatan struktur baja, penyambungan antar komponen dapat dilakukan dengan teknik pengelasan atau dengan rivetting. Hampir semua struktur yang ada pada saat ini banyak menggunakan teknik pengelasan untuk penyambungan antar komponen material. Teknik ini dipilih karena mempunyai beberapa keuntungan, diantaranya adalah karena mempunyai kekuatan yang hampir sama dengan material yang disambung, pelaksanaannya relatif lebih mudah dan ekonomis. Namun demikian pengelasan juga mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya yang paling utama adalah timbulnya cacat yang menyebabkan konsentrasi tegangan pada daerah sambungan. Sedangkan untuk teknik penyambungan dengan rivetting sekarang sudah banyak ditinggalkan, hal ini disebabkan karena struktur akan menjadi lebih berat karena adanya penambahan material rivet dan waktu yang dibutuhkan untuk menyambung relatif lebih lama dibandingkan dengan pengelasan, akan tetapi tidak semua jenis sambungan pada suatu struktur dapat disambung dengan menggunakan teknik pengelasan. Penggunaan teknik sambungan rivet ini biasanya sering dijumpai pada konstruksi pesawat terbang, mobil dan kapal, dimana sambungan rivet biasanya hanya digunakan untuk struktur yang tidak memerlukan kekedapan terhadap air maupun udara yang tinggi.

MILIK PERPUS... ITS

Penggunaan metode sambungan rivet juga tidak akan lepas dari adanya faktor konsentrasi tegangan. Pada proses penyambungan dengan rivet akan menyebabkan kerusakan pada pelat dan akan meninggalkan tegangan sisa pada daerah disekitar lubang rivet. Pembuatan lubang rivet ini dapat dilakukan dengan cara mengebor pelat pada temperatur kamar yang disebut cold-work hole. Penelitian mengenai hubungan umur fatigue pada sambungan rivet dengan cara pembuatan lubang untuk instalasi rivet dengan cara cold-work ini telah dilakukan oleh Fatigue Technology Inc. dimana umur lelah sambungan rivet akan lebih lama jika proses pembuatan lubang rivet dilakukan dengan cara cold-worked. [Krasnowski & Jeddy, 2000].

Penelitian ini akan membandingkan tentang metode penyambungan baja SS-41, yaitu antara metode pengelasan dengan cara spot welding satu sisi dengan menggunakan mesin las busur gas CO_2 (MIG welding) dibandingkan dengan metode penyambungan dengan cara rivetting. Perbandingan antara kedua metode tersebut akan dilihat dari segi teknis dan ekonomisnya. Secara teknis metode sambungan tersebut akan di uji dengan menggunakan teknik pengujian fatigue untuk mengetahui kekuatan fatigue dan umur lelah dari kedua metode tersebut. Sedangkan secara ekonomis kedua metode tersebut akan dibandingkan, manakah yang lebih baik, efesien dan murah, dilihat dari proses produksinya.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Pada proses spot welding, penggunaan las Gas Metal Arc Welding (GMAW), pengetahuan tentang cara mengelas, elektrode dan gas pelindung yang digunakan merupakan salah satu prasyarat mutlak yang harus dimiliki oleh setiap

ahli las, begitu juga dengan proses rivetting dimana hal penting yang harus diketahui adalah tentang jenis dari rivet yang digunakan dan cara pemasangannya.

Pada proses rivetting, material akan mengalami proses pelubangan, hal ini akan menimbulkan adanya tegangan sisa pada daerah disekitar lubang rivet, sehingga dapat mempengaruhi kekuatan sambungan terhadap beban fatigue. Demikian pula dengan proses pengelasan spot welding, pada semua jenis pengelasan akan menimbulkan adanya konsentrasi tegangan disekitar daerah las, sehingga dapat mempengaruhi kekuatan sambungan jika sambungan tersebut mengalami beban fatigue.

Dari analisa diatas perlu adanya pembuktian secara teknis terhadap kekuatan sambungan, yaitu antara sambungan dengan metode rivet dan spot welding jika kedua metode sambungan tersebut diberikan beban secara berulang dan tinjauan dari segi ekonomisnya manakah dari kedua metode tersebut yang lebih efesien dilihat dari proses produksinya.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Dalam penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Membandingkan umur lelah dari metode sambungan deangan menggunakan rivet dan spot weld jika diberikan beban berulang
2. membandingkan metode sambungan rivet dan spot welding dari segi ekonomis

1.4. MANFAAT PENELITIAN

Hasil akhir dari penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat digunakan sebagai alternatif untuk memilih metode sambungan yang baik, dimana secara teknis telah dilakukan pengujian terhadap kekuatan fatigue material sambungan dan secara ekonomis telah dihitung efesiensi biayanya.

1.5. BATASAN MASALAH

Untuk memperjelas ruang lingkup permasalahan dan mengoptimalkan hasil dari pengujian, maka perlu diadakan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Metode pembebanan yang digunakan adalah Mode II (Shear Mode).
2. Pengelasan sambungan spot welding dilakukan dengan las GMAW.
3. Material yang digunakan adalah baja SS-41dengan tebal 1 mm.
4. Material rivet adalah baja diameter 3/16 inc jenis semitubular rivet.
5. Pengaruh suhu, bending akibat cacat bentuk diabaikan.
6. Tegangan sisa akibat pengerjaan material dan faktor konsentrasi tegangan akibat bentuk sambungan tidak dibahas secara rinci.
7. Beban dinamis dengan amplitudo konstan berbentuk sinusoidal dengan stress ratio 0,05
8. Frekuensi pembebanan 10 Hz.

1.6. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penyusun tugas akhir ini adalah :

1. Survey lapangan

Tahap ini adalah mencari data tentang bahan-bahan yang akan digunakan dalam tugas akhir ini dan data lain yang diperlukan.

2. Studi pustaka

   Metode ini digunakan untuk memberikan gambaran tentang teori-teori yang digunakan dalam percobaan, penyebab terjadinya kegagalan fatigue dan aspek teknis dan ekonomis dari material.

3. Eksperimen laboratorium

   a. Pembuatan spesimen

   b. Pelaksanaan pengujian

4. Analisa hasil pengujian

   Data yang disajikan dalam bentuk mentah dari uji spesimen seperti gambar dan data numerik dari peralatan pengujian akan di analisa setelah data-data tersebut dideskripsikan dalam bentuk kurva pendekatan.

Bab II

Pengelasan GMAW dan Metode Sambungan Rivet

BAB II

PENGELASAN GMAW

DAN METODE SAMBUNGAN RIVET

2.1 PENDAHULUAN

2.1.1 Pengertian Tegangan Dan Regangan

Suatu benda yang mendapat beban (gaya) akan berada dalam keadaan yang setimbang sesuai dengan prinsip kesetimbangan. Jika dibuat free body diagramnya maka akan terlihat bahwa gaya-gaya luar yang terpakai pada sebuah sisi potongan tertentu akan diimbangi oleh gaya-gaya dalam yang terbentuk dalam potongan tersebut atau secara singkatnya gaya-gaya luar akan diimbangi oleh gaya-gaya dalam.

Gaya-gaya dalam ini perlu diketahui intensitasnya, karena gaya-gaya inilah yang akan memberi perlawanan terhadap terjadinya deformasi pada benda akibat gaya-gaya luar yang bekerja. Jadi intensitasnya inilah yang menentukan kemampuan dari bahan dalam menahan gaya atau beban yang bekerja. Intensitas ini disebut dengan Tegangan atau stress (σ) yang besarnya digambarkan sebagai intensitas gaya per unit area, dapat dituliskan : $\sigma = \frac{P}{A}$ (N/m^2)

Akibat gaya atau beban yang bekerja, sebagai contoh pada pengujian tarik, benda mengalami deformasi yaitu berupa perubahan dimensi persatuan panjang. Hal ini disebut dengan regangan atau strain (ε). Jika misalnya perubahan panjang

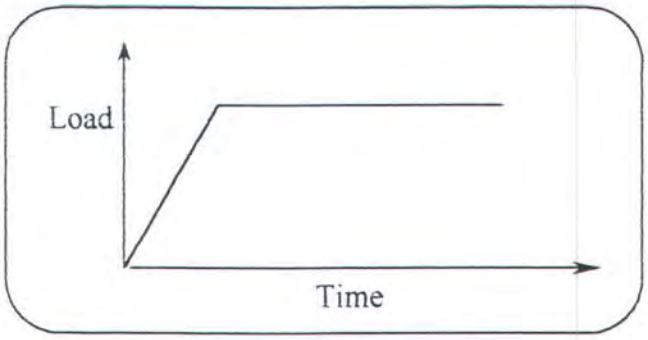
dilambangkan dengan ΔL, panjang awal dilambangkan L maka persamaan regangan adalah : $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$

2.1.2 Pembebanan Statis Dan Pembebanan Dinamis

Suatu struktur direncanakan untuk dapat menahan beban yang bekerja padanya dan diharapkan tidak terjadi suatu kegagalan. Pembebanan dapat dihubungkan sebagai fungsi waktu dan dikelompokkan menjadi :

- **Pembebanan Statis**

  Pembebanan statis adalah pembebanan yang besarnya tetap tanpa ada perulangan dalam siklus waktunya. Beban yang bekerja mencapai suatu harga tertentu dan kemudian harga tersebut dipertahankan sampai beberapa waktu tertentu.

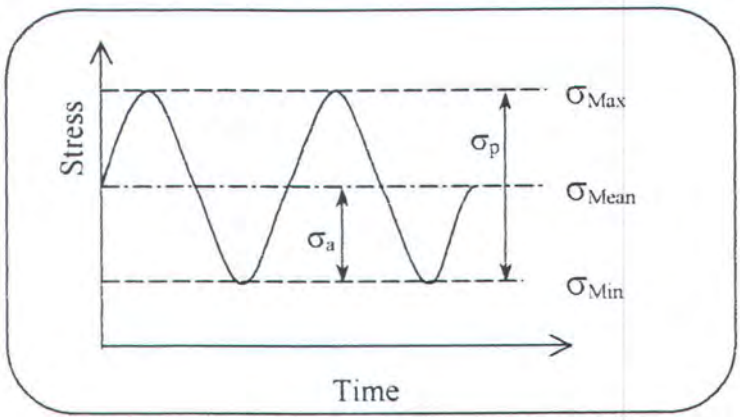


Gambar 2.1. Grafik Pembebanan Statis

- **Pembebanan dinamis**

  Pembebanan dinamis adalah pembebanan yang dilakukan secara berulang-ulang dimana sebagian atau seluruhnya terulang sebagai fungsi waktu (t).

MILIK PERPUS... ITS



Gambar 2.2. Grafik Pembebanan Dinamis

Pada gambar 2.2 diatas memperlihatkan siklus pembebanan dinamis. Sumbu X menunjukkan fungsi waktu dan sumbu Y menunjukkan stress atau tegangan. Dalam grafik terdapat beberapa istilah dan parameter yang perlu diketahui, yaitu :

- Tegangan maksimum (σ_{max}) adalah tegangan yang mempunyai harga tertinggi dalam suatu siklus beban.
- Tegangan minimum (σ_{min}) adalah tegangan yang mempunyai harga terendah dalam suatu siklus beban.
- Tegangan rata-rata (σ_m) adalah setengan dari penjumlahan tegangan maksimum dan tegangan minimum.
- Amplitudo tegangan adalah setengah dari selisih tegangan maksimum dan tegangan minimum.
- Jumlah siklus pembebanan, dilambangkan dengan N. Dalam grafik biasanya digambarkan dalam bentuk log sehingga membentuk garis lurus.

- Laju pengulangan beban adalah banyaknya pembebanan yang terjadi dalam satu kurun waktu., dinyatakan perdetik atau disebut dengan frekuensi.
- Rasio beban atau stress ratio (R) yaitu perbandingan antara tegangan minimum dan tegangan maksimum dalam suatu siklus pembebanan.

Rasio tegangan (Stress ratio) : $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$

Dimana σ_{min} = tegangan yang paling rendah

σ_{max} = tegangan yang paling tinggi

Rasio amplitudo (amplitudo ratio) : $A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m}$

Dimana σ_a = tegangan variabel = $\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$

σ_m = tegangan rata-rata = $\frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$

Seperti telah disebutkan dimuka, bahwa dalam suatu siklus pembebanan berulang harga perbandingan antara tegangan minimum dan tegangan maksimum yang bekerja disebut dengan perbandingan siklus atau stress ratio yang dilambangkan dengan R. Berdasarkan harga R dan tegangan rata-rata pembebanan dengan amplitudo konstan dapat dibedakan dalam beberapa jenis, yaitu :

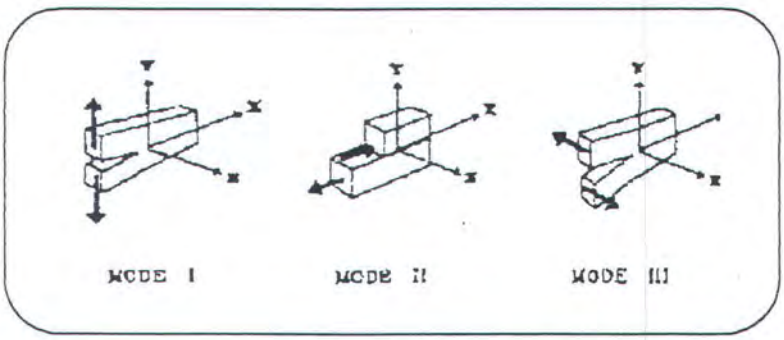
1. Tegangan diatas sumbu nol. Hal demikian menunjukkan bahwa harga tegangan minimum dan tegangan maksimumnya adalah positif atau disebut juga tegangan tarik. Pembebanan jenis ini merupakan pembebanan tarik yang bekerja membesar dan mengecil dan berulang-ulang atau juga disebut dengan

tension to tension loading. Tegangan jenis inilah yang nanti dipakai dalam pelaksanaan pengujian fatigue.

2. Tegangan melewati atau memotong sumbu nol. Pada pembebanan jenis ini tegangan minimum yang bekerja adalah tegangan tekan atau tegangan negatif. Sedangkan tegangan maksimumnya adalah tegangan tarik atau tegangan positif.
3. Tegangan dibawah sumbu nol. Pembebanan seperti ini menunjukkan bahwa tegangan maksimum dan tegangan minimum adalah tegangan negatif atau tegangan tekan.

Dalam suatu pembebanan terdapat mode pembebanan untuk dapat menganalisa penjalaran retak yang mungkin terjadi. Mode pembebanan ini dibagi menjadi :

1. Mode pembebanan I (Opening Mode)
2. Mode pembebanan II (Shear Mode)
3. Mode pembebanan III (tearing Mode)



Gambar 2.3. Mode Pembebanan

Dari ketiga mode pembebanan tersebut, mode pembebanan I (opening mode) adalah mode yang paling berpengaruh secara teknis terhadap kekuatan struktur, dimana arah pembebanannya tegak lurus bidang retak. Pada pengujian

yang dilakukan ini, mode pembebanan yang terjadi adalah jenis mode pembebanan II atau shear mode.

2.2 BAJA DALAM PENGELASAN

Pada logam yang mengalami pengelasan dapat menimbulkan adanya konsentrasi tegangan, biasanya tegangan akan terpusat pada daerah HAZ. Spesimen untuk penelitian ini terdapat adanya konsesntrasi tegangan, baik untuk sambungan dengan menggunakan pengelasan MIG ataupun sambungan dengan rivet. Konsentrasi tegangan pada sambungan rivet akan terletak pada daerah sekitar lubang rivet, dimana daerah ini sangat kritis dalam menerima beban fatigue, terutama untuk jumlah siklus tegangan yang tinggi. Sedangkan untuk spesimen yang menggunakan pengelasan MIG atau GMAW daerah konsentrasi tegangan terdapat pada daerah antara HAZ to weld metal, dimana untuk pengelasan dengan menggunakan MIG welding ini menghasilkan panas yang tinggi sehingga daerah pengaruh panas juga akan semakin lebar. Penjelasan tentang pengelasan MIG atau gas metal arc dan metode rivet akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

Beberapa alasan mengapa dalam setiap pengelasan perlu adanya pemeriksaan dan pengujian, yaitu :

1. Pada proses pengelasan selalu terjadi cacat, baik cacat metalurgi ataupun cacat dimensional.
2. Hasil dari pengelasan selalu tergantung dari empat faktor, yaitu : manusia, mesin, material dan metode.
3. Pada setiap pengelasan selalu terjadi faktor konsentrasi tegangan.

4. Daerah HAZ selalu terjadi dalam setiap proses pengelasan.

Besarnya tegangan lokal yang bekerja disekitar daerah konsentrasi tegangan dinyatakan dengan perkalian antara tegangan yang dihitung, seandainya tidak ada takikan dengan faktor pemusatan tegangan (K_t). Harga K_t ini dapat diperoleh dari perhitungan ataupun dengan eksperimen.

Pengaruh adanya takikan terhadap karakteristik kelelahan dinyatakan dengan faktor takikan terhadap kelelahan (fatigue notch factor) K_f :

$$K_f = \frac{\text{kekuatan lelah pada spesimen tanpa takikan}}{\text{kekuatan lelah pada spesimen dengan takikan}}$$

Harga kekuatan lelah pada kedua jenis spesimen tersebut diatas diambil pada jumlah siklus yang sama.

Pada tingkat tegangan yang rendah dan jumlah siklus yang tinggi, banyak logam yang menunjukkan kepekaannya terhadap takikan. Di lain pihak, pada tegangan yang tinggi dan jumlah siklus yang rendah, justru logam yang ulet tidak peka terhadap takikan. Tegangan lokal yang tinggi akan menyebabkan terjadinya deformasi plastis setempat, sehingga tegangan yang bekerja menjadi lebih rendah daripada kalau hanya didaerah elastis (seperti halnya pada perhitungan harga K_t).

2.2.1 Baja SS-41

Baja (steel) adalah suatu produk besi yang mengandung kadar karbon sekitar 1,7 % besi murni *(ferrit)* tidak mengandung karbon sehingga bersifat relatif lunak, liat mampu tempa akan tetapi tidak kuat.hampir semua besi murni mempunyai kekuatan tarik batas sekitar 40.000 psi. penambahan karbon dalam besi murni menghasilkan baja yang secara teknis disebut dengan baja karbon.

Selain besi sebagai komponen utama dan karbon sebagai unsur kedua, didalam baja karbon terdapat unsur Mn, P, S dan Cu.

Namun demikian untuk memperbaiki sifat baja yang terbentuk seringkali dimasukkan beberapa unsur tambahan yang tidak dimiliki oleh baja karbon seperti Ni, Cr, Mo dan sebagainya. Produk baja jenis ini disebut baja paduan *(alloy steel)*.

Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon didalamnya, secara umum semakin tinggi kandungan karbon akan menimbulkan :

1. Penambahan kekuatan kekerasan.
2. Penurunan elastisitas *(ductility)*.
3. Penurunan sifat mampu las.
4. Penurunan konduktivitas dan ketahanan terhadap korosi.

Baja SS-41 tergolong dalam baja mild steel. Baja ini mempunyai sifat yang kuat dan keras tapi mempunyai sifat mampu las yang rendah. Pengelasan akan membentuk hasil yang baik jika menggunakan prosedur yang benar, sebab jika tidak akan mudah terjadi keretakan. Pemilihan baja SS-41 ini sebagai material pada penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk mendapatkan karakteristik material yang elastisitasnya rendah. Sifat ini dibutuhkan untuk menganalisa penurunan kekuatan terhadap beban berulang pada suatu daerah yang mengalami diskontinuitas dan terjadi konsentrasi tegangan. Disamping itu baja SS-41 paling banyak terdapat dipasaran, juga banyak dipakai dalam struktur konstruksi kapal.

Tabel 2.1. Spesifikasi Baja Lunak (JIS) [Wiryosumarto, 1996]

Standart	Jenis	Tebal Pelat t (mm)	Komposisi kimia (%)					Kekuatan luluh (kg/mm²)	Kekuatan tarik (kg/mm²)	Perpanjangan (%)
			C	Si	Mn	P	S			
Baja rol panas untuk konstruksi umum G 3101 - 1976	SS34	t ≤ 5	-	-	-	≤ 0.05	≤ 0.05	≥ 21	34-44	≥ 26****
		5 < t ≤ 16				"	"	"		≥ 21*
		16 < t ≤ 140				"	"	≥ 20		≥ 26**
		40 < t				"	"	≥ 18		≥ 28***
	SS41	t ≤ 5	-	-	-	≤0.05	≤ 0.05	≥ 25	41-52	≥ 21****
		5 < t ≤ 16				"	"	"		≥ 17**
		16 < t ≤ 140				"	"	≥ 24		≥ 21**
		40 < t				"	"	≥ 22		≥ 23***
	SS50	t ≤ 5	-	-	-	≤ 0.05	≤ 0.05	> 29	50-62	≥ 19****
		5 < t ≤ 16				"	"	"		≥ 15**
		16 < t ≤ 140				"	"	> 28		≥ 19**
		40 < t				"	"	> 26		≥ 21***
	SS55	t ≤ 5	≤ 0.30	-	≤ 1.60	≤ 0.04	≤ 0.04	≥ 41	≥ 50	≤ 16****
		5 < t ≤ 16				"	"	"		≥ 13**
		16 < t ≤ 140				"	"	≥ 40		≥ 27*
		40 < t				"	"			

Catatan : * Batang uji no.1
** Batang uji no. 1A
*** Batang uji no. 4
**** Batang uji no. 5

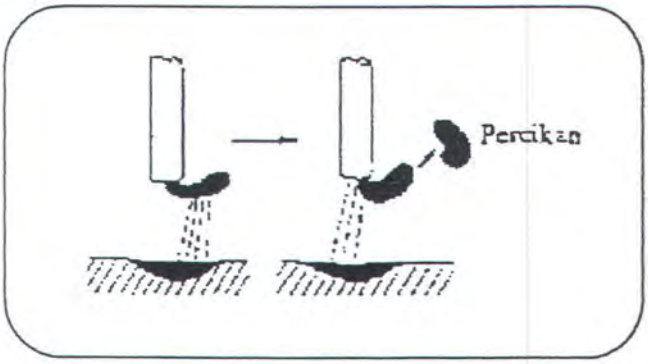
2.2.2 Pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding)

Sama dengan TIG welding, pengelasan modern lain dikenal dengan Metal Inert Gas (MIG) atau Gas Metal Arc Welding (GMAW). Prosesnya secara umum sama dengan MIG welding. Selama MIG welding, logam las dibuat oleh adanya busur listrik antara baja yang dilas dengan elektrode. Pada pengelasan TIG welding elektrodenya tidak consumable, inilah yang membedakan antara TIG dan Gas Metal Arc Welding. [Kennedy, G.A., 1980]

Gas Metal Arc Welding dibagi menjadi 4 kelompok berdasarkan gas pelindung yang digunakan dan/ atau bagaimana logam las ditransferkan, yaitu :

1. Microwire GMAW.
2. MIG-GMAW.
3. Spray-Arc GMAW
4. Carbon Dioxide GMAW.

Dalam penelitian ini jenis pengelasan yang digunakan adalah GMAW dengan gas pelindung CO_2. Tipe GMAW ini menghasilkan high-speed welds selama menggunakan gas pelindung karbon dioksida atau campuran dari gas-gas dimana CO_2 sebagai komponen utamanya. Salah satu faktor dipilihnya gas pelindung CO_2 adalah karena CO_2 merupakan oksidator, dimana cara ini banyak digunakan untuk mengelas konstruksi baja karbon dan alloy steel. Biaya operasi dengan gas CO_2 lebih murah dari pada dengan gas Argon. Hal ini disebabkan karena perbedaan harga dari kedua gas tersebut. Dalam hal penggunaan gas CO_2 sebagai pelindung, pemindahan logam yang cair tetap melekat pada ujung elektroda sampai membentuk bola yang cukup besar atau dengan kata lain cara pentransferan deposit metalnya adalah globular transfer. Karena busurnya yang kurang mantap, maka pada pengelasan ini terjadi lebih banyak percikan. Terjadinya percikan ini dapat dilihat pada gambar 2.4. yaitu karena butir cairan didorong kembali oleh gaya busur yang bekerjanya berlawanan dengan arah busur. Percikan ini dapat dikurangi dengan memperpendek panjang busur, sehingga ujung elektroda seperti tenggelam dalam logam yang mencair.



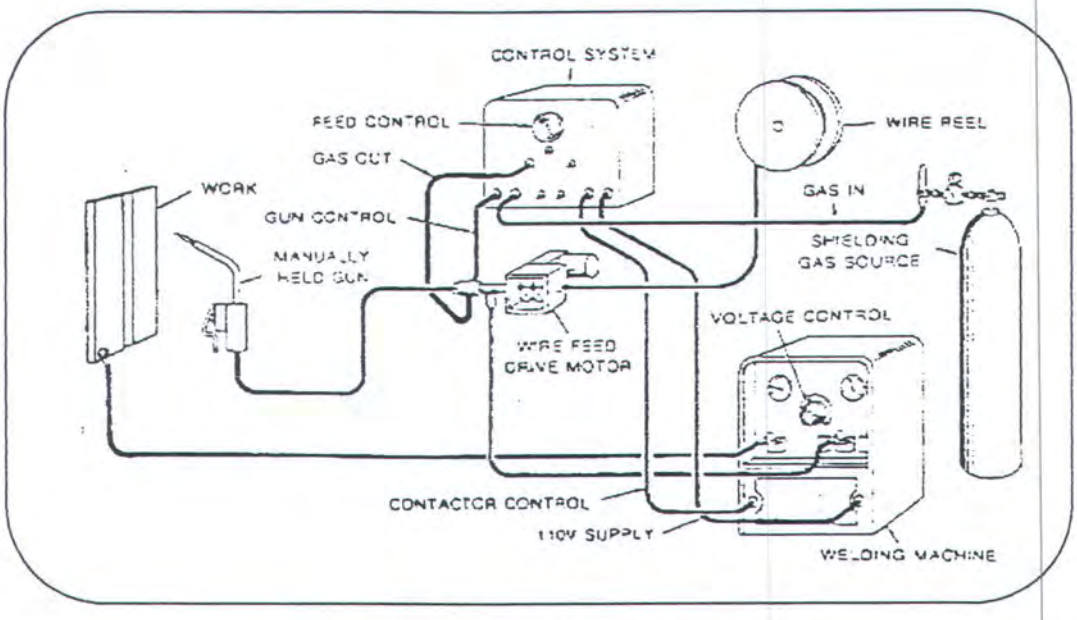
Gambar 2.4. Skema Terjadinya Percikan Dalam Las Busur Gas CO_2

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Campuran inert gas (carbon dioxide, helium, argon, atau kombinasi dari ketiganya) digunakan untuk melindungi logam las selama pengelasan dari kontaminasi udara luar seperti oksigen dan nitrogen. Prinsipnya sama dengan gas pelindung yang digunakan oleh TIG atau flux-core arc welding (FCAW). Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas O_2 antara 2 sampai 5% atau CO_2 antara 5 sampai 20%.

Gas pelindung penting, bukan hanya untuk kualitas pengelasan tapi juga untuk produktivitas dan lingkungan kerja. Gas pelindung yang digunakan pada proses pengelasan GMAW, GTAW dan FCAW selain berfungsi sebagai pelindung terhadap oksidasi dari udara, juga bisa mengoptimalkan proses pengelasan, yang berarti selalu akan berdampak pada produk akhir hasil pengelasan (kemampuan mekanisme, penampilan permukaan, ketahanan korosi, produktivitas lingkungan kerja, dll).

Pada proses pengelasan dengan GMAW, oksigen atau karbon dioksida ditambahkan untuk meningkatkan stabilitas busur dan mengurangi percikan splatter las. Tingkatan tertentu yang sering digunakan untuk pengelasan dengan kawat padat atau berongga, komposisinya adalah 1-2% oksigen atau 2-4% karbon dioksida. Skema dari mesin las ini ditunjukkan pada gambar berikut.



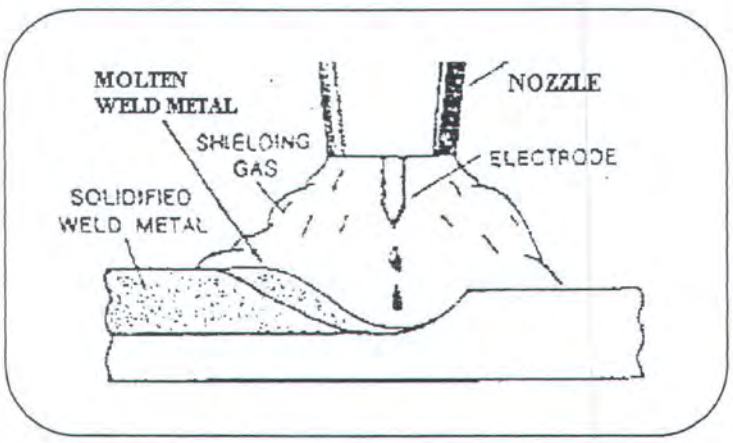
Gambar 2.5. Mesin Las MIG Semi-Otomatis

Dalam banyak hal penggunaan las GMAW atau MIG welding sangat menguntungkan. Hal ini disebabkan karena sifat-sifatnya yang baik, misalnya :

a) Karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat mantap dan percikannya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasannya.
b) Karena dapat menggunakan arus yang tinggi maka kecepatannya juga sangat tinggi, sehingga efesiensinya sangat baik
c) Terak yang terbentuk cukup banyak
d) Ketangguhan dan elastisitas, kekedapan udara, ketidakpekaan terhadap retak dan sifat-sifat lainnya lebih baik dari pada yang dihasilkan dengan cara pengelasan yang lain

Karena hal-hal tersebut diatas, maka las MIG banyak sekali digunakan dalam praktek terutama untuk pengelasan baja-baja kualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja kuat dan logam-logam bukan baja yang tidak dapat di las dengan cara yang lain.

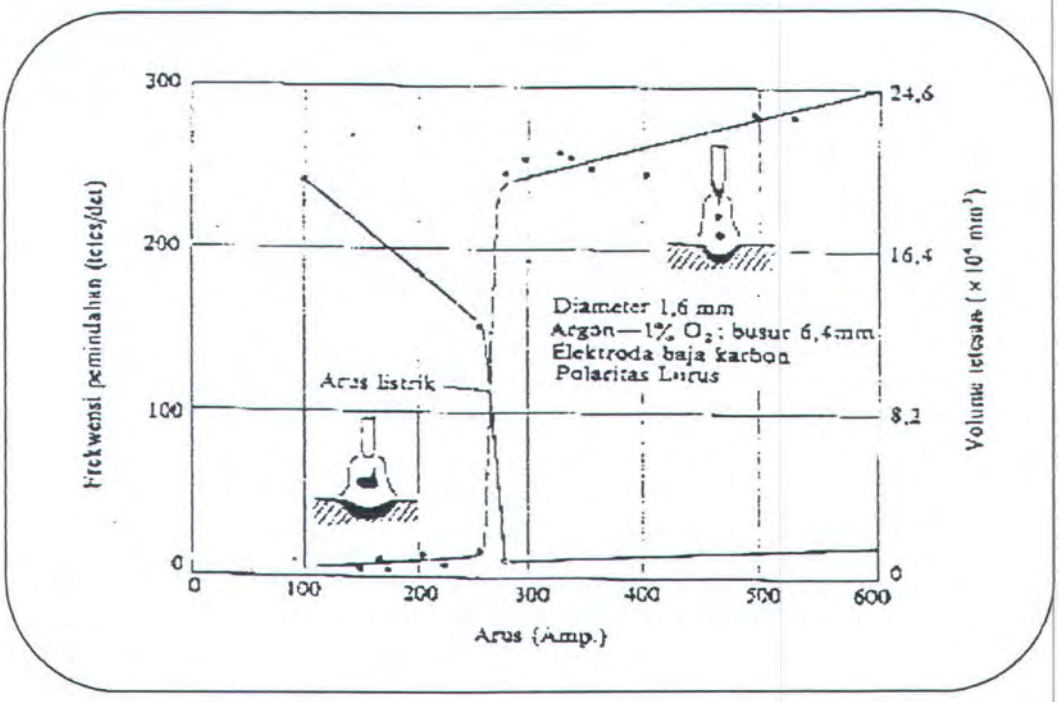
Sifat-sifat seperti diatas sebagian besar disebabkan oleh sifat dari busur yang dihasilkan. gambar 2.6 menunjukkan keadaan busur pada las MIG, dimana terlihat ujung elektroda yang selalu runcing. Hal inilah yang menyebabkan butir-butir logam cair menjadi halus dan pemindahannya berlangsung dengan cepat seakan-akan seperti disemburkan.



Gambar 2.6. Pemindahan Sembur Pada Las MIG

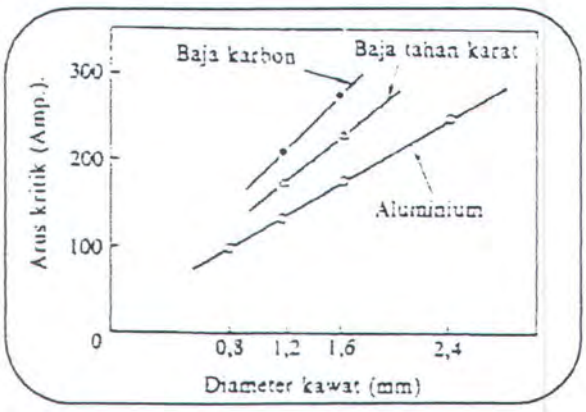
Terjadinya penyemburan logam cair disebabkan oleh beberapa hal, antara lain polaritas listrik dan arus listrik. Dalam MIG biasanya digunakan listrik arus searah dengan tegangan tetap sebagai sumber tenaga. Dengan sumber tenaga ini biasanya penyemburan terjadi bila polaritasnya adalah polaritas balik. Disamping polaritas ternyata bahwa besar arus juga memegang peranan penting, bila besar arus melebihi suatu harga tertentu yang disebut harga kritis barulah terjadi pemindahan sembur. Diagram dalam gambar 2.7 menunjukkan hubungan antara arus kritis dan terjadinya penyemburan. Besarnya arus kritis tergantung dari bahan kawat las, garis tengah kawat dan jenis gas pelindungnya. Bila diameternya mengecil, besarnya arus kritis yang diperlukan juga menurun. Penambahan gas CO_2 ke dalam gas Argon akan menaikkan besarnya arus listrik. Pada gambar 2.7

ditunjukkan hubungan antara besarnya arus kritis dan ukuran kawat untuk beberapa bahan elektroda.

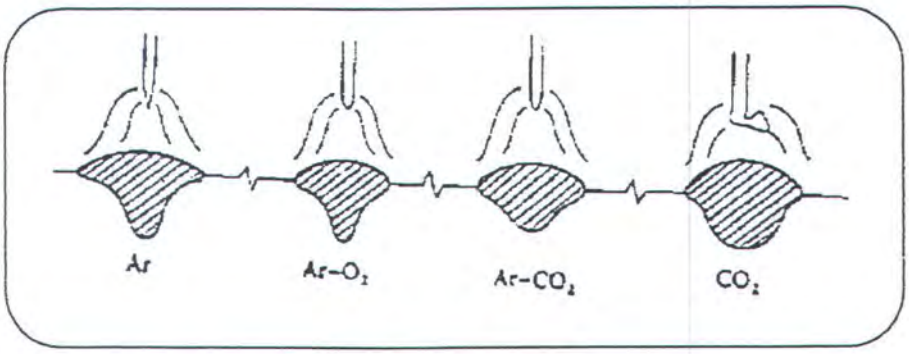


Gambar 2.7. Pengaruh perubahan arus terhadap ukuran dan frekuensi tetesan

Penetrasi pengelasan tergantung dari jenis gas pelindung yang dipakai. Seperti pada gas CO_2 jika dicampurkan ke dalam gas Argon, maka penetrasi pada tempat busur berkurang tetapi penetrasi disekitarnya makin dalam. Apabila gas CO_2 murni yang digunakan sebagai gas pelindung, maka penetrasinya pada seluruh daerah pengelasan menjadi dalam, lihat gambar 2.8.



Gambar 2.8. Hubungan antara Arus Kritis dan Diameter Elektroda



Gambar 2.9. Pengaruh Gas Pelindung terhadap Penetrasi

Karena berkembangnya penggunaan las busur CO_2, maka telah diproduksi dan distandarkan kawat-kawat elektroda las yang digunakan untuk pengelasan tersebut. Standarisasi kawat las menurut JIS dan AWS untuk pengelasan baja lunak dan baja kuat ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 2.2. Spesifikasi Komposisi Kimia Elektrode Gas Metal Arc Welding
AWS A5.18-69 [The Lincoln Electric Co., 1973]

AWS Classi-fication	Chemical Composition, percent											
	Carbon	Manga-nese	Silicon	Phos-phorus	Sulfur	Nickel[a]	Chro[a]mium	Molyb[a]denum	Vana[a]dium	Tita-nium	Zirco-nium	Alumi-nium
GROUP A - MILD STEEL ELECTRODES												
E 70 S-1	0.07 to 0.19	0.90 to 1.40	0.30 to 0.50	0.025	0.035							
E 70 S-2	0.06		0.40 to 0.70							0.05 to 0.15	0.02 to 0.12	0.05 to 0.15
E 70 S-3	0.06 to 0.15		0.45 to 0.70									
E 70 S-4	0.07 to 0.15		0.65 to 0.60									
E 70 S-5	0.07 to 0.19		0.30 to 0.60									0.50 to 0.90
E 70 S-6	0.07 to 0.15	1.40 to 1.85	0.80 to 1.15									
E 70 S-G	No chemical requirements [b]											

Note : – Single values shown are maximums
a For groups A these elements may be present but are not intentionally added.
b For this classification there are no more chemical requirements for the element listed with the exception that there shall be no intentional eddition of Ni, Cr, Mo, or V

Tabel 2.3. Mechanical Property Weld Metal pada Gas Metal Arc Welding[a]

AWS A5.18-69 [The Lincoln Electric Co., 1973]

AWS Classification	Shielding Gas[b]	Current and Polarity[c]	Tensile Strength min., psi	Yield Strength at 0.2% Offset, min.	Elongation in2 inches min. %
GROUP A – MILD STEEL ELECTRODES					
E 70 S-1	AO	DC Reverse Polarity	72,000 [e,f]	60,000 [e,f]	22 [e,f]
E 70 S-2 E 70 S-3	AO & CO_2[d]				
E 70 S-4 E 70 S-5 E 70 S-6	CO_2				
E 70 S-G	Not spec.	Not spec.			

a As-welded mechanical properties
b Shielding gases are designated as follows :
AO = argon, plus 1 to 15 percent oxygen
CO_2 = carbon dioxide
c Reserve polarity means electrode is positive ; straight polarity means electrode is negative
d Where two gases are listed as interchangeable (that is AO and CO_2 and AO & A) for classification of specific electrode, the classification tests may be conducted using either gas
e Mechanical properties as determinned from an all-weld metal tension tests spesiment
f For each increase of one percentage point in elongation over the minimum, the yield strength or tensile strength, or both, may decrease 1,000 psi to a minimum of 70,000 psi for tensile strength and 58,000 psi for the yield strength.

Hampir semua pengelasan GMAW adalah MIG welding. Pada kenyataannya GMAW dan MIG selalu menggunakan proses yang sama. MIG welding adalah pengelasan semi otomatis yang dapat diubah menjadi full otomatis tergantung dari jenis pekerjaan. MIG welding memberikan kualitas pengelasan yang baik untuk semua baja dan alloys dan sekarang banyak digunakan di industri. MIG welding biasanya tidak mempunyai slag pada pengelasan tidak seperti pada SMAW.

2.2.3 Arc Spot Welding

Spot weld adalah pengelasan antara dua logam dengan posisi overlap dimana peleburan terjadi dari logam teratas dan peleburan merambat pada permukaan benda yang ada dibawahnya. Pengelasan dengan cara spot weld berbeda dengan resistance spot weld, peleburan logam pada resistance welding, yaitu welding gun diletakkan pada permukaan benda yang akan disambung dari

sisi atas dan bawah. Pengelasan spot tidak memerlukan lubang untuk penyambungan. [Cary, Howard B., 1979]

Pengelasan spot weld dilakukan dengan pencairan tembus pada salah satu bagian, biasanya pada pelat bagian atas, untuk itu ada batas tertentu pada ketebalan pelat tersebut berdasarkan proses pengelasan yang digunakan.

Proses pengelasan dengan GTAW atau GMAW yang paling banyak digunakan pada pengelasan spot. sedangkan FCAW dan SMAW dengan menggunakan elektrode terbungkus juga bisa digunakan dalam pengelasan spot.

Secara prinsip cara kerja dari pengelasan spot adalah meleburkan dan menahan pengelasan pada satu titik dimana benda akan disambung. Panas yang ditimbulkan akan mencairkan permukaan logam yang ada diatas dan dalamnya pencairan akan tergantung pada proses pengelasan, jenis dan besarnya diameter elektrode, arus pengelasan dan waktu pengelasan serta dalam kasus pengelasan dengan gas metal arc welding, pengaruh dari penggunaan gas pelindung yang dipakai juga besar. Waktu pengelasan biasanya diatur secara otomatis dengan menggunakan timer atau suatu alat yang dapat digunakan untuk mengatur waktu pengelasan.

Pengelasan spot adalah proses yang mudah digunakan untuk penyambungan-penyambungan pelat dengan beberapa keuntungan, yaitu :

1. Dapat digunakan tanpa ketrampilan yang khusus, untuk itu adanya pelatihan untuk pengelasan spot sangat sedikit.
2. Pengelas tidak perlu menggunakan baju las khusus dalam pengelasan spot weld.

Pengelasan spot adalah proses yang sangat cepat, dapat digunakan untuk berbagai jenis sambungan dan secara penuh dapat diotomatiskan.

Pengelasan spot welding dapat dilakukan pada posisi flat atau datar dan posisi horizontal, tapi sangat tidak mungkin untuk melakukan pengelasan spot welding dengan posisi overhead. Alasannya adalah bahwa sheet metal yang paling dekat dengan welding gun harus seluruhnya mencair dan hal ini dapat menghasilkan molten weld dalam jumlah yang besar dan akan cenderung jatuh dengan pengelasan posisi overhead.

Baja yang sering dilas dengan menggunakan spot welding adalah mild steel, low-alloy steel dan stainless steel. Tetapi dengan perlakuan khusus baja yang lain dapat dilas dengan cara spot welding.

Ukuran tebal baja yang dapat dilas dengan spot weld tergantung dari proses pengelasan yang akan dilakukan, yaitu menggunakan las GTAW atau GMAW. Informasi ini menyangkut tebal dari baja bagian atas yang harus mencair dan tebal dari baja yang lain tidaklah penting. Sambungan overlap adalah tipe sambungan yang paling umum digunakan untuk pengelasan spot weld.

Gas metal arc welding dapat digunakan untuk mengelas baja yang lebih tebal dengan cara spot welding dibanding dengan gas tungsten arc spot welding. Gas pelindung yang biasa digunakan dalam gas metal arc spot welding adalah CO_2. gas ini dipilih karena kualitas penetrasinya dalam dibanding dengan gas yang lain. Ukuran dan jenis elektroda mempunyai pengaruh yang besar pada hasil penetrasi dan diameter hasil pengelasan. Beberapa keuntungan dari pengelasan spot weld dibandingkan dengan resistance spot weld adalah :

1. Pengelasan hanya dilakukan pada satu sisi pelat bagian atas sambungan.

2. Besarnya tekanan tidak terlalu besar, diasumsikan pelat yang disambung diletakkan sewajarnya.
3. Operator tidak membutuhkan keahlian khusus, dan pelindung las tidak terlalu dibutuhkan.
4. Hasil dari pengelasan mempunyai konsistensi yang tinggi
5. Sedikit menghasilkan spatter, asap dan flash pada pengelasan serta tidak menghasilkan terak.
6. Distorsi minimum
7. Pengontrolan biaya pengelasan lebih mudah dengan menggunakan arcspot welding
8. Dapat digunakan untuk menggantikan sambungan dengan baut dan rivet.

Arc spot welding telah banyak digunakan dalam bidang automobile body assembly, pemasangan bracket, gading dan lain-lain. [Cary, Howard B., 1979]

Tabel 2.4 Pengelasan Spot Weld Menggunakan GMAW [Carry, Howard B. 1979]

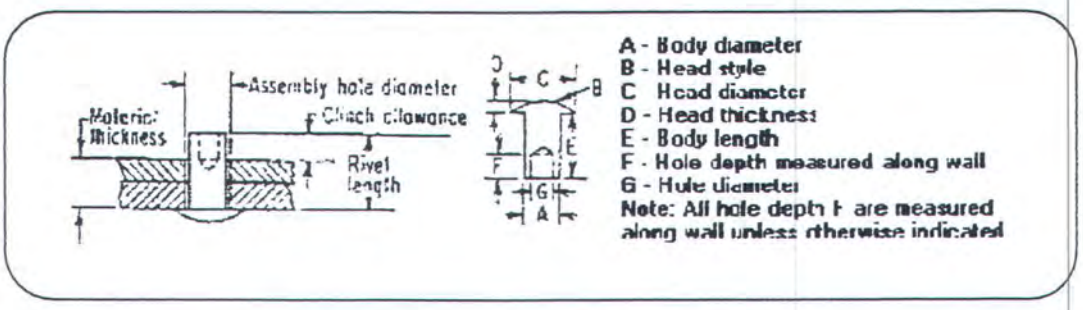
Material Thickness	Elektrode Wire Dia.	Elektroda Type	Current DC	Arc Voltage	Arc Spot Time	Wire Consumed Per Spot		Typical Shear Strength Per Spot	
mm	mm		Amperes	Volts	Seconds	In.	mm	Lbs	mm
0.56	0.76	E60S-1	90	24	1.0	4-5/8	115	625	283.60
0.81	0.76	E60S-1	120	27	1.2	5	125	730	331.13
0.94	0.76	E60S-1	120	27	1.2	10-1/8	253	1337	606.46
0.81	0.89	E60S-1	140	26	1.0	6	150	800	362.88
0.94	0.89	E60S-1	140	26	1.0	6	150	1147	520.33
0.84	0.89	E60S-1	190	27	1.0	8-1/2	212	1507	683.58
1.50	0.89	E60S-1	190	28	2.0	17-1/4	431	1434	641.46
1.82	0.89	E60S-1	190	28	5.0	40-1/4	1006	2600	1179.96
0.99	1.14	E60S-1	200	27	0.7	4	100	1414	641.39
1.50	1.14	E60S-1	260	29	1.0	6	150	2070	938.95
1.82	1.14	E60S-1	300	30	1.5	12-3/4	319	3224	1462.41

Note : Contact tip-to-work distance: ¼ to 3/8 for fine wire
Note : CO_2 when used : 35 cubic feet per hour (6.5 L/mnt)

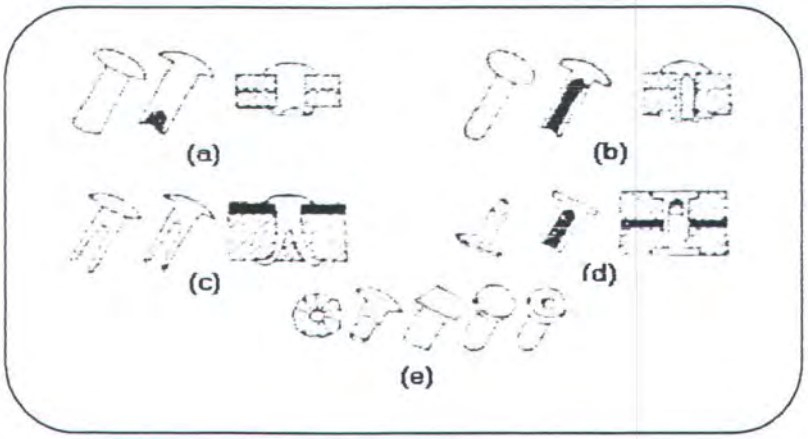
2.4 RIVET DAN METODE RIVETING

Rivet adalah sebuah pengikat yang terdiri dari kepala dan badan. Rivet ini digunakan untuk mengikat dua lembar bahan secara bersama dengan cara memasukkan badan rivet ke lubang atau menembuskan ke setiap kepingan kemudian di rivet atau membentuk kepala kedua dari ujung badan. Ketika satu paku sudah dikelingkan maka paku rivet tidak dapat dipindah lagi kecuali dengan mencongkel keluar kepala atau kepala ujung badan.

Seleksi pada riveting tergantung pada beban yang akan diterima, lokasi, kekuatan yang dibutuhkan, dan penampakan pada sambungan. Tegangan shear adalah satu-satunya tegangan yang perlu dipertimbangkan dalam struktur sambungan yang menggunakan metode rivet. Penentuan jenis dan ukuran rivet yang digunakan harus berdasarkan tegangannya, jika tegangan yang bekerja besar maka rivet yang digunakan harus mempunyai kepala yang besar, seperti button, cone, atau pan head, walaupun kadang-kadang disarankan menggunakan solid rivet. Button-head rivets adalah yang umum digunakan dalam aplikasi struktur steelwork. Tubular dan split rivet dapat dipasang dengan otomatis dan diset dengan kecepatan yang lebih tinggi dan dengan tenaga yang sedikit dari pada untuk solid rivet, hal ini digunakan terutama adalah untuk diameter yang kecil. Terminologi rivet dan rivet-joint seperti yang digambarkan pada gambar 2.10. [Wilson & Harvey, 1959].



Gambar 2.10. Rivet dan Terminology Sambungan Rivet [Wilson & Harvey, 1959]



Gambar 2.11. Tipe Small Rivet : (a) Semitubular; (b) Full-tubular; (c) Bifurcated (split); (d) Compression (cutlery); (e) Special types dengan decorative heads dan variasi badan rivet [Wilson & Harvey, 1959]

2.4.1 Type Rivet Kecil

Disini terdapat lima bentuk dasar untuk rivet yang kecil, yaitu : tubular, semi-tubular, bifurcated, compression dan khusus type solid.

Semi tubular rivets mempunyai lubang dalam sepanjang dinding, tapi tidak mencapai diameter shanknya. Kekuatan geser dan tekanannya sama dengan solid rivets.

Deep-drilled full tubular rivets mempunyai rongga atau lubang tengah sepanjang body. Tipe full tubular biasanya digunakan untuk meng-asembly material seperti

kulit, plastik, kayu, fabric, dan material lain yang hampir sama, rivet dapat menembus lubang dan slug materialnya dapat dikeluarkan dari rongga rivet

Compression rivets terdiri dari dua bagian, yaitu batang solid dan batang yang berlubang. Diameter batang solid dan diameter batang berlubang menghasilkan kompresi atau tekanan yang pas ketika bagian-bagian tersebut disatukan. Hampir semua rivet dengan jenis ini mempunyai bentuk trimmed head, konsentrasi tekanan ada diantara head dan shank. Antara kedua kepala rivet tersebut mempunyai kekuatan yang sama ketika di asembly.

Split rivets, seperti namanya, adalah rivet yang mempunyai bentuk badan terbelah membentuk dua kaki yang dibentuk dengan sawing atau punching. Sawed rivet mempunyai bentuk kaki yang runcing dan kuat untuk mengikat light-gage metal atau bagian terberat pada fiber, kayu atau plastik. Tipe punch lebih cocok untuk penembusan ringan pada bahan non-metalik. Biasanya rivet jenis ini dilengkapi dengan pembevelan diujung kaki untuk mengontrol arah rambatan kaki.

Caps sering digunakan dengan kombinasi antara full-tubular dan split rivets, dan menyembunyikan pagutannya. Fungsinya seperti washer, dimana capsnya melindungi pagutan terhadap material supaya material tidak rusak., untuk menambah kekuatan rivetnya dan juga berfungsi sebagai kepala baru pada ujung rivet.

Spesial rivets dibuat dengan cara solid cold-formed (1) dengan tenon atau shoulder untuk menyederhanakan peletakan dan assembly; (2) dengan fluted atau knurled pada shank untuk memudahkan penggunaan pada saat molding atau casting; (3) dengan hiasan pada kepala rivet; (4) dibentuk dengan kepala khusus seperti bola, cams atau konfigurasi hexagonal untuk fungsi yang lain.

Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 menggambarkan dimensi dan spesifikasi standart yang digunakan untuk fasteners.

Tabel 2.5. Data Rivet Semi Tubular [Wilson & Harvey, 1959]

(All dimension in fractional or decimal parts of an inch)

Fractional body diam designation	1/16	3/32	0,099	1/8	9/64	3/16	7/32	1/4
Body diameter range	0.058-0.061	0.085-0.089	0.095-0.099	0.118-0.123	0.141-0.146	0.182-0.188	0.210-0.217	0.244-0.252
Work hole :								
Recommended min	0.064	0.093	0.104	0.128	0.154	0.199	0.234	0.265
Corresponding drill size	52	42	37	30	23	8	15/64	17/64
Clinch allowance :								
Nominal	0.032	0.046	0.051	0.064	0.076	0.098	0.102	0.130
Max	0.038	0.055	0.061	0.077	0.092	0.118	0.141	0.159
Rivet Length :								
Min	1/16	5/64	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16	7/32
Increment	1/64	1/64	1/64	1/64	1/32	1/32	1/16	1/16
Dimensional tolerances :*								
Body diam	±0.0015	±0.002	±0.002	±0.0025	±0.0025	±0.003	±0.0035	±0.004
Head diam	±0.005	±0.005	±0.005	±0.005	±0.005	±0.006	±0.007	±0.007
Head thickness	±0.002	±0.003	±0.003	±0.005	±0.005	±0.005	±0.007	±0.007
Length up to 3/8	±0.005	±0.005	±0.005	±0.010	±0.010	±0.010	±0.010	±0.010
Length over 3/8	±0.007	±0.007	±0.007	±0.010	±0.010	±0.010	±0.010	±0.015

Tabel 2.6. Data Rivet tipe Full-tubular dan Split rivet [Wilson & Harvey, 1959]

(All dimension in fractional or decimal parts of an inch)

Full tubular rivets			Split rivets			
Fractional body diam Designation	9/64	3/16	3/32	1/8	9/64	3/16
Body diam range	0.141-0.146	0.182-0.188	0.086-0.090	0.113-0.117	0.144-0.149	0.187-0.192
Work hole :						
Recommended min ..	0.154	0.199	0.093	0.128	0.154	0.199
Corresponding drill Size	23	8	42	30	23	8
Clinch allowance :*						
Nominal	1/8	3/16	5/64	3/32	1/8	9/64
Max	5/32	1/4	7/64	1/8	5/32	11/64
Rivet length :						
Min	3/16	3/16	2/16	3/16	3/16	3/16
Increments	1/32	1/32	1/32	1/32	1/16	1/16

* For star or corrugated clinch

2.4.2 Ukuran dan Jarak Rivet

Pada struktur steelwork, besar diameter rivet antara 1,2 sampai 1,4 kali tebal pelat yang di rivet. Untuk ukuran yang lebih kecil biasanya dapat digunakan untuk multiple-riveted joint. Pada sambungan alumunium, diameter rivet yang

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

digunakan biasanya antara satu sampai tiga kali tebal pelat yang paling tebal yang akan disambung, tergantung dari antisipasi besarnya tegangan yang diterima.

Secara umum, jarak antar rivet harusnya sebesar mungkin tanpa mempengaruhi efesiensi sambungan. Hal ini tergantung dari besarnya luasan pelat yang disambung. Jarak minimum antar rivet adalah sekitar tiga kali diameter rivet dan jarak maksimumnya secara umum dibatasi sampai delapan kali tebal pelat yang terberat dari pelat yang akan disambung. Dilihat dari efesiensi distribusi tegangan, jarak yang terlalu dekat antar rivet dapat mengurangi efektivitas rivet dalam menahan beban atau tegangan. Dilihat dari tekanan, jarak yang terlalu besar dapat mengakibatkan bukling pada pelat yang disambung. Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya jarak antar rivet dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.7. Jarak Rivet untuk Berbagai Tipe Sambungan [Wilson & Harvey, 1959]

Rows of rivets	Shear	Pitch *P**
1	Single	$0.644d^2/t + d$
1	Double	$1.13d^2/t + d$
2	Single	$1.288d^2/t + d$
2	Double	$2.26d^2/t + d$
3	Single	$1.93d^2/t + d$
3	Double	$3.30d^2/t + d$

Distance between rows in staggered riveting of multiple-riveted joints = $P/2 - d/4$, approximately.
Edge distance (distance from the center line of the hole to the edge of plate) should be not less than 1½ times the hole diameter.
**P* equals the center-to-centre distance between adjacent rivet in one row; *d* equals the rivet diameter; *t* equals the thickness of the plate

Tabel 2.8. Komposisi Kimia Material Rivets [Wilson & Harvey, 1959]

Metal	Alloy Designation*
Low carbon steel	1006 to 1010
Medium-carbon steel	1013 to 1023
High-carbon steel	1023 to 1040
Machinable carbon steel	1109 to 1111
Stainless steel	302 to 305 and 430
Brass	65 / 35 and 70 / 30
Commercial bronze	90 / 10
Copper	OFHC
Phosphor bronze	5%
Silicon bronze	1½ and 3 %
Alumunium	1100, 1180, 2017, 5056, 6053
Monel	
Pure nickel	
Nickel silver	12-18 %
Silver	99.9 fine, 900 coin and 800 fine

2.4.3 Desain Pemasangan Rivet

Jika kita berbicara masalah rivet, hubungan antara diameter badan rivet dan lubang rivet harus diperhitungkan untuk mendapatkan tegangan geser yang maksimum. Diameter lubang yang agak besar akan membuat rivet tidak dapat mengisi lubang secara baik untuk pengikatan. Disisi lain, lubang yang terlalu sempit juga akan memperlambat pemasangan rivet dan clinching the rivet.

Besarnya lubang untuk macam-macam tipe rivet dan ukuran rivet dapat dilihat pada tabel 2.5 dan tabel 2.6 (data rivet semitubular dan full tubular). Jika lubang yang dibuat tidak bersih dan lurus, maka dianjurkan pembuatan lubang rivet agak diperbesar. Ketika dua atau lebih rivet dipasang pada satu sambungan yang sama, toleransi jarak antara titik pusat harus dihitung lebih dulu dalam membuat lubang.

Diameter hasil kepala baru akan didapatkan selama proses riveting. Salah satu persyaratan untuk hasil kepala baru oleh Fokker adalah perbandingan diameter hasil kepala baru (Dd) terhadap diameter rivet (d), $1{,}25 < \frac{Dd}{d} < 1{,}6$.

Jadi hasil fabrikasi rivet dengan perbandingan kepala baru Dd/d labih besar atau lebih kecil dari range diatas akan mempunyai perbedaan besar pada properties fatiknya. Ketidakseragaman hasil kepala baru dalam proses rivet akan sering terjadi pada penggunaan Hand Rivet Gun, karena tergantung pada feeling dan kualitas dari operator yang mengakibatkan penyebaran data properties fatiknya.

2.4.4 Kekuatan Rivet dan Sambungan Rivet

Banyak sekali penerapan di lapangan dimana rivet dibawah tensile stress sangat memuaskan. Besar gaya rivet berpengaruh besar pada perilaku fatik dari riveted lap joint.

Dibawah beban berulang, sebuah struktur dapat mengalami kegagalan dibawah harga tegangan ultimatnya, ketika struktur diberi beban statis. Kegagalan fatik disebabkan karena diskontinuitas atau pemusatan tegangan pada lubang (khususnya karena adanya retak yang terjadi pada lubang pada saat cold-work hole). Kegagalan fatik pada sambungan rivet biasanya terjadi pada pelat dan jarang sekali terjadi kegagalan pada rivetnya. Beberapa kesimpulan berikut adalah ditulis berdasarkan berbagai macam test pada riveted joint, yaitu :

a) Riveted joint dengan double shear mempunyai kekuatan fatik yang lebih baik dibandingkan dengan single shear.
b) Fatigue strength cenderung meningkat berdasarkan jumlah rivet.
c) Fatigue strength meningkat berdasarkan besarnya ukuran rivet.
d) Cold-driven steel rivet mempunyai kekuatan fatik yang lebih baik dibandingkan dengan hot-driven rivet, tapi variasi antara hot- dan cold-driven rivet alumunium adalah negligible.

e) Butt-riveted joint mempunyai kekuatan fatik yang lebih baik dari pada lap joints. Demikian pula dengan butt joint double splice plate mempunyai kekuatan fatik yang lebih baik dari pada single splice plate.

Efesiensi pada riveted joint adalah rasio kekuatan sambungan dengan kekuatan dari pelat yang paling tipis yang disambung. Kekuatan sambungan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut [Wilson & Harvey, 1959].

Shear strength :

$$P_s = S_s A N$$

Dimana : S_s : specified shear strength of rivet (psi)

A : cross sectional area of rivet ($inch^2$)

N : number of shear planes

Tensile strength :

$$P_u = S_n (p - d) t$$

Dimana : S_u : specified ultimate shear strength of the plate (psi)

p : pitch (spacing) of rivet (inch)

d : rivet-hole diameter (inch)

t : plate thickness (inch)

Setiap persamaan diatas diasumsikan bahwa rivet adalah murni mengalami beban shear.

Bab III

Kelelahan dan Kepatahan

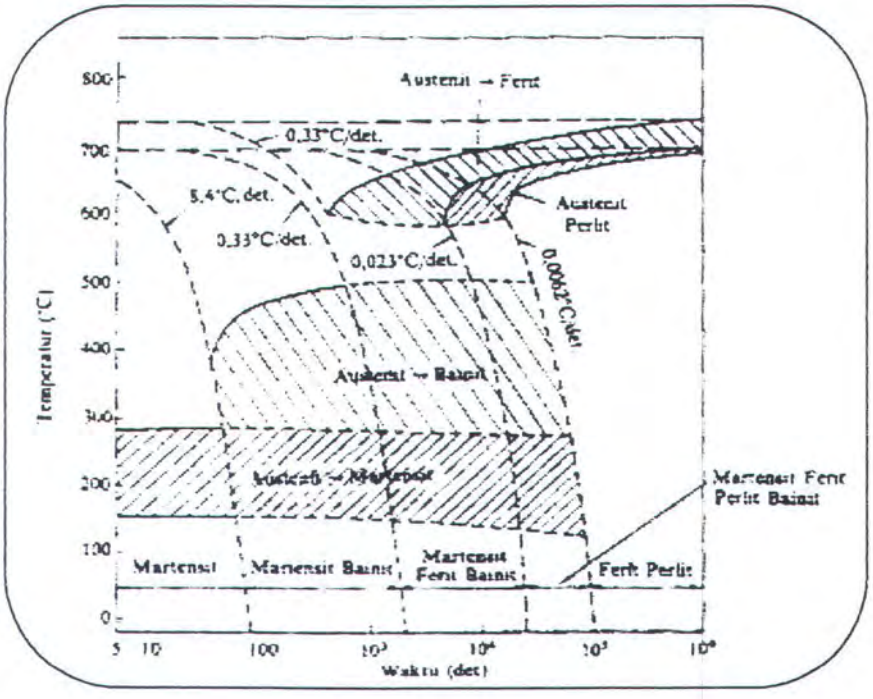
BAB III

KELELAHAN DAN KEPATAHAN

3.1. METALURGI LAS

3.1.1. Struktur Mikro dan Sifat Mekanis

Pada umunya struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanis yang dimilikinya juga berubah. Hubungan antara sifat pendinginan dengan struktur mikro yang terbentuk digambarkan dengan suatu diagram yang menghubungkan waktu dan suhu transformasi yang biasanya disebut dengan diagran CCT (Continuous Cooling Transformation). Pada gambar 3.1. ditunjukkan contoh diagram CCT untuk baja ASTM 4340 [Wiryosumarto, 1996].



Gambar 3.1 Diagram CCT baja ASTM 4340 [Wiryosumarto, 1996]

Dari gambar tersebut diatas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik yang berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran ferit-perlit-bainit-martensit menjadi bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali terbentuk struktur martensit.

Kekuatan baja ferit-perlit terutama batas luluhnya tergantung dari ukuran butir ferit, disamping kekuatan ternyata besar butir juga mempengaruhi energi patah dan sifat perambatan retaknya. Penelitian-penelitian menunjukkan bahwa makin halus butir-butir kristal makin rendah suhu ulet-getasnya. Karena itu tindakan memperhalus butir adalah tindakan yang tepat untuk memperbaiki kekuatan dan ketangguhan baja ferit-perlit.

Kekuatan dan ketangguhan serta kekerasan baja juga ditentukan oleh komposisi kimia yang dikandung didalamnya. Komposisi kimia juga menentukan sifat mampu las suatu baja. Untuk menentukan sifat mampu las suatu baja juga digunakan kadar karbon dimana unsur-unsur lain dinyatakan dalam karbon ekuivalen.

$$Cek = C + 1/6\ Mn + 1/24\ Si + 1/40\ Ni + 1/5\ Cr + \tfrac{1}{4}\ Mo + 1/14\ V$$

Untuk memperbaiki sifat baja kadang-kadang perlu ditambahkan unsur V dan Nb yang akan mempertinggi kekuatan baja dengan membentuk endapan halus VN dan Nbc pada waktu terjadi transformasi austenit ke ferit.

Baja berkekuatan tinggi (high tensile steel) biasanya mengandung beberapa unsur campuran seperti Cu, Ni, Cr, Mo, dan V. Hal yang terpenting dalam menghasilkan baja berkekuatan tinggi adalah usaha untuk menurunkan karbon ekuivalen serendah mungkin sehingga sifat mampu lasnya tetap tinggi.

Selain itu adalah pengaturan struktur mikro pengeras yaitu struktur mikro ganda dari bainit halus dan martensit dapat terbentuk sehingga dapat memperbaiki kekuatan baja.

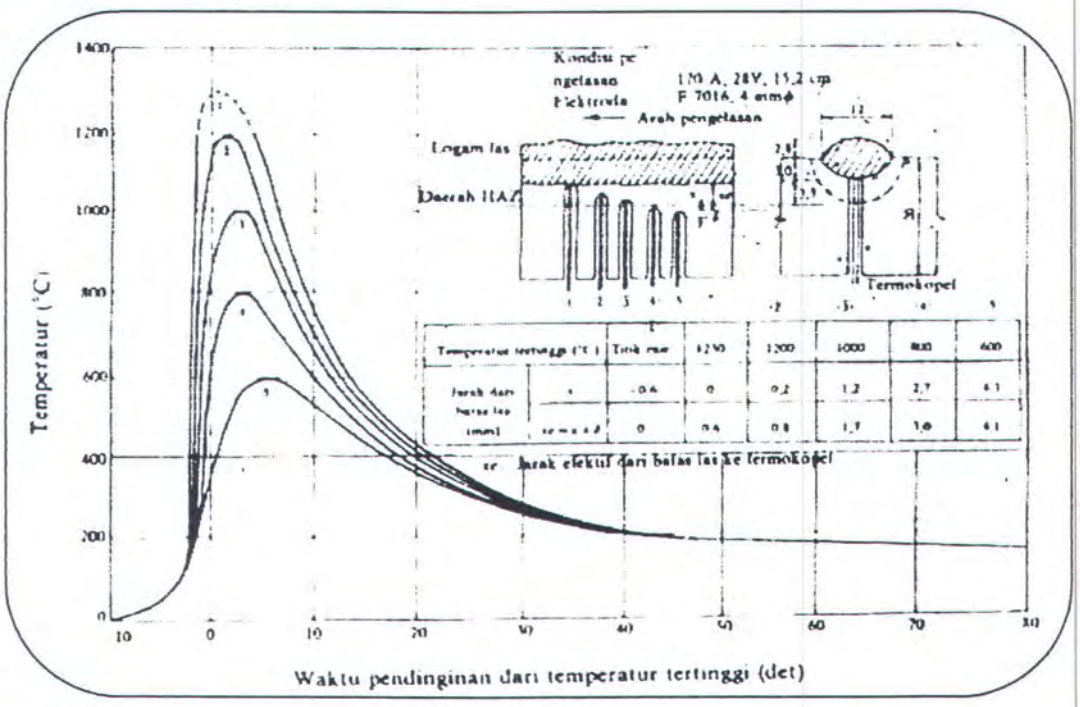
Struktur mikro ganda merupakan struktur bainit yang terbentuk lebih dulu, dalam pertumbuhannya akan membagi butir-butir austenit menjadi belahan-belahan yang lebih kecil dari pada butir martensit tunggal. Dengan pembagian yang lebih halus ini maka jarak rambat retaknya menjadi lebih pendek dan akibatnya rambatan retak dapat lebih terhalangi.

3.1.2. Siklus termal daerah lasan

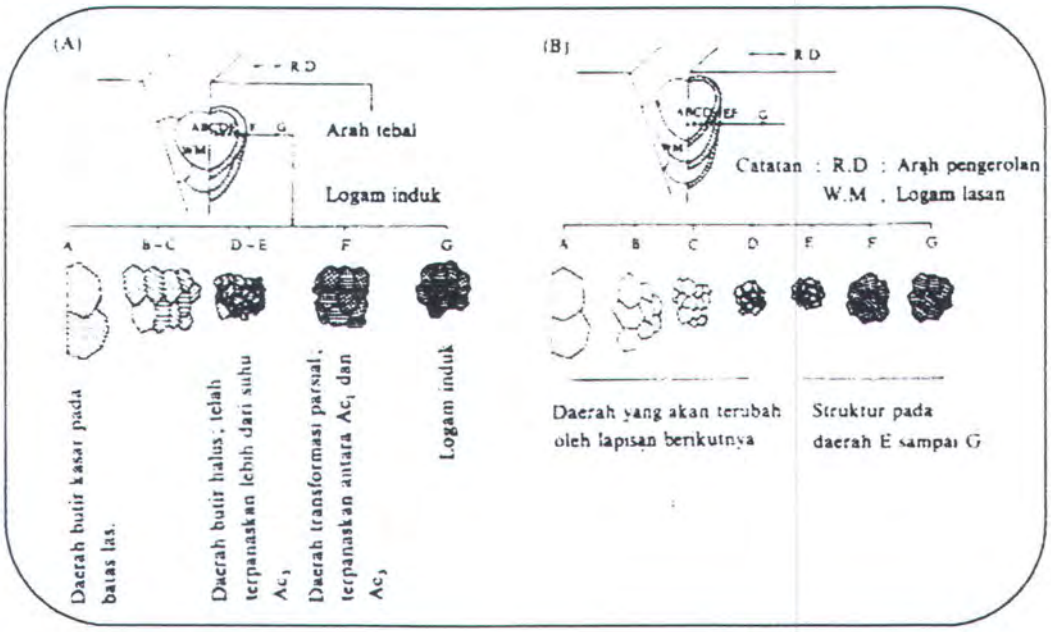
Siklus termal adalah proses pemanasan dan pendinginan didaerah lasan. Pada gambar 3.2. ditunjukkan siklus termal daerah lasan dari las busur listrik dengan elektroda terbungkus Shield Metal Arc Welding (SMAW). Untuk beberapa tempat dalam daerah HAZ dengan kondisi pengelasan tetap lamanya pendinginan dari suatu area temperatur tertentu dari suatu siklus thermal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut.

Pengelasan menghasilkan tiga bentuk logam yang mempunyai karakteristik berbeda, yaitu logam las (weld metal), daerah heat effected zone (HAZ), dan logam induk (base metal). Logam las adalah bagian dari lgam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk merupakan bagian dari logam dasar yang tidak terpengaruh panas

secara langsung, dimana suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah HAZ yang disebut daerah batas las atau fussion line.



Gambar 3.2 Siklus thermal las pada beberapa jarak dari batas las [Wiryosumarto, 1996]



Gambar 3.3 Struktur mikro pada daerah pengaruh panas (HAZ) [Wiryosumarto, 1996]

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Struktur logam pada weld metal terbentuk besar-besar sedangkan struktur logam induk lebih kecil dan halus. Struktur logam pada daerah pengaruh panas (HAZ) berubah secara berangsur-angsur dari struktur logam induk ke struktur logam las. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah tersebut dinamakan daerah batas las [Wiryosumarto, 1996].

Struktur mikro dan sifat mekanis HAZ sebagian besar tergantung dari lamanya pendinginan dari temperatur 800° C sampai 500° C. struktur yang terbentuk, kekerasan dan proses berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dapat terbaca dari diagram transformasi pendinginan (diagram CCT), dengan diagram ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan dan sebagainya.

Pada daerah batas las dimana butir-butirnya sangat kasar, logam menjadi sangat getas sehingga dinamakan penggetasan batas las. Pada batas las inilah sering terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan diskontinuitas pada kaki manik las, takik las, retak las dan sebagainya. Penggetasan batas las disebabkan oleh tumbuhnya kristal menjadi butir-butir kasar atau karena terbentuknya struktur bainit atas. Ketangguhan batas las ini selain ditentukan oleh kecepatan pendinginan juga ditentukan oleh komposisi kimia logam induk.

Pada baja kekuatan tinggi, tingkat kegetasan yang terjadi akibat masukan panas lebih besar dibandingkan dengan baja kekuatan rendah. Bila terbentuk struktur bainit atas, maka akan terbentuk butir-butir martensit karbon tinggi yang sangat getas diantara butir bainit tersebut. Bila hal ini terjadi maka ketangguhan batas las akan lebih rendah dibandingkan bila terbentuk struktur ferit-perlit. Pada

baja kekuatan tinggi karena banyak mengandung unsur paduan dengan kadar tinggi maka kemungkinan terbentuknya bainit atas sangat besar.

Jelas sekali bahwa pengaruh komposisi kimia logam induk sangat besar terhadap ketangguhan batas las dan dapat berubah secara rumit selain karena macam dan besarnya kadar dari masing-masing unsur juga karena kecepatan pendinginan yang terjadi selama pengelasan. Unsur paduan yang mempunyai hubungan erat dengan penggetasan batas las adalah karbon (C) dan Nikel (Ni). Dalam hal ini penurunan kadar karbon dan penambahan unsur nikel akan meningkatkan ketangguhan batas las.

3.2. FATIGUE DAMAGE

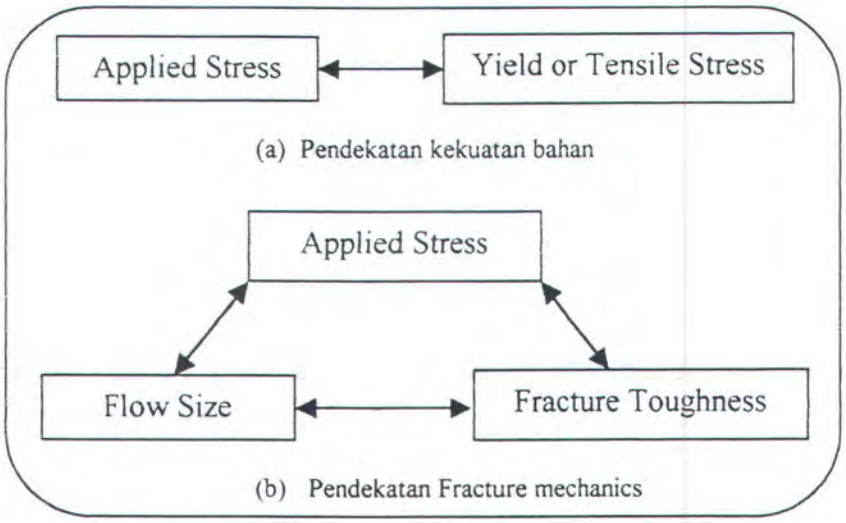
3.2.1. Pendekatan Fracture Mechanics Pada Perancangan Atau Analisa Struktur

- Pendekatan Fracture Mechanics

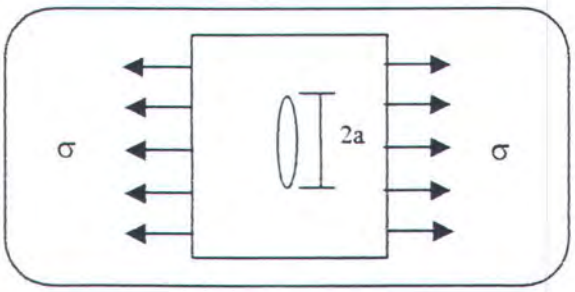
  Struktur dirancang untuk dapat menahan beban dengan besar tertentu. Besarnya beban yang dapat ditahan dapat diperoleh dengan membandingkan tegangan pada struktur karena beban maksimum dengan kekuatan bahan (kekuatan luluh = "Sigma" Yield point atau kekuatan tarik "sigma'ultimate). Bila pada beban maksimum tersebut tegangan yang terjadi lebih besar dari tegangan yield atau tegangan ultimatenya maka struktur tersebut sudah dianggap gagal.

  Pendekatan perancangan analisa konvensional yang didasarkan atas kekuatan bahan (strength of material) Gambar 3. pendekatan fracture mekanik dipakai bila struktur telah mengalami retak. Adanya retak inilah

yang membedakan pendekatan perancangan konvensional dengan pendekatan fracture mekanik. Pada pendekatan fracture mekanik ukuran retak menjadi variabel tambahan pada analisa atau perancangan seperti pada gambar 4. sifat bahan yang dipakai adalah fracture toughness [Anderson, T.L., 1991].



Gambar 3.4 Perbandingan antara pendekatan fracture mechanics dan pendekatan bahan untuk perencanaan



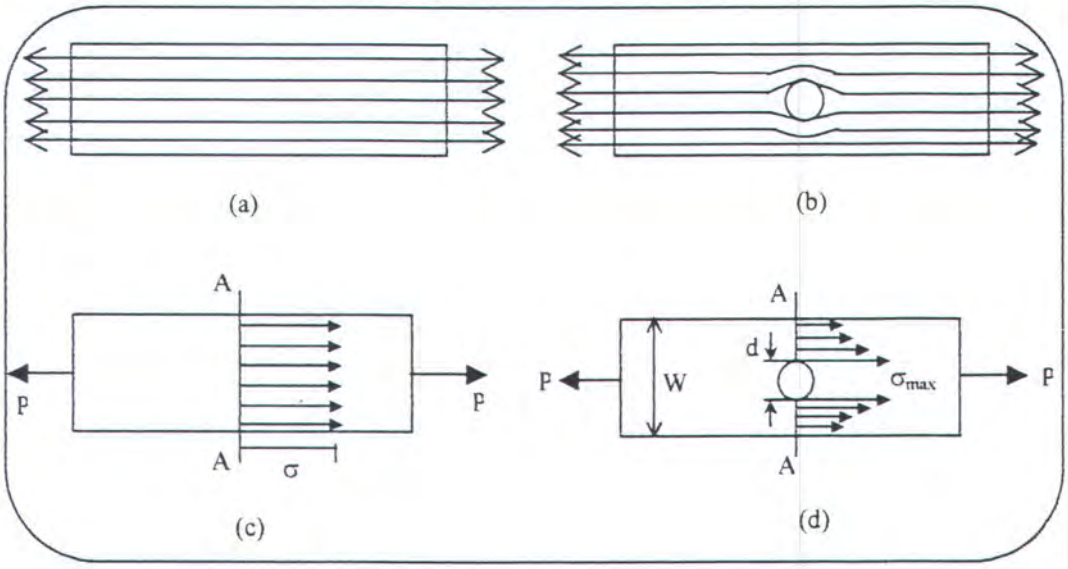
Gambar 3.5 Retak sepanjang 2a pada pelat tak berhingga yang dibebani tegangan tarik

3.2.2. Faktor Konsentrasi Tegangan Pada Sifat Kelelahan Sambungan

Fatigue dan konsentrasi tegangan merupakan dua hal yang saling berkaitan, sehingga pembahasan mengenai salah satu topik akan selalu melibatkan yang lain. Kehadiran kedua hal tersebut akan menjadi faktor pengontrol dalam

desain struktur, karena kombinasi fatigue dan konsentrasi tegangan banyak menimbulkan kegagalan pada struktur sebagai akibat beban berulang.

Pada gambar 3.4-a ditunjukkan garis-garis gaya pada suatu pelat yang dibebani secara niaxial. Apabila pada pelat tersebut timbul suatu diskontnuitas, misalnya ditunjukkan dengan adanya suatu lubang, maka pada daerah disekitar lubang tersebut akan terbentuk konsentrasi aliran gaya seperti tampak pada gambar 3.4-b



Gambar 3.6. Aliran gaya pada pelat dan konsentrasi tegangan

Panjang vektor pada gambar 3.4-c menunjukkan besarnya tegangan yang terjadi pada beberapa titik sepanjang bidang pemotongan A-A, tegangan tersebut merata sepanjang bidang. Dengan adanya lubang pada pelat maka regangan dan tegangan akan terkonsentrasi disekitar lubang, gambar 3.4-d. Puncak tegangan pada bidang A-A terjadi pada daerah yang berbatasan dengan lubang, puncak tegangan ini mempunyai harga yang jauh lebih besar dari tegangan rata-rata yang terjadi pada struktur yaitu pada daerah dimana terjadi diskontinuitas atau

perubahan bentuk material, merupakan faktor yang sangat penting dalam desain struktur yang menerima beban berulang.

Dalam pelaksanaannya sulit untuk menentukan besarnya tegangan maksimum pada daerah konsentrasi tegangan berdasarkan analisa teoritis. Oleh karena itu biasanya untuk menentukan besarnya tegangan maksimum dilakukan dengan mengalikan suatu faktor tegangan rata-rata. Faktor ini disebut dengan *faktor intensitas tegangan* (K) yang diperoleh secara experimental pada beberapa perubahan bentuk yang umum seperti lubang, celah, takikan dan sebagainya. Faktor konsentrasi tegangan ini dinyatakan sebagai perbandingan antara tegangan maksimum (σ_{maks}) dengan tegangan rata-rata (σ_{mean}). Dan tegangan rata-rata biasanya dinyatakan dengan menggunakan penampang rata-rata (A_{mean}) pada bidang yang mengalami perubahan bentuk, sehingga pada gambar 3.4-d diatas.

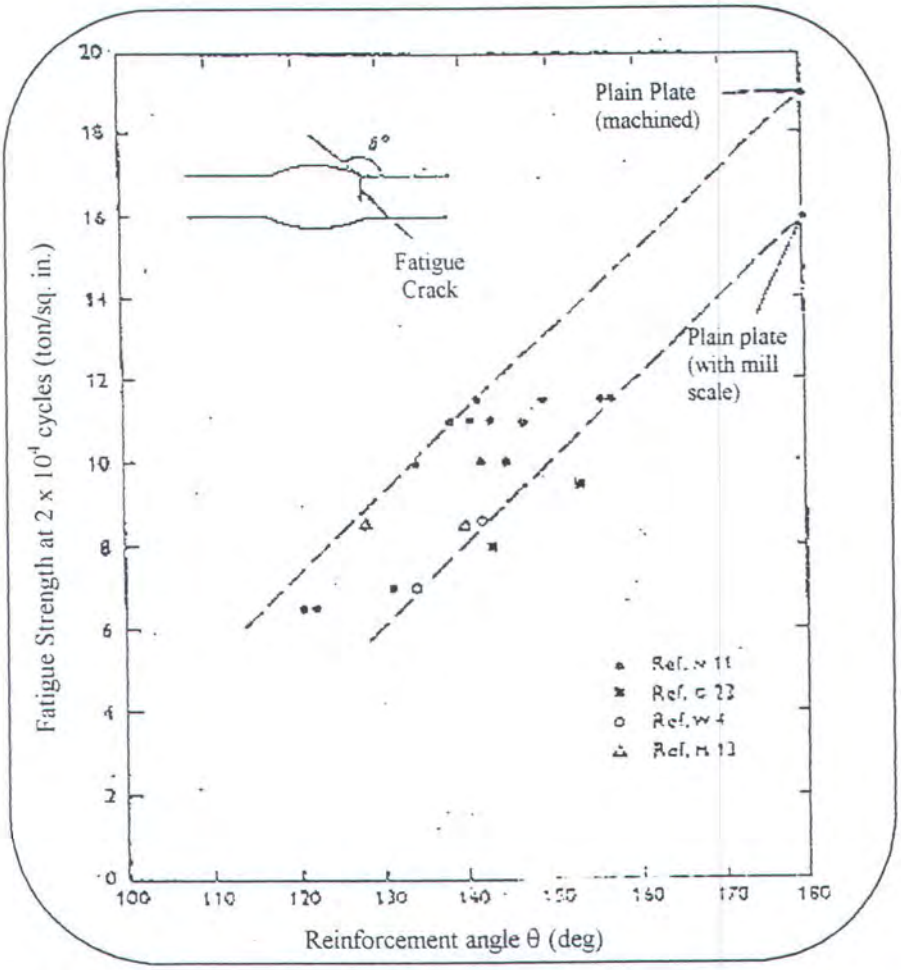
$$K = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_{mean}}$$

$$\sigma_{maks} = K.\frac{P}{A_{mean}} \quad ; \quad A_{mean} = (w - d).t$$

3.2.3. Pengaruh Bentuk Pada Kekuatan Kelelahan

Penelitian yang dilakukan oleh Newman dan Gurney pada hasil pengelasan sambungan tumpul yang dibuat secara manual dan otomatis dengan variasi sudut kemiringan sisi manik las terhadap permukaan material induk menunjukan bahwa besarnya sudut kemiringan sisi manik las bervariasi sepanjang pengelasan terutama pada pengelasan secara manual, akan tetapi kegagalan biasanya diawali pada titik dengan sudut kemiringan yang kecil. Kemudian hasil

pengujian yang berupa kekuatan fatigue dari masing-masing spesimen diplot terhadap sudut kemiringan sisi manik las, seperti pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Hubungan antara sudut kemiringan sisimanik las dengan kekuatan fatigue sambungan tumpul.

Perbedaan bentuk manik las ternyata juga mempengaruhi daerah timbulnya keretakan awal pada sambungan las [Newman & Gurney, 1974]. Hal ini terbukti pada pengujian yang menggunakan teknik pengelasan yang berbeda. Pada pengelasan manual menghasilkan permukaan manik las yang bervariasi ketinggian maupun sudutnya, dimana keretakan justru terkonsentrasi pada titik

toe. Sedangkan teknik pengelasan otomatis yang menghasilkan manik las rata dan halus kegagalan kurang dapat diperkirakan tempat kejadiannya karena banyak faktor lain yang mempengaruhi.

3.3. KEGAGALAN FATIGUE

Fatigue adalah salah satu mode kegagalan yang harus dipertimbangkan dalam mendesain suatu struktur, bahkan beberapa literatur menyebutkan bahwa 50% sampai dengan 90% dari seluruh kegagalan mekanis disebabkan oleh kegagalan fatigue. Fatigue adalah mekanisme yang terjadi sebagai suatu hasil dari sejumlah pembebanan yang berulang-ulang. Suatu pembebanan tunggal akan tidak mempengaruhi kekuatan suatu struktur selama pembebanan tersebut terjadi jauh dibawah beban kerusakan statisnya. Tetapi jika pembebanan tersebut terjadi secara berulang-ulang maka akan terjadi kegagalan fatigue.

Kelelahan atau fatigue dalam prosesnya mengalami beberapa fase yang terjadi selama umur kelelahan material , beberapa fase atau tahapan tersebut adalah :

- Cyclic slip (penggelinciran berulang)

  Pada pembebanan berulang yang relatif rendah (rendah dibandingkan dengan beban kegagalan statis), suatu gelinciran berulang akan terjadi yang tersusun dari sejumlah kecil butiran pollycristallisme material tersebut. Jika gelinciran berulang tidak terjadi maka fatikpun tidak akan terjadi.

- Crack nucleation (retak inti)

  Penyelidikan mikroskopis menyebutkan crack nucleation terjadi pada awal umur kelelahan material, mungkin hanya beberapa persen setelah umur

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

kelelahan terlampaui. Penelitian lain menyatakan bahwa crack nucleation adalah fenomena permukaan suatu material.

- Perambatan retak mikro

  Timbulnya retak mikro menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada ujung retak. Gelinciran berulang akan terkonsentrasi pada ujung retak yang menyebabkan penjalaran retak selanjutnya. Penelitian mikroskopis menunjukkan bahwa Perambatan retak mikro dapat meliputi sebagian besar dari umur kelelahannya. Dengan kata lain pada saat terakhir dari umur kelelahannya retak menjadi dapat dilihat dengan mata telanjang.

- Perambatan makro

  Perubahan dari perambatan retak mikro ke retak makro tidak mudah didefinisikan secara kuantitatif. Definisi secara normal dari retak makro adalah jika suatu retak dapat dilihat dengan mata telanjang. Sebagai tambahan dari apa yang telah disebutkan sebelumnya tentang umur kelelahan dari pada daerah retak mikro adalah perambatan retak makro berlaku jika tingkat perambatannya tidak tergantung lagi pada permukaan lokal dan kondisi seperti pada crack nucleation dan perambatan retak mikro.

- Kegagalan akhir

  Pada saat retak makro berkembang besar, penampang melintang dari material yang tidak retak (ligament) menjadi mengecil. Akhirnya daerah ini akan menjadi terlalu kecil untuk menahan beban siklus maksimumnya, kemudian kegagalan akhir akan terjadi pada siklus pembebanan terakhir dari umur kelelahannya.

3.3.1 Perkiraan Umur Lelah (Fatigue Life)

Memperkirakan umur lelah suatu komponen adalah suatu hal yang sulit. Kesukaran ini disebabkan oleh banyaknya faktor yang mempengaruhi umur lelah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi umur lelah adalah :

1. Beban :
   a. Jenis beban : uniaksial, lentur, puntir
   b. Frekuensi siklus beban
   c. Pola beban : periodik, random
   d. Besar tegangan
2. Kondisi material
3. Proses pengerjaan
4. Bentuk dan ukuran komponen
5. Temperatur operasi
6. Kondisi lingkungan

Perubahan kecil pada faktor tersebut diatas akan menyebabkan perubahan umur lelah. Oleh karena itu maka seringkali perlu dilakukan uji lelah pada suatu materia struktur yang lengkap ataupun pada suatu komponen dengan kondisi dan lingkungan yang mirip dengan situasi yang sebenarnya.

Meskipun demikian, uji lelah terhadap spesimen kecil (coupon test) tetap bermanfaat, karena datanya dapat digunakan untuk :

a. sumber kriteria patah lelah
b. mengisolasi berbagai variabel material

c. membandingkan besarnya pengaruh proses pengerjaan, kehalusan permukaan, prosses perlakuan panas, metode penyambungan dll terhadap fatigue.

Umur lelah biasanya dinyatakan sebagai jumlah siklus tegangan yang dicapai sampai spesimen atau komponen patah. Dengsn demikian umur total tersebut telah mencakup pula tahap awal retakan dan penjalaran retak yang telah cukup jauh penjalarannya akan menyebabkan patah menjadi dua.

Data kelelahan lain yang penting adalah laju penjalaran retakan (crack growth rate). Laju penjalaran retak inilah yang datanya dapat dipakai untuk memperkirakan umur lelah.

3.3.2 Ciri-ciri patah lelah

Permukaan patah lelah mempunyai ciri-ciri khusus yang pada dasarnya dapat dibagi menjadi dua daerah, yaitu daerah retak lelah dan daerah patah statik. Daerah retak lelah meliputi awal retakan (crack initiation) dan penjalaran retak (crack prpagation). Pada saat penjalaran retak telah berjalan demikian jauh maka tegangan yang bekerja pada penampang yang "tersisa" akan mencapai kekuatan tarik material, sehingga komponen akan patah menjadi dua. Tahapan inilah yang disebut patah statik.

Pemeriksaan patah lelah dimulai dengan cara visual ataupun dengan bantuan kaca pembesar. Banyak kasus patah lelah dapat segera dikenali dengan adanya ciri-ciri tersebut diatas. Daerah retak lelah dapat diidentifikasi bila ada tanda-tanda penjalaran retakan seperti adanya garis pantai (beach marks). Garis

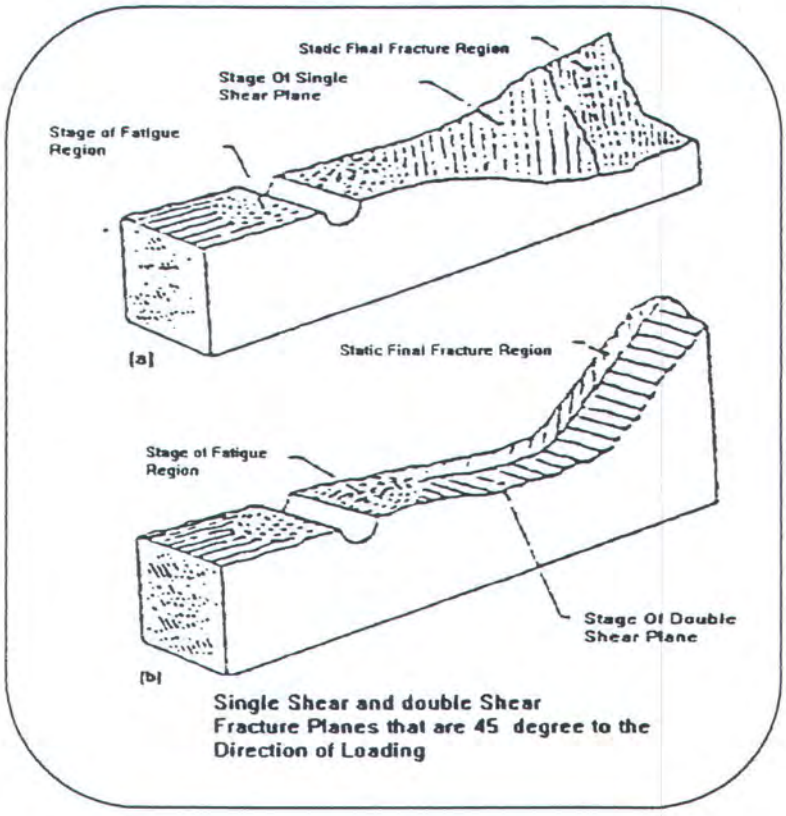
pantai merupakan front penjalaran retakan. Dengan demikian garis-garis pantai ini berkembang dari sumber retakan.

Garis pantai dapat terjadi akibat adanya perbedaan lamanya proses oksidasi pada permukaan retakan. Garis pantai dapat juga terjadi akibat perubahan pada kondisi pembebanan : frekuensi beban dan besarnya beban ataupun operasi peralatan yang kadang-kadang terhenti.

Ciri perambatan retakan yang berupa garis pantai tersebut adalah ciri yang paling baik dan jelas untuk menetapkan terjadinya patah lelah. Akan tetapi ciri garis pantai sering pula tidak muncul. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya kondisi pembebanan ataupun kondisi operasi yang menyebabkan nampaknya garis pantai. Beban dengan tegangan variabel yang konstan ataupun frekuensi yang tetap tidak akan menampakkan garis pantai pada permukaan patahannya.

Daerah patah statis atau daerah patah akhir (final fracture zone) biasanya memiliki ciri-ciri bidang patahan yang mirip patahan pada uji impact ataupun pada uji farcture toughness pada material yang sama. Bidang patahnnya nampak lebih kasar atau berserabut (fibrous).

Material ulet yang tipis menunjukkan ciri yang berbeda dengan patahan pada pelat yang tebal. Gambar 3.8 memperlihatkan patah lelah pada pelat yang relatif tipis. Daerah patah akhir membentuk sudut 45^0 terhadap permukaan. Bidang patah akhir ini dapat berupa bidang geser tunggal (single shear plane) ataupun bidang geser ganda (double shear plane).



Gambar 3.8 Bidang patah lelah pada pelat tipis

3.3.3 Peningkatan Kekuatan Fatigue

Ada tiga faktor utama yang mempengaruhi kekuatan fatigue sambungan las, yaitu : konsentrasi tegangan karena sambungan dan bentuk manik las, cacat bentuk dan distribusi tegangan serta tegangan sisa.berdasarkan hal tersebut diatas maka usaha untuk meningkatkan kekuatan fatigue sambungan dapat dogolongkan dalam dua kelompok :

1. Modifikasi bentuk manik las dan penghilangan cacat
2. Metode tegangan sisa

Metode peningkatan kekuatan fatigue dengan modifikasi bentuk manik las ini dapat dilakukan dengan penggerindaan. Penggerindaan ini dapat dilakukan dengan menggunakan rotary burr atau dengan disc grinding, yang dilakukan pada

seluruh permukaan manik las atau hanya pada titik toe saja. Tujuan dari penggerindaan ini adalah untuk mendapatkan permukaan manik las yang landai bahkan seluruh permukaan manik las dapat dihilangkan agar aliran tegangan pada sambungan tidak terganggu atau terpatahkan oleh adanya manik las. Manik las merupakan gangguan pada aliran tegangan sehingga menimbulkan konsentrasi tegangan pada daerah tersebut.

Laporan dari berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa kegagalan seringkali teerjadi dimulai dari adanya cacat pada hasil pengelasan, namun demikian dari pengujian spesimen yang tidak mengandung cacat didapatkan bahwa konsentrasi tegangan pada toe merupakan penyebab utama kegagalan fatigue. Oleh karena itu dengan menghilangkan manik las maka konsentrasi tegangan pada toe akan hilang, sehingga apabila tidak terjadi cacat pada pengelasan kekuatan sambungan terhadap beban berulang diharapkan sama dengan kekuatan logam induk. Disamping membawa keuntungan pada sifat kekuatan fatigue penggerindaan juga dapat menghasilkan kerugian pada kekuatan sambungan, yaitu munculnya goresan-goresan pad permukaan sambungan yang dapat berakibat timbulnya konsentrasi tegangan pada permukaan pelat. Oleh karena itu penggerindaan harus dilakukan dengan prosedur yang benar.

Selain dengan penggerindaan, proses pembentukan manik las dapat dilakukan dengan teknik pencairan (remelting). Proses ini dilakukan dengan menggunakan panas untuk mencairkan permukaan logam las dan membentuknya sehingga permukaannya halus dan sudut kemiringannya landai. Pemanasan ini dapat dilakukan dengan pengelasan TIG maupun pengelasan plasma

Teknik pencairan dengan menggunakan pengelasan TIG disebut dengan TIG Dressing. Proses ini menggunakan teknik pengelasan elektrode non-consumable tanpa menggunakan filler metal. Panas yang dihasilkan digunakan untuk mencairkan kembali manik las yang telah terbentuk. Pencairan dilakukan pada titik toe sehingga sudut kemiringan sisi manik las menjadi lebih besar.

Pada pembebanan berulang, kekuatan sambungan sangat ditentukan oleh besarnya konsentrasi tegangan. Semakin rendah tingkat konsentrasi tegangan yang terjadi semakin kecil kemungkinan timbulnya keretakan awal. Dengan demikian semakin panjang umur fatigue sambungan tersebut.

Bab IV

Tinjauan Ekonomis

MILIK PERPUSTAKAAN
ITS

BAB IV

TINJAUAN EKONOMIS

4.1 EFESIENSI PRODUKSI

Untuk mecapai efesiensi yang tinggi maka kemampuan elektroda las untuk mengisi kampuh las diusahakan dengan kecepatan tinggi sehingga pekerjaan pengelasan dapat diselesaikan dalam waktu singkat dan biaya produksi dapat diturunkan. Tapi kenyataan dilapangan tidak bisa demikian, tidak semua jenis elektroda dapat digunakan untuk mengelas dengan kecepatan tinggi dengan menghasilkan sambungan las yang baik. Oleh karena itu antara kecepatan pengelasan dengan jenis elektrode harus disesuaikan sehingga menghasilkan sambungan yang baik serta biaya serendah-rendahnya.

4.2 WAKTU PENGERJAAN

Dalam suatu pekerjaan perlu juga diperhitungkan masalah waktu pengerjaan. Waktu pengelasan atau penyambungan dua pelat dimulai dari persiapan alat-alat, penentuan posisi dari konstruksi dan pengelasannya sendiri, kemudian pembersihan dan pengemasan lat-alat. Demikian pula untuk sambungan rivet. Jadi waktu pengerjaan bukan hanya waktu untuk penyambungan saja, tapi waktu seluruh penyelesaian pekerjaan penyambungan sampai terbentuknya suatu konstruksi. Waktu pengelasan dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus pendekatan serta hasil observasi lapangan.

$$T = t_p + t_l + t_t + t_a + t_m$$

Dimana :

T = Waktu keseluruhan untuk pengerjaan

t_p = Waktu persiapan mesin dan alat bantunya, besarnya ± (10 – 20 %) t_l

t_l = Waktu yang diperlukan untuk pengelasan sebenarnya, besanya :

$t_l = Qs / I.K_m$ (jam)

Qs = Berat logam terlelehkan

$Qs = Vs . \gamma = A . L . \gamma$

A = Luas penampang las

L = Panjang las

γ = massa jenis logam las (gr/cm^3)

I = Arus (Ampere)

K_m = Koefisien leleh elektroda (gr/Amp. Jam atau gr/Amp. mnt)

t_t = waktu tambahan untuk ganti elektrode, pembersihan terak, pemindahan benda-benda alat bantu pengelasan, besarnya : ± (8 – 12)% t_l

t_a = waktu mengemasi peralatan las : ± (5 -10)% t_l

t_m = waktu untuk mempelajari gambar : ± (5 - 10)% t_l

Dalam penentuan waktu pengelasan yang paling berpengaruh adalah besarnya operation faktor dari pengelasan tersebut. Operation faktor adalah perbandingan waktu yang diperlukan untuk pengelasan saja (arc time) dibanding dengan waktu keseluruhan pekerjaan tersebut (total time).

$$\text{Operation faktor (OF)} = \frac{waktu_pengelasan}{waktu_total}$$

4.3 BIAYA PENGERJAAN

Perencanaan produksi disamping menghasilkan mutu hasil produksi dan kekuatannya juga perlu diperhatikan agar rencana pekerjaan tersebut dapat dilaksanakan dengan biaya yang serendah mungkin. Penggunaan bahan yang murah, pengurangan jumlah bahan elektroda dan penyederhanaan konstruksi untuk mempersingkat waktu merupakan faktor untuk mendapatkan biaya yang serendah mungkin. Tetapi diantara ketiganya akan bersifat berlawanan, sebagai contoh jika digunakan bahan yang murah maka hal itu dapat mengakibatkan mutu produksi yang kurang baik sehingga memerlukan waktu perbaikan lagi dan hal ini menambah biaya perbaikan sehingga secara keseluruhan biaya produksi bisa bertambah lagi. Oleh karena itu seorang perencana harus mempertimbangkan secara menyeluruh agar didapatkan biaya produksi yang serendah mungkin tanpa mengurangi kualitas produksi.

Besarnya biaya akhir dari suatu pekerjaan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

1. lokasi tempat pengerjaan
2. jenis peralatan dan peralatan bantu yang digunakan dalam penyelesaian pekerjaan.
3. pengalaman dari operator yang mengerjakan

Sedangkan biaya produksi secara garis besar dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu biaya langsung (Direct Cost) yaitu biaya secara langsung diperlukan untuk melaksanakan pekerjaan, meliputi biaya material dan tenaga operatornya. Biaya tidak langsung (Indirect Cost) yaitu biaya tambahan yang tidak secara langsung diperhitungkan seperti material bantu, biaya listrik dan sebagainya.

- Biaya Langsung (direct cost) dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Biaya material (material cost)

Yang termasuk dalam biaya material adalah harga elektroda atau rivet keseluruhan yang dipakai, hal ini termasuk ongkos transportasinya. Biaya pembelian peralatan yang bersifat khusus dalam pekerjaan, dimana diperkirakan hanya dapat dipakai untuk pekerjaan itu dan tidak dapat dipakai lagi, juga termasuk dalam biaya material, contohnya sikat las, sarung tangan dan lain-lain.

Biaya material seperti rivet atau elektroda didapat dengan mengalikan jumlah filler yang terkonsumsi tiap meter penyambungan dalam kilogram dengan harga filler yang digunakan setiap kilogram.

Biaya elektroda = berat elektroda yang dikonsumsi x harga elektroda per kilogram

Biaya material = biaya elektroda + harga peralatan khusus

2. Biaya Pekerja (labour cost)

Biaya tenaga kerja merupakan biaya langsung, dimana proses pekerjaan sangat tergantung oleh keadaan lokasi tempat pengerjaan dan juga ketrampilan operator. Pada kondisi yang sulit untuk dilakukan penyambungan akan memperbesar biaya tenaga kerja, karena lokasi dan posisi yang sulit akan menghambat kelancaran untuk melaksanakan pekerjaan, sehingga menambah waktu pengerjaan. Besarnya biaya tenaga kerja tergantung dari waktu yang diperlukan unuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Dalam hal ini waktu pengelasan dipengaruhi oleh operating factor.

$$\text{Biaya tenaga kerja} = \frac{T.Cr}{OF}$$

Dimana T = waktu yang dibutuhkan untuk pengelasan tiap meter

$$= \frac{WE}{M}$$

WE = berat elektroda yang diperlukan tiap meter pengelasan (kg/m)

M = berat elektroda yang meleleh tiap jam (kg/jam)

Cr = ongkos operator las per jam kerja (Rp./jam)

- Biaya tak langsung

Biaya tak langsung adalah biaya yang tidak secara langsung diperhitungkan pada proses pengerjaan yang disebut overhead cost. Biaya overhead atau biaya tambahan adalah semua biaya yang dikeluarkan baik untuk biaya material atau biaya tenaga kerja lain yang ikut diperhitungkan dalam penyelesaian pekerjaan. Yang termasuk biaya tak langsung adalah :

- Gaji pegawai pelaksana (executive) dari galangan, supervisor, pengawas keselamatan kerja, perawatan peralatan, dan lain-lain.
- Penyusutan peralatan yang digunakan untuk produksi.
- Sumber tenaga yang diperlukan untuk menggerakkan peralatan penunjang juga mesin yang digunakan. Sumber tenaga dapat berupa listrik atau bahan bakar.
- Biaya reparasi peralatan dan penunjangnya, juga perbaikan bangunan perusahaan.
- Pajak yang harus dibayar oleh perusahaan.

4.4 BIAYA KESELURUHAN

Biaya keseluruhan dari proses produksi terdapat perbedaan tipe analisa dan kebijakan pada manajemen perusahaan serta kondisi dari perusahaan, sehingga setiap perusahaan dalam penentuan perhitungan akhir dari biaya produksi berbeda-beda. Penentuan besarnya keuntungan yang diinginkan juga berbeda-beda. biaya keseluruhan dari pengelasan atau riveting merupakan biaya yang ditawarkan oleh perusahaan sebagai pihak pelaksana pekerjaan kepada pemilik kapal. Biaya tambahan karena adanya perbaikan hasil produksi juga harus diperhitungkan. Makin besar biaya tambahan makin kecil keuntungan yang akan diterima perusahaan.

Biaya pengelasan = Biaya material + biaya tenaga kerja + biaya tambahan

Pekerjaan lain seperti pekerjaan pembuatan alur tidak dimasukkan dalam biaya produksi, sebab pekerjaan tersebut sudah dilakukan pada waktu pemotongan material yang dimasukkan dalam biaya tersendiri.

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

BAB V

Pelaksanaan Pengujian

BAB V

PELAKSANAAN PENGUJIAN

5.1 PENDAHULUAN

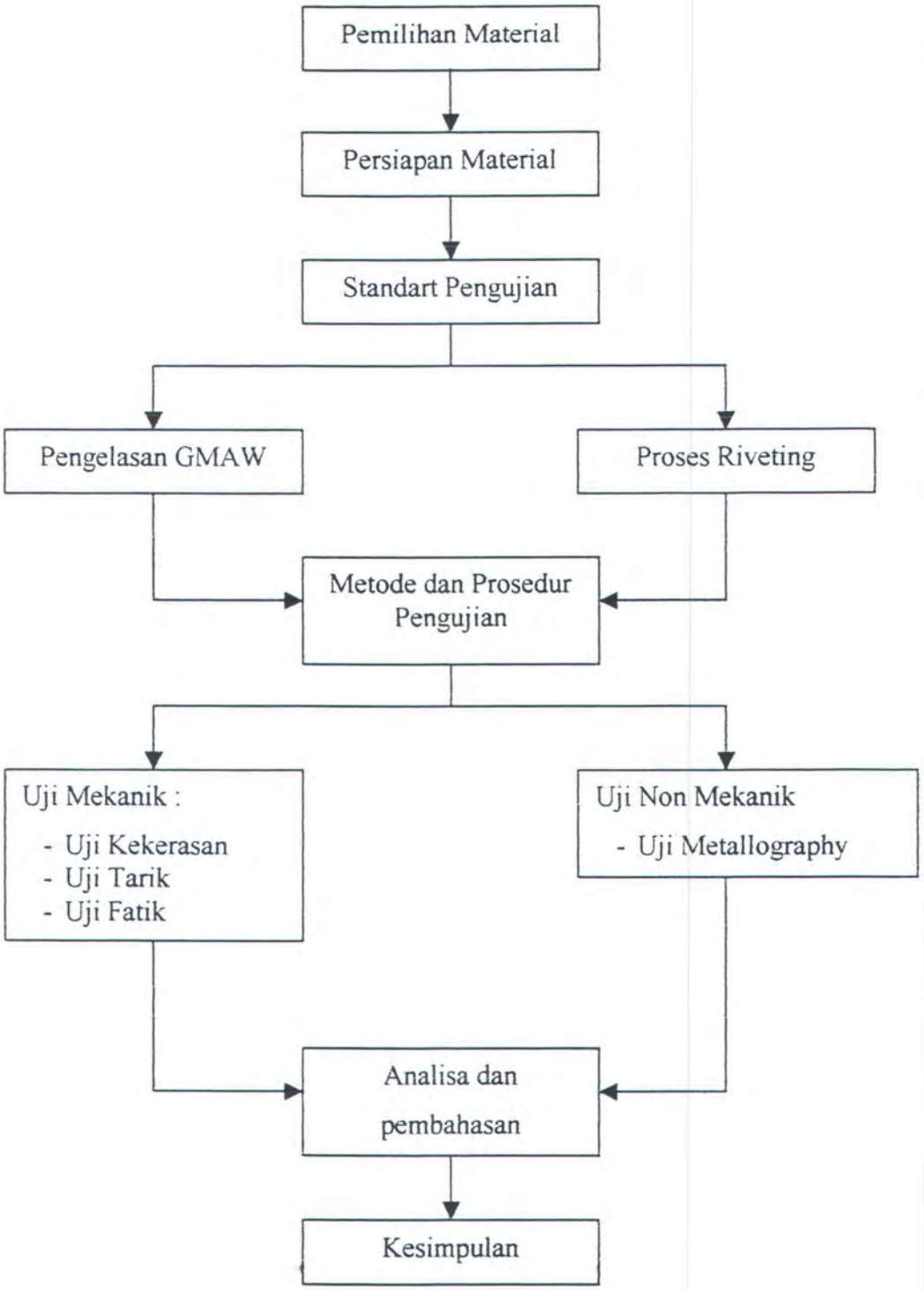
Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik dan pengujian *fatigue*, dimana dalam pengujian tarik ini akan diamati besarnya tegangan yang terjadi pada saat material mengalami yield dan tegangan yang dapat ditumpu oleh material sampai patah. Sedangkan pada pengujian *fatigue* akan diamati ketangguhan material dalam menerima beban berulang dengan amplitudo, *stress ratio* dan beban yang konstan dengan beberapa kondisi frekuensi pembebanan yang berbeda.

Pada pengujian *fatigue* pada jumlah *cycle* tertentu akan dilakukan pencatatan tentang ketangguhan material, yaitu kecepatan keausan pada material yang disambung dengan rivet dan pertambahan panjang yang terjadi pada material yang disambung dengan *spot welding*. Pada pengujian ini dilakukan dengan kondisi udara normal dengan beberapa keterbatasan.

Pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium konstruksi FTK ITS. Peralatan utama yang dibutuhkan adalah mesin uji tarik dan mesin uji *fatigue* dengan peralatan pendukungnya.

5.2 METODOLOGI PENELITIAN

Pada tugas akhir ini, metodologi penelitian adalah sebagai berikut :

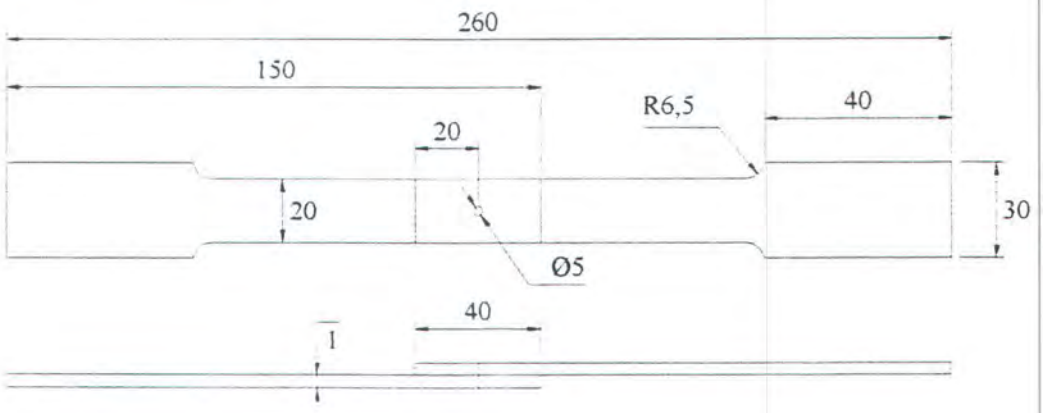

Pemilihan Material
Persiapan Material
Standart Pengujian
Pengelasan GMAW
Proses Riveting
Metode dan Prosedur Pengujian
Uji Mekanik :
- Uji Kekerasan
- Uji Tarik
- Uji Fatik
Uji Non Mekanik
- Uji Metallography
Analisa dan pembahasan
Kesimpulan

5.3 PERSIAPAN PENGUJIAN

5.3.1 Pembuatan Spesimen

Benda uji dibuat berdasarkan standart uji ASTM E 466 baik untuk uji tarik maupun uji *fatigue* dan material yang dipilih adalah baja lunak (*mild steel*) SS 41.

Pembuatan spesimen dilakukan dengan cara manual, yaitu dengan menggunakan alat bantu palu konde, pahat, mesin gerinda tangan dan mesin bor beserta mata bornya.

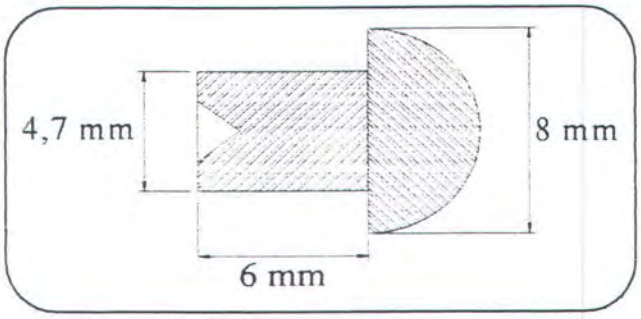


Gambar 5.1. Model spesimen yang dipersiapkan

Jumlah spesimen untuk uji *fatigue* yang dipersiapkan adalah sebanyak 6 buah spesimen dengan menggunakan metode sambungan rivet dan 6 buah spesimen dengan metode sambungan *spot welding* dengan menggunakan las GMAW atau MIG *welding*.

5.3.2 Proses Riveting

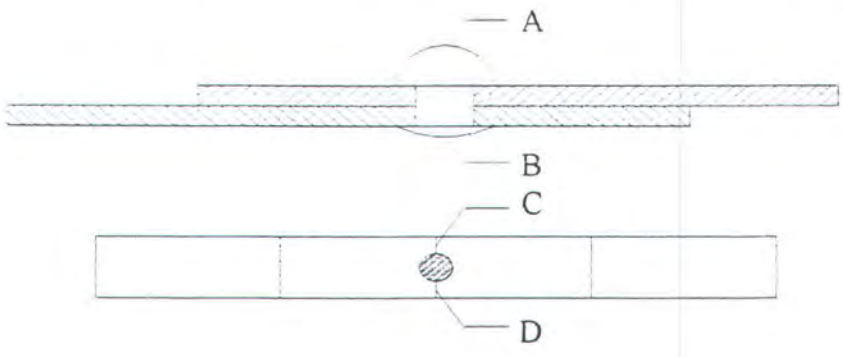
Jenis rivet yang digunakan adalah *semi tubular* rivet dengan diameter badan 4,7 mm dan bentuk kepala bulat, panjang badan 6 mm. Seperti digambarkan berikut :



Gambar 5.2. Jenis Rivet Semi Tubullar

Rivet jenis *semi tubullar* ini terdiri dari dua macam bahan yang berbeda kekerasannya. Untuk mengetahui sifat mekanis dari jenis rivet ini dapat diperoleh dengan melakukan pengujian pada material rivet dengan pengujian kekerasan.

Pemasangan rivet jenis ini hanya dilakukan dengan cara manual, yaitu pertama pelat yang akan disambung diberi lubang dulu dengan menggunakan bor, dimana lubang yang dibuat sedikit lebih besar dari badan rivet sehingga badan rivet dapat masuk, kemudian dengan menggunakan palu konde, yang ujungnya agak bulat, rivet dipukul. Pemukulan pertama dilakukan pada bagian tengah rivet kemudian daerah pinggir badan rivet untuk membentuk ujung kepala baru, demikian seterusnya sampai pelat yang disambung mendapat tekanan dari rivet.



Gambar 5.3. Hasil penyambungan pelat dengan rivet

Tabel 5.1. Data Spesimen Uji Fatigue sambungan Rivet

Spesimen	∅ Kepala A	∅ Kepala B	Tinggi kepala A	Tinggi kepala B	Lebar sisa	
					C	D
1	8.3	8.9	4	1.6	5.1	6.6
2	8.2	8.2	4.2	1.7	6.4	5.8
3	8.1	8	3.8	2.8	5.4	6.48
4	8.2	8.2	3.5	3	7	4.4

5.3.3 Proses Spot Welding dengan Mesin Las GMAW

Jenis pengelasan yang digunakan adalah las GMAW dengan posisi flat atau datar. Pada pengelasan ini menggunakan beberapa parameter yang telah ditentukan, yaitu :

- Sumber arus : 120 Ampere
- Voltase tegangan : 30 Volt
- Gas flow : 11 liter/min
- Waktu pengelasan : ± 1,5 dt
- Shielding gas : CO_2
- Tekanan tabung : 75 bar
- Wire Consumed : ± 170 mm/spot

Data mesin las GMAW :

- Merk : ESAB
- Type : LAH 500
- Frequency Input : 3 – 50 Hz
- Alimentation : 3 – 60 Hz
- Arus / Tegangan : 50 A / 16 V – 250 A / 39 V

Data elektroda yang dipakai:

- Merk : ESAB

- Diameter elektroda : 1 mm
- Type elektroda : Spool Type
- Standart : AWS A 5.18 : ER 70 S-6
  : DIN 8559 : SG2

Jenis pengelasan yang digunakan adalah GMAW atau MIG *welding* dengan gas pelindung CO_2 dan menggunakan arus DCRP (*Direct Current Reserve Polarity*). Sebelum pengelasan dilakukan, permukaan material harus dibersihkan dari cat, kerak dan kotoran dan posisi kedua material tidak ada rongga atau kedua permukaan bahan yang akan dilas satu sisi harus menempel satu dengan yang lainnya. Hal ini harus dilakukan agar tidak terjadi gangguan dalam penembusan logam las.

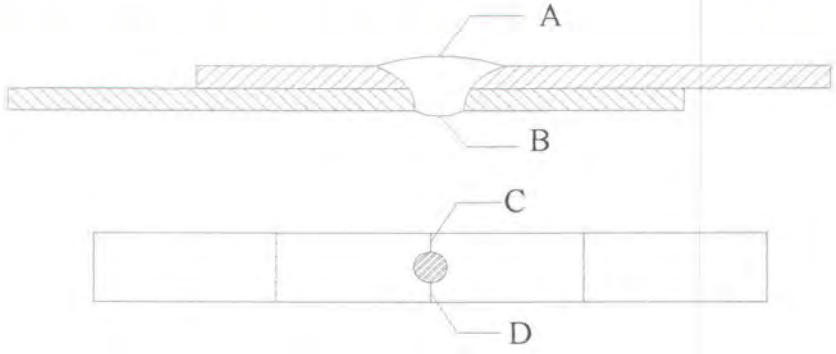
Posisi kemiringan pengelasan terhadap arah horizontal sekitar 45° dan dalam hal ini dianggap sama dalam setiap pengelasan spot untuk tiap-tiap spesimen. Jarak antara eleklrode las dengan base metal pada waktu pengelasan dianggap sama, yaitu sekitar 5 mm. Hal ini dikarenakan sulitnya menentukan jarak tersebut secara konstan dalam pengelasan semi otomatis.

Pengelasan dengan menggunakan MIG *welding* ini menghasilkan hasil las-lasan yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa hal, seperti pengaruh lamanya waktu pengelasan spot, jarak antara elektrode las dengan *base metal* pada waktu pengelasan, pengaruh posisi sudut kemiringan pengelasan, dan juga bisa disebabkan karena tidak lancarnya distribusi gas pelindung sehingga terjadi banyak percikan (*splatter*) pada waktu pengelasan.

Selanjutnya untuk metode sambungan *spot welding* ini akan dibedakan menjadi tiga, pengelompokan ini berdasarkan besarnya diameter penembusan dari

setiap pengelasan spot untuk tiap-tiap spesimen. Dapat digambarkan bahwa untuk penembusan yang mempunyai diameter besar, dianggap pengelasan tersebut mempunyai penetrasi yang dalam dan untuk selanjutnya disebut dengan pengelasan *Variasi I*. Sedangkan untuk diameter penembusan sedang, dianggap penetrasi lasnya juga sedang dan selnjutnya disebut dengan pengelasan *Variasi II*. *Variasi III* untuk pengelasan dengan penetrasi dangkal dengan diameter penembusan las kecil.

Pada *spot welding* ini, perbedaan hasil pengelasan untuk tiap variasi diatas disebabkan oleh perbedaan waktu pengelasan. Untuk variasi I lama rata-rata waktu pengelasan sekitar 2,2 detik, sedangkan Variasi II rata-rata waktu pengelasan sekitar 1,6 detik. Dan untuk Variasi III lama rata-rata waktu pengelasannya adalah sekitar 1,0 detik. Untuk sambungan rivet, penyambungan dilakukan dengan cara manual yaitu dengan menggunakan palu konde biasa, dimana lama waktu penyelesaian tiap sambungan adalah sekitar 3,5 menit.



Gambar 5.4. Hasil penyambungan pelat dengan spot welding

Data tentang dimensi spesimen hasil sambungan baik untuk *spot welding* dan *rivetting* ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 5.2. Data Spesimen Uji Fatigue Sambungan Spot Welding

Metode Spot Welding Variasi I

Spesimen	∅ Manik A	∅ Manik B	Tinggi Manik A	Tinggi Manik B	Lebar sisa	
					C	D
1	13.2	6.7	1.1	0.6	8.3	5.5
2	13.4	6.2	1.4	0.84	7.66	6.84
3	13.4	8.24	0.8	0.6	7.6	4.96
4	13.5	7.66	1.1	0.98	6.6	6.24

Metode Spot Welding Variasi II

Spesimen	∅ Manik A	∅ Manik B	Tinggi Manik A	Tinggi Manik B	Lebar sisa	
					C	D
1	12.6	3.6	1.28	0.4	8.7	8
2	13.3	3.74	1.08	0.2	8.7	8.26
3	12.0	4.0	1.1	0.4	8.3	8.2
4	12.0	4.3	1.2	0.3	9.1	7

Metode Spot Welding Variasi III

Spesimen	∅ Manik A	∅ Manik B	Tinggi Manik A	Tinggi Manik B	Lebar sisa	
					C	D
1	12.0	1.5	1.9	0	11.1	8.4
2	11.28	1.84	1.28	0	10.18	8.48
3	9.64	1.28	1.1	0	10.36	8.96
4	12.0	2.0	1.38	0	10.34	8.16

5.4 PENGUJIAN

5.4.1 Pengujian Mekanik

Pengujian mekanik dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana kekuatan sambungan dari material uji dengan metode sambungan yang berbeda, yaitu dengan *rivetting* dan *spot welding*. Dimana dalam pengujian mekanik ini dilakukan dengan tiga cara, yaitu : uji tarik, uji kekerasan dan uji fatik. Sedangkan pengujian non mekaniknya adalah penguian *metalloghraphy* yang dilakukan pada sambungan *spot welding*.

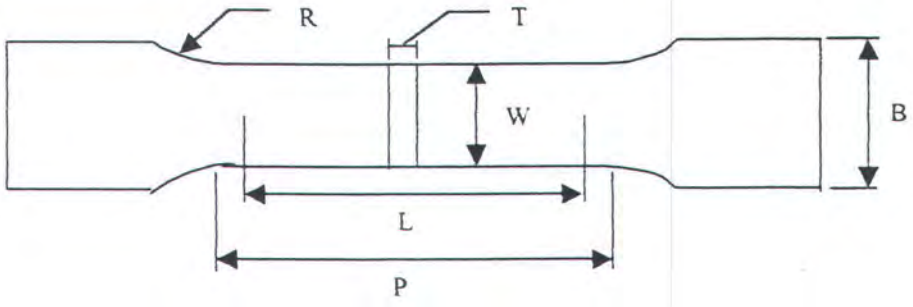
5.4.1.1 Pengujian Tarik

Tujuan dari dilakukannya pengujian tarik pada material adalah untuk menentukan dan mendapatkan sifat mekanik dari bahan atau logam, yaitu :

kekuatan mulur, kekuatan putus, perpanjangan, reduksi penampang, modulus elastisitas dan sebagainya.

Kekuatan tarik merupakan sifat mekanik logam yang sangat penting, terutama untuk perencanaan konstruksi maupun pengerjaan logam. Pada pengujian tarik spesimen dikenakan beban yang semakin besar secara kontinu, sampai batang uji putus, sehingga dari hasil uji tarik ini akan diketahui sifat mekanik material tersebut.

Bentuk geometry dari spesimen uji tarik untuk raw material menurut standart JIS. Untuk sheet material dengan tebal dibawah 3 mm mempunyai bentuk seperti gambar dibawah ini.



Gambar 5.5. Bentuk Spesimen Uji Tarik Raw Material

Tabel 5.3. Geometry Spesimen Uji Tarik Raw Material

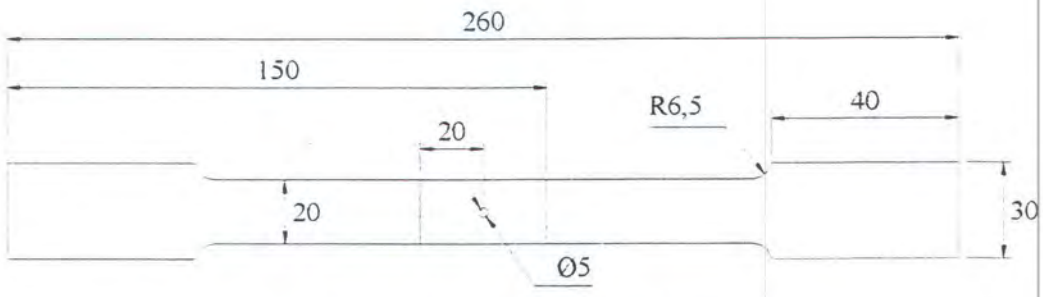
Width (W)	Gauge length (L)	Pararel Length (P)	Radius fillet (R)	Thickness (T)
25	50	60 approx.	15 min	1

* Radius of fillet shall be 20 to 30 mm and width (B) of gripped end shall be 30 mm or over
* Dimension in mm

Maksud dilakukannya pengujian tarik dari raw material ini adalah untuk mengetahui sifat mekanik dari base metal yang digunakan pada struktur tersebut. Hal ini sangat penting dilakukan dalam perencanaan struktur karena perancang harus mengetahui beban maksimum yang dapat diterima logam tersebut dan

kemudian dibandingkan dengan beban aplikasi struktur apakah material tersebut mampu menahan beban minimum yang telah direncanakan.

Sedangkan bentuk penampang spesimen uji tarik untuk material sambungan *spot welding* one side dan rivet menurut standart ASTM E 466 mempunyai bentuk seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 5.6. Bentuk Spesimen Uji Tarik Untuk Pelat Sambungan

Tabel 5.4 Geometry Spesimen Uji Tarik Sambungan Spot Welding

Variasi I (Penetrasi dalam)

Spesimen	∅ Manik A	∅ Manik B	Tinggi Manik A	Tinggi Manik B	Lebar sisa	
					C	D
1	12.2	7.8	1.3	2.1	7.6	5.6
2	12.0	6.3	1.8	1.0	7.8	6.9
3	11.8	8.5	1.6	1.5	6.5	6

Variasi II (Penetrasi sedang)

Spesimen	∅ Manik A	∅ Manik B	Tinggi Manik A	Tinggi Manik B	Lebar sisa	
					C	D
1	13	5.7	1.5	0.4	8	7.3
2	12	5	1.5	0.5	7	8.7
3	13.4	4.5	2	0.2	8.5	7.5

Variasi III (Penetrasi dangkal)

Spesimen	∅ Manik A	∅ Manik B	Tinggi Manik A	Tinggi Manik B	Lebar sisa	
					C	D
1	12	2	1.2	0.1	7.6	10.2
2	10.5	2	2	0.1	8.3	9.7
3	12	2	1.8	0	9.4	8.6

* Semua dimensi dalam mm
* Keterangan tabel lihat gambar 4.3. dan gambar 4.4.

Tabel 5.5. Geometry Spesimen Uji Tarik Sambungan Rivet

Spesimen	∅ Manik A	∅ Manik B	Tinggi Manik A	Tinggi Manik B	Lebar sisa	
					C	D
1	8.2	9.2	4.2	1.8	5.4	6.48
2	8.2	9.0	4.2	2.0	5.1	6.85
3	8.2	8.9	4	1.7	5.9	6.1

* Semua dimensi dalam mm
* Keterangan tabel lihat gambar 4.3. dan gambar 4.4.

Tujuan dilakukannya pengujian tarik dari material sambungan baik untuk sambungan *spot welding* maupun sambungan rivet adalah untuk mengetahui sifat mekanik sambungan tersebut, yaitu untuk mendapatkan kekuatan mulur dan kekuatan putus dari sambungan. Perancang yang memakai desain struktur yang menggunakan sambungan rivet ataupun *spot welding* ini harus mengetahui batas beban maksimum yang dapat ditopang oleh sambungan tersebut, sehingga hasil perencanaan tersebut tidak gagal.

Selama pelaksanaan uji tarik ini setiap saat dicatat/tercatat dengan grafik yang tersedia pada mesin tarik, yaitu besarnya gaya tarik yang bekerja dan besarnya gaya yang terjadi sampai batang uji putus. Dari hasil pengujian didapatkan suatu data yaitu beban lumer (*yield*) dan beban maksimum (*ultimate*), yang kemudian dihitung dengan rumus tegangan :

$$\sigma = \frac{P}{A_o}$$

dimana : σ = Tegangan (KN/mm^2)

P = beban (KN)

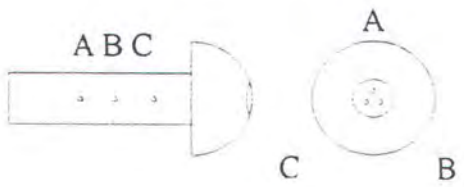
A_o = Luas penampang beban uji mula-mula

Dan untuk rumus tegangan geser pada uji tarik adalah sebagai berikut:

$$\tau = \frac{\sigma_{yield}}{2} \quad (KN/mm^2)$$

5.4.1.2 Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan dilakukan adalah berdasarkan beban statis. Pengujian kekerasan dalam penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan *Rockwell C* dengan beban 20 kPa. Pada pengujian kekerasan *Rockwell C* digunakan identor intan yang berbentuk kerucut. Untuk pengujian kekerasan ini hanya dilakukan pada material rivet saja, karena untuk mengetahui spesifikasi dari material rivet yang digunakan. Dimana pada material rivet terdiri dari dua macam bahan yang berbeda kekerasannya. Pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan data aktual pengujian, dimana titik-titik pengujian yang dilakukan pada material rivet dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.7. Titik Pengujian Kekerasan

5.4.1.3 Pengujian Fatigue

Pengujian *fatigue* bertujuan untuk mengetahui ketangguhan material dalam menerima beban tertentu secara berulang-ulang. Pada pengujian *fatigue* ini menggunakan mesin uji *fatigue* ESH testing dengan menggunakan test program "block diagram", dimana beban dalam satuan KN akan dikonversikan kedalam Stroke (dengan satuan mm). Dimana untuk setiap material akan mempunyai konversi yang berbeda. Ratio pembebanan yang digunakan untuk semua pengujian *fatigue* adalah 0,05.

Dalam pengujian *fatigue* ini, spesimen akan menerima beban konstan secara berulang sesuai dengan gelombang sinusoidal. Variasi dalam pelaksanaan pengujian *fatigue* ini adalah pada beban, dimana untuk mendapatkan grafik S-N diagram perlu adanya pemberian beban yang berbeda.

Beban maksimum yang digunakan dalam pengujian *fatigue* ini adalah sebesar beban yield material sambungan *spot welding* dan sambungan rivet.

P_{max} = P_{yield}, 2/3 P_{yield}, ½ P_{yield}, 1/3 P_{yield}, ¼ P_{yield}

P_{min} = P_{max} x Ratio pembebanan

Ratio pembebanan yang digunakan adalah 0.05

$$P_{rata\text{-}rata} = \frac{(P\,\max - P\,\min)}{2} + P\,\min$$

$$\text{Ampl.} = \frac{P\,\max - P\,\min}{2}$$

Tabel 5.6 Data Beban Uji Fatigue Sambungan Rivet

Number of Spesimen	Beban Uji Fatigue Sambungan Rivet			
	I	II	III	IV
Load Max (KN)	3.79	2.53	1.9	1.263
Load Min (KN)	0.19	0.13	0.095	0.062
Amplitudo (KN)	1.8	1.2	0.9	0.6
Mean Load (KN)	1.99	1.33	0.995	0.665
Frekuensi (Hz)	10	10	10	10
Gelombang	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal
Luas Penamp (mm^2)	28.5	28.5	28.5	25
Tensile Stress (N/mm2)	132.982	88.772	66.67	50.52

Tabel 5.7 Data Beban Uji Fatigue Sambungan Spot Welding Variasi I

Number of Spesimen	Beban Uji Fatigue Spot Welding Variasi I			
	I	II	III	IV
Load Max (KN)	3.79	2.53	1.9	1.263
Load Min (KN)	0.19	0.13	0.095	0.062
Amplitudo (KN)	1.8	1.2	0.9	0.6
Mean Load (KN)	1.99	1.33	0.995	0.665
Frekuensi (Hz)	10	10	10	10
Gelombang	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal
Luas Penamp (mm^2)	27.6	29	25.12	25.68
Tensile Stress (N/mm2)	91.67	65.52	50.28	36.88

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Tabel 5.8 Data Beban Uji Fatigue Sambungan Spot Welding Variasi II

Number of Spesimen	Data Beban Uji Fatigue Spot Welding Variasi II			
	I	II	III	IV
Load Max (KN)	3.79	2.53	1.9	1.263
Load Min (KN)	0.19	0.13	0.095	0.062
Amplitudo (KN)	1.8	1.2	0.9	0.6
Mean Load (KN)	1.99	1.33	0.995	0.665
Frekuensi (Hz)	10	10	10	10
Gelombang	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal
Luas Penamp (mm^2)	4.0	4.0	5.0	6.0
Shear Stress (N/mm2)	947.5	631.75	417.61	210.56

Tabel 5.9 Data Beban Uji Fatigue Sambungan Spot Welding Variasi III

Number of Spesimen	Beban Uji Fatigue Spot Welding Variasi I			
	I	II	III	IV
Load Max (KN)	1.8	1.2	0.6	0.45
Load Min (KN)	0.09	0.06	0.03	0.0225
Amplitudo (KN)	0.855	0.57	0.285	0.214
Mean Load (KN)	0.945	0.63	0.315	0.24
Frekuensi (Hz)	10	10	10	10
Gelombang	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal
Luas Penamp (mm^2)	3.0	3.0	3.0	4.0
Shear Stress (N/mm2)	600	400	300	150

5.4.2 Pengujian Metallography

Pengujian *metallography* pada penelitian ini adalah suatu metode untuk mengetahui dan menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optik dan untuk mengetahui besar sudut antara manik las dengan base metal yang terbentuk pada hasil *spot welding*. Dimana besarnya sudut manik las ini akan sangat berpengaruh pada besarnya konsentrasi tegangan pada sambungan las.

Pengamatan metallography didasarkan pada perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang masuk kedalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap dan terang). Apabila terhadap permukaan logam yang telah dihaluskan (*polish*) dicelupkan kedalam suatu media kimia (*etsa*), maka permukaan logam tersebut akan dilarutkan. Struktur Mikro yang berbeda

akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Dengan demikian apabila seberkas sinar dikenakan pada permukaan logam yang telah ditest maka logam tersebut akan memantulkannya dengan sudut permukaan pada bidang yang terkena sinar.

Agar permukaan logam dapat diamati secara metallography maka terhadap permukaan tersebut terlebih dahulu dilakukan persiapan sebagai berikut :

1. Pemotongan spesimen

   Pemotongan diusahakan agar permukaan rata sehingga mudah untuk digosok dan dalam pemotongan harus menggunakan media pendingin agar struktur mikro yang ada tidak rusak.

2. Grinding (penggosokan spesimen)

   Penggosokan spesimen dilakukan dengan amplas mulai dari grade yang paling kasar dengan urutan sebagai berikut : 120, 240, 400, 800, 1000, 1500, 2000. Selama penggosokan kertas sebaiknya dialiri air untuk mengalirkan geram yang timbul dan juga sebagai media pendingin.

3. Polishing

   Pemolesan dilakukan dengan kain beludru yang ditaburi serbuk alumina 0,1 mikron. Polishing berakhir jika permukaan spesimen sudah seperti cermin.

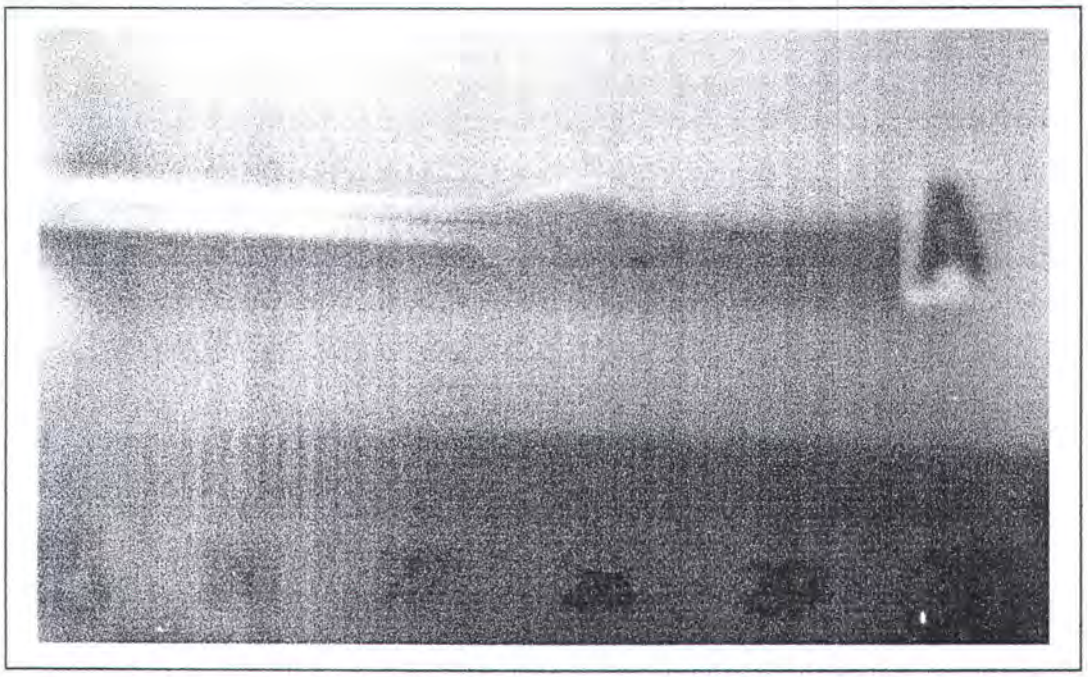
4. Pencucian dengan alkohol

5. Pengetsaan

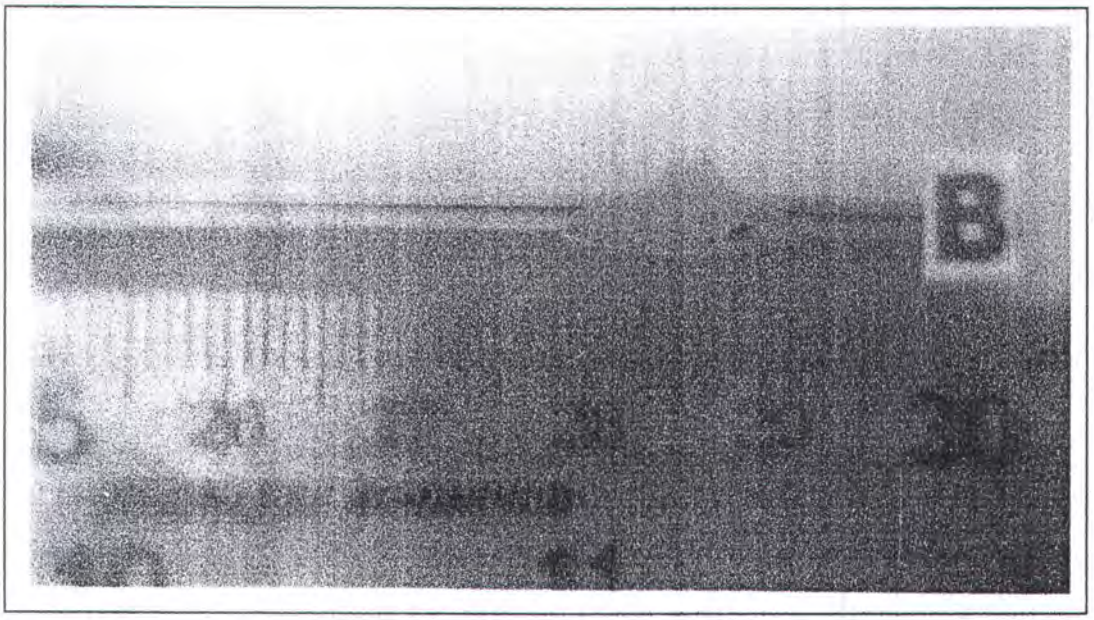
   Dilakukan dengan mencelupkan spesimen kedalam larutan menggunakan nital 2% dengan waktu yang singkat.

6. Foto makro

Setelah permukaan spesimen dibersihkan maka spesimen siap untuk diamati dengan mikroskop (pembesaran 1,5 X) dan diambil foto metallographynya.



Gambar 5.8 Hasil foto makro spot welding joint variasi I (perbesaran 1,5 x)



Gambar 5.9 Hasil foto makro spot welding joint variasi I (perbesaran 1,5 x)

BAB VI

Analisa Data Hasil Pengujian

BAB VI

ANALISA DATA HASIL PENGUJIAN

Dari pelaksanaan penelitian seperti yang dilaksanakan menurut petunjuk pelaksanaan penelitian dan metode penelitian pada bab sebelumnya, maka diperoleh hasil penelitian laboratorium yang terbagi atas : hasil uji tarik, hasil uji fatigue, hasil uji kekerasan pada material rivet dan hasil pengamatan struktur makro hasil spot welding.

6.1 HASIL PENGUJIAN TARIK

Dari hasil pengujian untuk raw material didapatkan data beban lumer, beban maskimum dan perpanjangannya, yang kemudian dihitung tegangan dan regangannya.

Dari hasil pengujian didapatkan harga-harga sebagai berikut :

$$\sigma = P / A_o$$

dimana : σ = Tegangan (KN/mm^2)

P = Beban

A_o = Luas penampang beban uji mula-mula

$$\varepsilon = \Delta L / L_o = (L - L_o) / L_o$$

dimana : ε = Elongation (%)

L_o = Panjang batang uji mula-mula

L = Panjang batang uji setelah menerima beban

Tabel 6.1 Hasil Uji Tarik Raw Material

Items	Spesimen Raw material			Nilai Rata-rata
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
1. Tensile Strength (N/mm^2)	404	408	403	405
2. Yield Strength (N/mm^2)	336	334	337	335.67
3. Elongation (%)	0.346	0.356	0.351	0.351

Berdasarkan data kekuatan tarik diatas, maka dapat dilihat bahwa harga kekuatan tarik tersebut sebenarnya hanya fluktuasi harga kekuatan tarik dari logam induk.

Pada pengujian tarik untuk spesimen yang telah disambung dengan menggunakan metode rivet, hasil yang didapatkan dapat dilihat pada table 6.2. Pada hasil uji tarik ini didapatkan harga tegangan patah dan tegangan mulurnya.

Table 6.2 Data Hasil Uji Tarik Untuk Sambungan Rivet

Items	Spesimen sambungan Rivet			Nilai Rata-rata
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
Luas Penampang (mm2)	24	24.5	24	24.167
P ultimate (N)	3690	3400	3740	3610
P yield (N)	1270	1360	1270	1300
Tensile Strength (N/mm^2)	153.75	138.78	155.33	149.287
Yield Strength (N/mm^2)	52.92	55.51	52.92	53.783

Sedangkan data hasil uji tarik untuk spesimen dengan menggunakan metode sambungan las Spot welding one side dengan las GMAW (MIG welding) dapat dilihat pada table berikut. Pada pengujian ini data yang didapatkan adalah harga tegangan patah dan mulurnya.

Tabel 6.3 Data Hasil Uji Tarik Sambungan Spot Welding Variasi I

Items	Data Hasil Pengujian Variasi I			Nilai Rata-rata
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
Luas Penampang (mm^2)	24.8	28.2	25	26
P ultimate (N)	6300	6400	6650	6450
P yield (N)	3400	3790	3680	3623.33
Kekuatan patah (N/mm^2)	254	227	266	249
Kekuatan mulur (N/mm^2)	137	181	147.2	155.067
Diameter penembusan	6.3	7.8	8.5	7.53

Tabel 6.4 Data Hasil Uji Tarik Sambungan Spot Welding Variasi II

Items	Data Hasil Pengujian Variasi II			Nilai Rata-rata
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
Luas Penampang (mm^2)	11.4	10.0	9.0	10.13
P ultimate (N)	7200	6890	6950	7013.33
P yield (N)	3700	3600	3750	3683.33
Kekuatan patah (N/mm^2)	631.58	689	772.22	697.6
Kekuatan mulur (N/mm^2)	324.56	360	416.67	367.077
Diameter penembusan	5.7	5	4.5	5.067

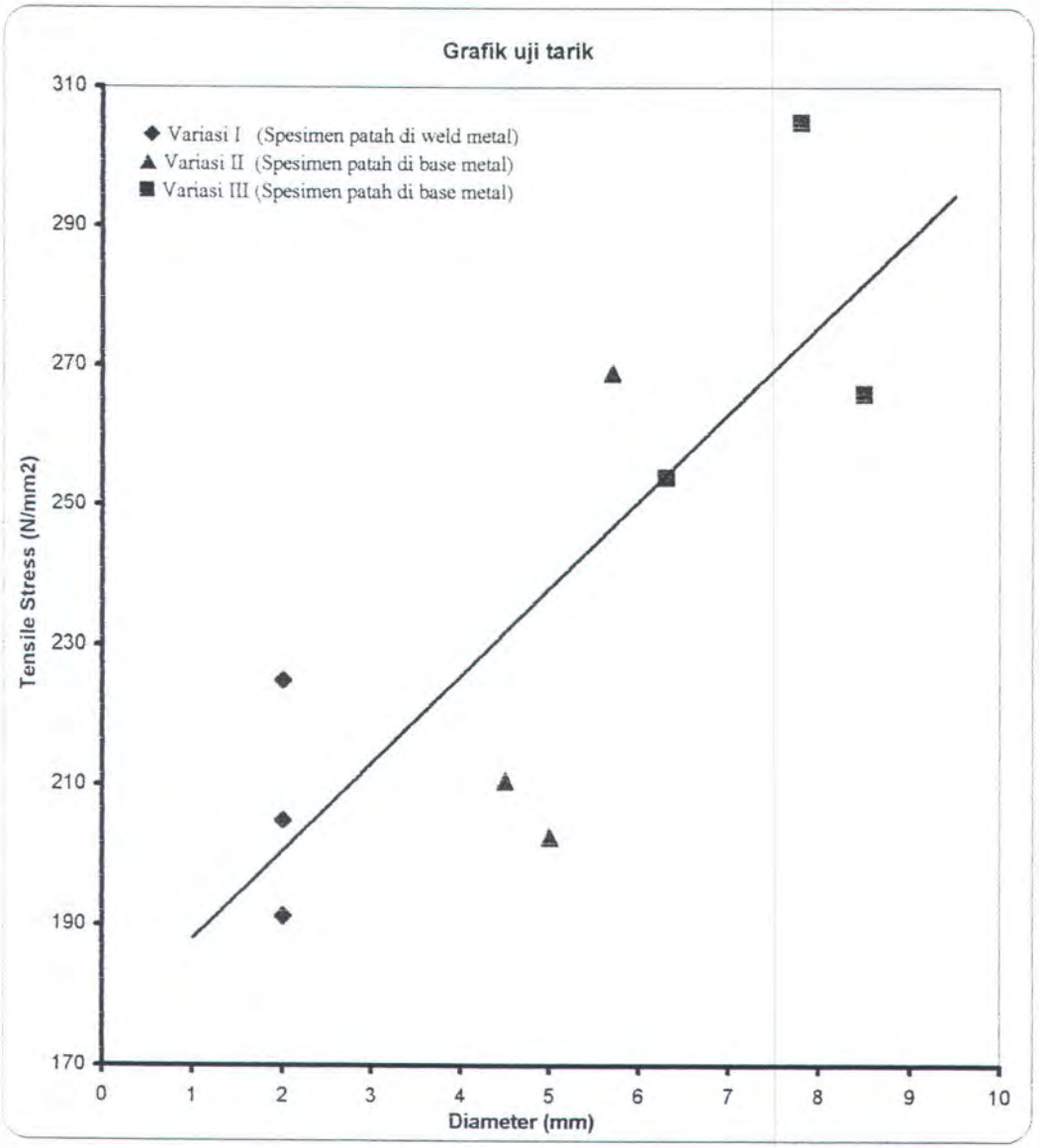
Tabel 6.5 Data Hasil Uji Tarik Sambungan Spot Welding Variasi III

Items	Data Hasil Pengujian Variasi III			Nilai Rata-rata
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
Luas Penampang (mm^2)	4	4	4	4
P ultimate (N)	4300	3700	2900	3633.33
P yield (N)	1800	1640	1530	1656.67
Kekuatan patah (N/mm^2)	225	205	191	207
Kekeuatan mulur (N/mm^2)	450	410	383	414.33
Diameter penembusan	2	2	2	2

Dari data hasil uji tarik sambungan rivet, dapat dianalisa bahwa konsentrasi tegangan sangat berpengaruh pada spesimen tersebut. Konsentrasi tegangan pada sambungan rivet diakibatkan oleh adanya lubang pada sambungan sehingga tegangan terkonsentrasi pada daerah disekitar lubang tersebut. Konsentrasi tegangan pada sambungan rivet juga diakibatkan oleh adanya interfensi dari rivet, dimana sambungan material rivet bukan merupakan sambungan yang homogen dengan base metal, sehingga mengakibatkan adanya konsentrasi tegangan pada daerah lubang rivet. Akibat dari konsentrasi tegangan ini dapat menurunkan beban maksimum yang dapat diterima spesimen tersebut.

Sedangkan pada spesimen yang menggunakan metode sambungan spot welding satu sisi, data hasil uji tariknya menunjukkan bahwa besarnya beban yang dapat ditumpu oleh sambungan tersebut lebih besar dari metode sambungan rivet.

Hal ini dikarenakan oleh sifat dari weld metal, dimana untuk metode sambungan spot welding, sifat dari weld metal akan mendekati sifat dari base metalnya. Pada spesimen sambungan spot welding, konsentrasi tegangan akan terpusat pada bentuk dan tinggi manik las serta luasnya penampang pengelasan dalam menumpu beban.



Grafik 6.1 Grafik Uji Tarik pada spesimen spot welding joint variasi 1, 2 dan 3

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

6.2 HASIL PENGUJIAN KEKERASAN

Setelah melakukan pengujian kekerasan pada sampel material rivet, maka didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 6.6 Hasil Pengujian kekerasan Rockwell C (HRC)

Hardness Test pada badan rivet.

Spesimen	Titik Pengujian Kekerasan			Σ Rata-rata	Konversi ke σ_{ult} (N/mm^2)
	A	B	C		
1	23	22	22	22.33	800
2	24	22	25	23.67	830
3	25	30	27	27.33	900

Hardness Test pada kepala rivet.

Spesimen	Titik Pengujian Kekerasan			Σ Rata-rata	Konversi ke σ_{ult} (N/mm^2)
	A	B	C		
1	31	33	32	32	1025
2	41	42	44	42.33	1320
3	30	34	36	33.33	1050

Hasil pengujian kekerasan ini dapat dianalisa bahwa setelah dilakukan pengonversian hasil uji kekerasan material ke tegangan tarik, maka dapat dilihat bahwa kecenderungan nilai kekuatan tariknya melebihi nilai kekuatan tarik base metalnya yaitu baja SS-41.

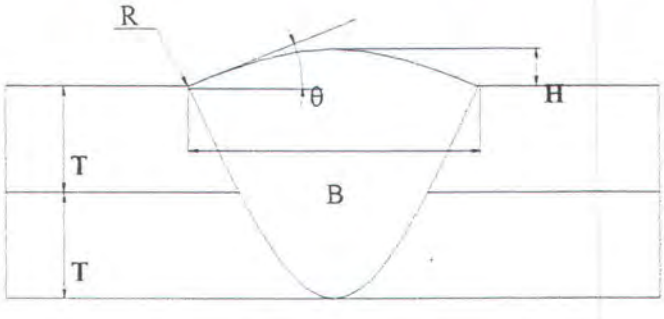
Data hasil pengujian kekerasan yang telah dikonversikan ke tegangan tarik hanya digunakan sebagai perkiraan bahwa material rivet mempunyai kekuatan tarik yang lebih tinggi dari baja SS-41. Kemudian data dari hasil uji kekerasan ini digunakan sebagai data penunjang dari keseluruhan pengujian dalam mencapai tujuan dari penelitian.

6.3 PENGUJIAN KELELAHAN

Pengujian fatigue yang dilakukan pada spesimen bertujuan untuk mengetahui respon material uji terhadap pembebanan berulang. Faktor yang dibedakan pada eksperimen ini adalah metode sambungan yang digunakan dan besarnya konsentrasi tegangan pada masing-masing spesimen, untuk metode spot welding didasarkan pada besarnya diameter penembusan hasil pengelasan. Semakin kecil hasil penembusan las maka semakin besar konsentrasi tegangan yang terjadi pada sambungan tersebut. Besarnya konsentrasi tegangan dapat dikurangi dengan memperbesar luas penampang las dalam menumpu beban atau dengan menambah jumlah titik-titik pengelasan dan banyaknya jumlah rivet dalam suatu sambungan. Karena beban yang diterima oleh struktur sambungan tersebut akan ditumpu dan didistribusikan ke semua titik sambungan baik itu untuk sambungan rivet maupun sambungan spot welding.

6.3.1 Perhitungan Dan Analisa Konsentrasi Tegangan

Perhitungan faktor konsentrasi tegangan akibat adanya perubahan bentuk pada sambungan las adalah merupakan fungsi dari flank angle (θ), jari-jari toe (R), tinggi manik las (H), lebar manik las (B) dan tebal material (T) [Jaya, 1998].



Gambar 6.1 Geometry sambungan las

Geometri sambungan las dapat diketahui dari pengukuran pada manik las secara langsung maupun dengan bantuan pembesaran. Kemudian parameter ini digunakan untuk menghitung besarnya faktor konsentrasi tegangan yang terjadi pada sambungan las. Hasil pengukuran geometri sambungan las dan perhitungan konsentrasi tegangan dapat dilihat pada tabel 6.7. Persamaan dibawah ini dapat digunakan untuk mengukur besarnya faktor konsentrasi tegangan pada sambungan las.

$$K_t = 1 + f(\theta)\cdot\left[\gamma\left(\frac{1}{(1.4)\cdot\Delta i - 2}\cdot\frac{H}{R}\right)^{\beta}\right]$$

dimana,
$$f(\theta) = \frac{1-\exp\left[(-0.90)\cdot\theta\sqrt{\Delta i}\right]}{1-\exp\left[(-0.45)\cdot\pi\cdot\sqrt{\Delta i}\right]}$$

$$\beta = 0.65 - 0.1\cdot\exp\left(-0.63\frac{B}{T}\right)$$

$$\gamma = 1 - 0.48\cdot\exp\left(-0.74\frac{B}{T}\right)$$

$$\Delta i = \frac{2H+T}{2T}$$

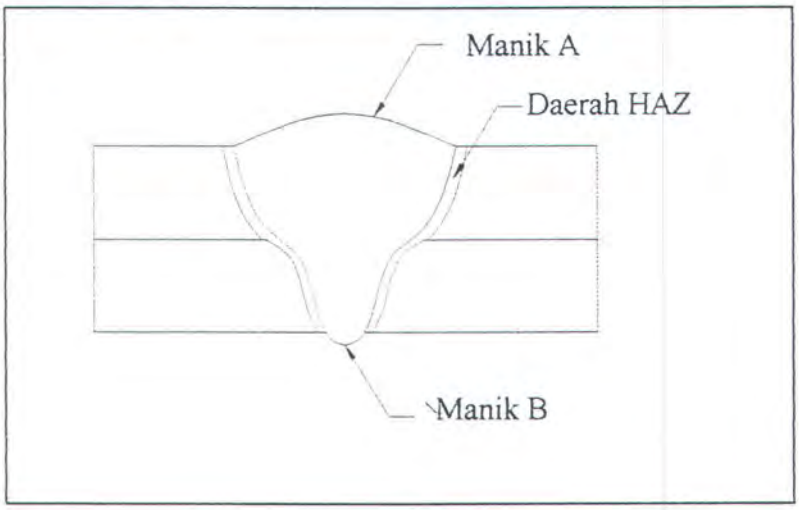
Tabel 6.7 Faktor konsentrasi tegangan pada spesimen spot welded

No	θ	H (mm)	B (mm)	R (mm)	Δi	γ	β	F(θ)	K_t
1A	64	1.600	13.588	0.353	20.796	0.997	0.649	1.00	1.029
1B	36	1.702	10.091	0.729	21.614	0.989	0.646	1.00	1.036
2A	30	1.312	12.392	0.502	18.492	0.995	0.648	1.00	1.030
2B	44	2.388	6.373	0.669	27.102	0.955	0.637	1.00	1.052

Faktor konsentrasi tegangan pada spesimen, dihitung dengan data yang diperoleh pada pengukuran flank angle dan jari-jari toe. Dengan mengetahui faktor konsentrasi tegangan pada masing-masing posisi spesimen, dapat

digunakan untuk menganalisa daerah terjadinya keretakan awal, apakah sesuai dengan teori bahwa keretakan awal mulai terjadi pada titik yang mempunyai faktor konsentrasi tegangan yang tertinggi atau akan terjadi fenomena yang berbeda.

Perhitungan konsentrasi tegangan diatas dilakukan pada spesimen spot welded joint variasi I, dimana data flank angle yang didapatkan diperoleh dari hasil pengujian metallography. Pada spesimen ini terdapat dua titik konsentrasi tegangan, yaitu pada sisi atas pelat (manik A) dan sisi bawah pelat (manik B). Pengelasan spot welding variasi I mempunyai penetrasi yang dalam. Hal ini mengakibatkan permukaan bawah pelat mempunyai manik baru, sehingga pada bagian tersebut juga mempunyai konsentrasi tegangan akibat adanya manik las akibat penembusan yang dalam pada sambungan las.



Gambar 6.2 Bentuk penampang hasil spot welding joint one side

Struktur dengan sambungan rivet juga mempunyai titik konsentrasi tegangan, dimana pada sambungan rivet ini konsentrasi tegangan terjadi pada daerah sekitar lubang rivet. Lubang rivet dibuat dengan cara cold expansion sehingga tidak merubah struktur mikro logam induk.

Besarnya tegangan tarik yang terjadi pada sambungan rivet jika dilihat pada daerah lubang rivet, adalah :

$$\sigma_t = \frac{P}{S \cdot d}$$

dimana : S = tebal pelat (mm)

d = diameter lubang rivet (mm)

P = beban yang diaplikasikan (kN)

Sehingga tegangan yang terjadi pada daerah lubang rivet jika ditarik dengan beban patahnya adalah :

$$\sigma_t = \frac{3610}{2 \cdot 5.0} = 361 \text{ N/mm}^2$$

Sedangkan perhitungan tegangan pada rivet dengan tepi pelat (edge) akibat tegangan geser, yaitu :

Gambar 6.3 Bentuk pembebanan sambungan rivet

$$\tau_s = \frac{P}{2 \cdot S \cdot e}$$

dimana : e = edge = jarak rivet ke tepi pelat agar aman terhadap gaya P

sehingga besar tegangan geser yang timbul pada sambungan rivet ini jika diberikan beban patahnya adalah :

$$\tau_s = \frac{3610}{2 \cdot 2 \cdot 17.5} = 51.571 \text{ N/mm}^2$$

6.3.2 Analisa hasil pengujian fatigue

Pada pengujian fatigue yang dilakukan adalah untuk mendapatkan data umur fatigue spesimen yang diuji. Pada saat pengamatan data yang diperoleh adalah daerah terjadinya keretakan awal dan jumlah siklus pembebanan sampai dengan spesimen uji patah. Pengamatan posisi ini penting untuk menentukan faktor konsentrasi tegangan pada posisi dimana keretakan awal tersebut terjadi.

Hasil dari pengamatan menunjukkan bahwa sebagian besar keretakan awal timbul pada posisi yang mempunyai faktor konsentrasi tegangan tertinggi. Posisi timbulnya keretakan awal dan faktor konsentrasi tegangan untuk masing-masing spesimen digambarkan pada tabel (6.8). Faktor konsentrasi tegangan spesimen berbeda satu dengan yang lain, akan tetapi untuk satu kondisi perlakuan yang sama perbedaan tersebut tidak terlalu besar.

Tabel 6.8 Posisi terjadinya retak awal pada spesimen uji fatigue

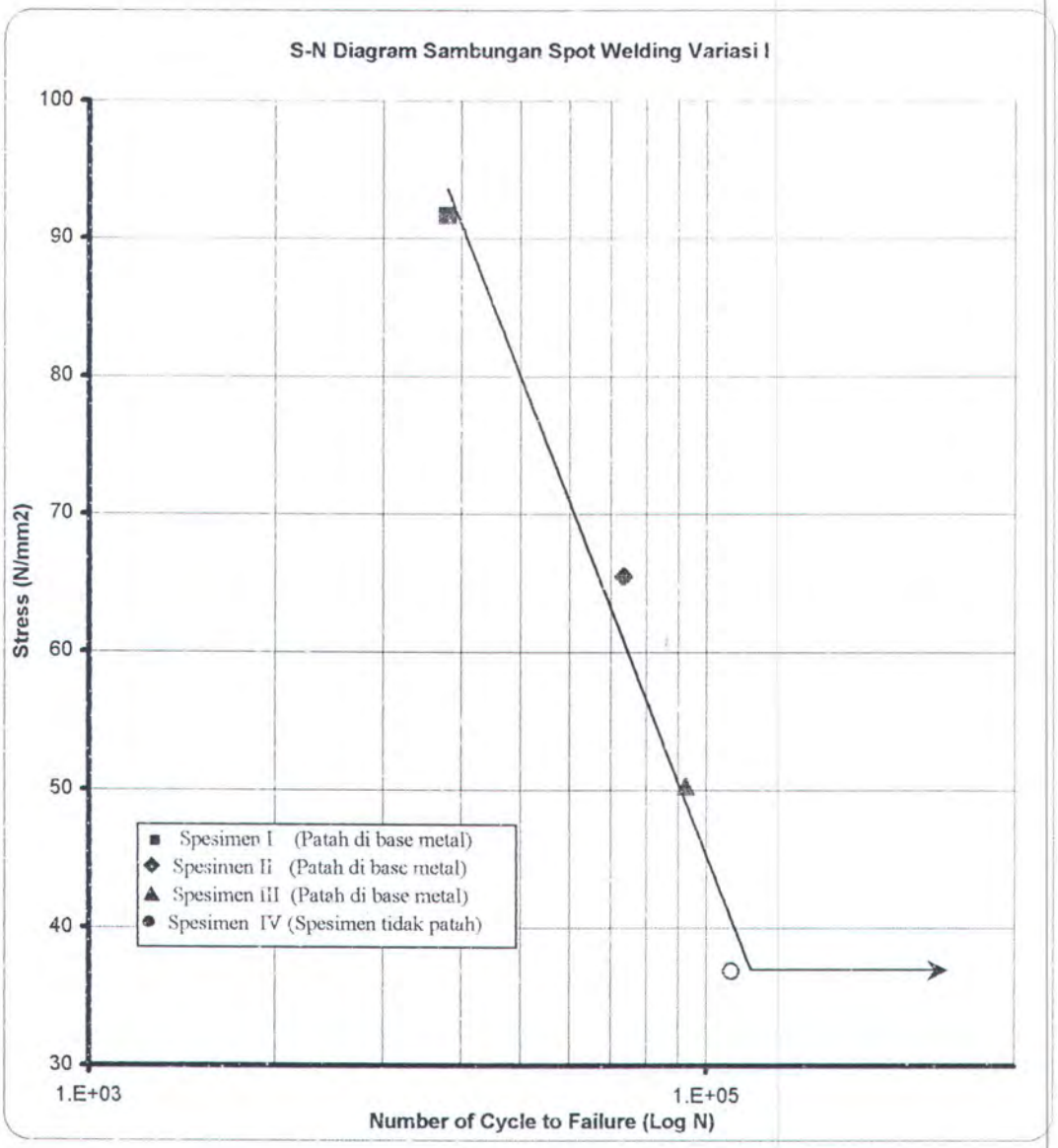
Spesimen Uji Fatigue	Pelat atas		Pelat bawah		Beban Fatigue rata-rata (N)	Keterangan
	Posisi retak	∅ manik	Posisi retak	∅ manik		
RJ 1	-	8.3	Ya	8.9	1990	Patah di base metal
RJ 2	-	8.2	Ya	8.2	1330	Patah di base metal
RJ 3	-	8.1	Ya	8	1000	Patah di base metal
RJ 4	-	8.2	-	8.2	670	Tidak patah
SW Var.1 No.1	-	13.2	Ya	6.7	1330	Patah di base metal
SW Var.1 No.2	-	13.4	Ya	6.7	1000	Patah di base metal
SW Var.1 No.3	Ya	13.4	-	8.24	670	Patah di base metal
SW Var.1 No.4	-	13.5	-	7.66	500	Tidak patah
SW Var.2 No.1	-	12.6	Ya	3.6	1800	Patah di base metal
SW Var.2 No.2	-	13.3	Ya	3.76	1200	Patah di base metal
SW Var.2 No.3	-	12.0	Ya	4.0	900	Patah di base metal
SW Var.2 No.4	-	12.0	-	4.3	600	Tidak patah
SW Var.3 No.1	-	12.0	-	1.5	950	Patah di weld metal
SW Var.3 No.2	-	11.28	-	1.84	630	Patah di weld metal
SW Var.3 No.3	-	9.64	-	1.28	480	Patah di weld metal
SW Var.3 No.4	-	12.0	-	2.0	320	Tidak patah

Note : RJ = Rivet Joint
SW = Spot welded joint
Pengukuran diameter manik dalam milimeter

Untuk mendapatkan kurva S-N pada spesimen sambungan rivet dan spesimen sambungan spot welding variasi 1, variasi 2 dan variasi 3, dapat dilihat pada tabel 6.9 sampai tabel 6.12. Data hasil perhitungan ini kemudian diplot sehingga menghasilkan suatu kurva yang disebut kurva S-N_c. Kurva ini menggambarkan hubungan antara besar rentang tegangan yang diterapkan pada spesimen dengan jumlah siklus pembebanan hingga mulai timbul keretakan awal sampai dengan patahnya batang uji. Dengan menggunakan kurva S-N_c, ini dapat diperkirakan umur keretakan awal spesimen (N_c) bila diberikan beban siklus sebesar S.

Tabel 6.9 Data hasil uji fatigue Spot Welding joint Variasi 1

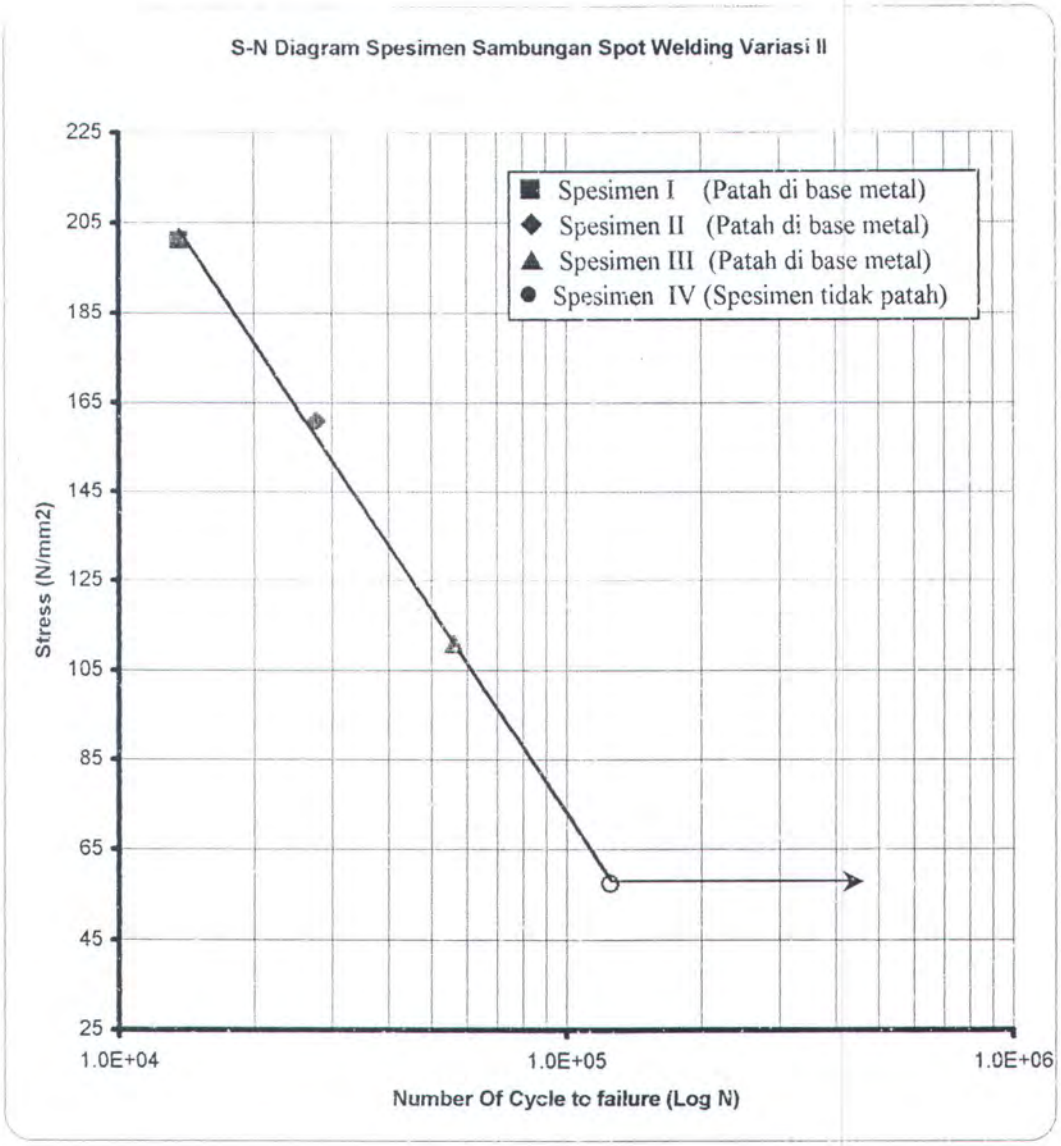
Number of Spesimen	Uji Fatigue Spot Welding Variasi I			
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	Spesimen 4
Load Max (kN)	2.53	1.9	1.263	0.947
Load Min (kN)	0.13	0.095	0.062	0.047
Amplitudo (kN)	1.2	0.9	0.6	0.45
Mean Load (kN)	1.33	0.995	0.665	0.497
Luas Penamp (mm^2)	27.6	29	25.12	25.68
Number of Cycle	14,452	53,782	85,537	120,561
Stress (N/mm^2)	91.67	65.52	50.28	36.88



Grafik 6.2 Grafik S-N Sambungan Spot Welding Variasi 1 (Ratio 0,05)

Tabel 6.10 Data hasil uji fatigue Spot Welding Joint Variasi 2

Items	Uji Fatigue Spot Welding Variasi II			
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	Spesimen 4
Load Max (kN)	3.79	2.527	2.088	1.263
Load Min (kN)	0.1895	0.126	0.095	0.063
Mean Load (kN)	1.98975	1.3265	0.995	0.663
Amplitudo (kN)	1.80025	1.2005	0.9	0.600
Luas Penamp. (mm^2)	18.84	15.7	18.84	21.98
Number of cycle	13619	27673	56014	125009
Stress (N/mm2)	201.17	160.96	110.83	57.48

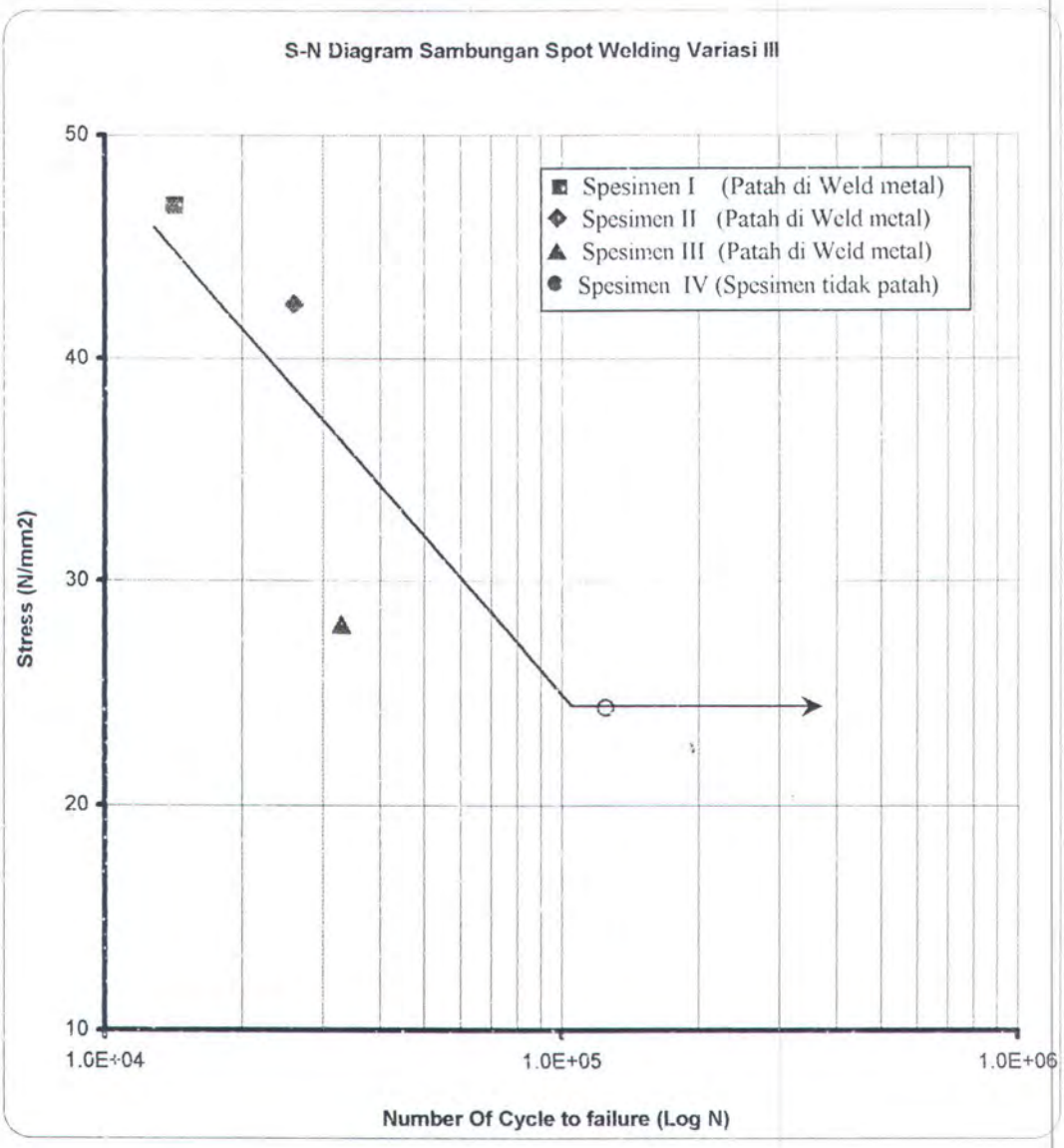


Grafik 6.3 Grafik S-N Sambungan Spot Welding Variasi 2 (Ratio 0,05)

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Tabel 6.10 Data hasil uji fatigue Spot Welding Joint Variasi 3

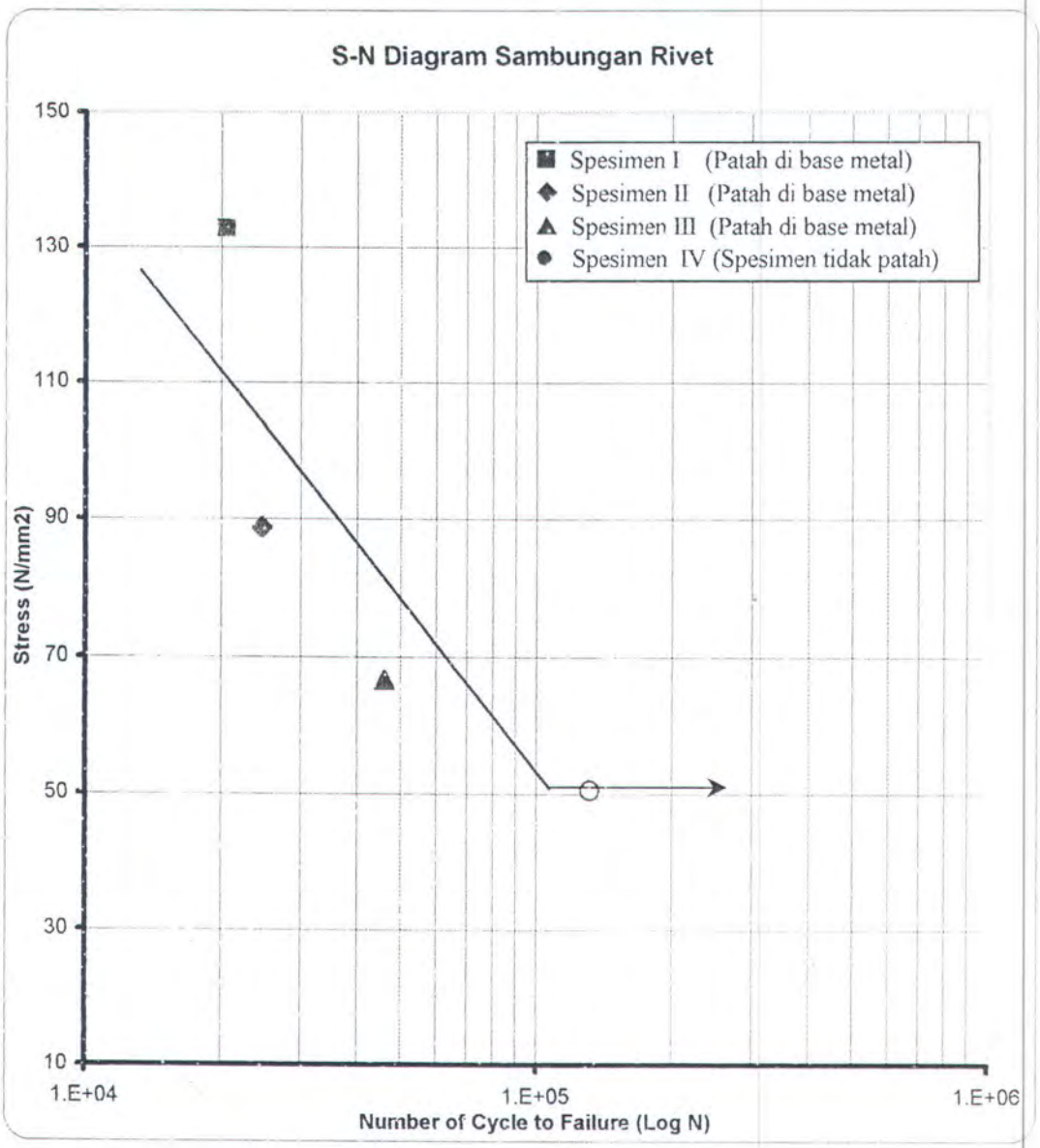
Number of Spesimen	Uji Fatigue Spot Welding Variasi III			
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	Spesimen 4
Load Max (kN)	1.8	1.2	0.9	0.6
Load Min (kN)	0.09	0.06	0.045	0.03
Amplitudo (kN)	0.855	0.57	0.43	0.285
Mean Load (kN)	0.945	0.63	0.475	0.315
Luas Penamp (mm^2)	38.465	28.26	32.1536	24.6176
Number of cycle	14223	25895	32871	125014
Stress (N/mm^2)	46.80	42.46	27.99	24.37



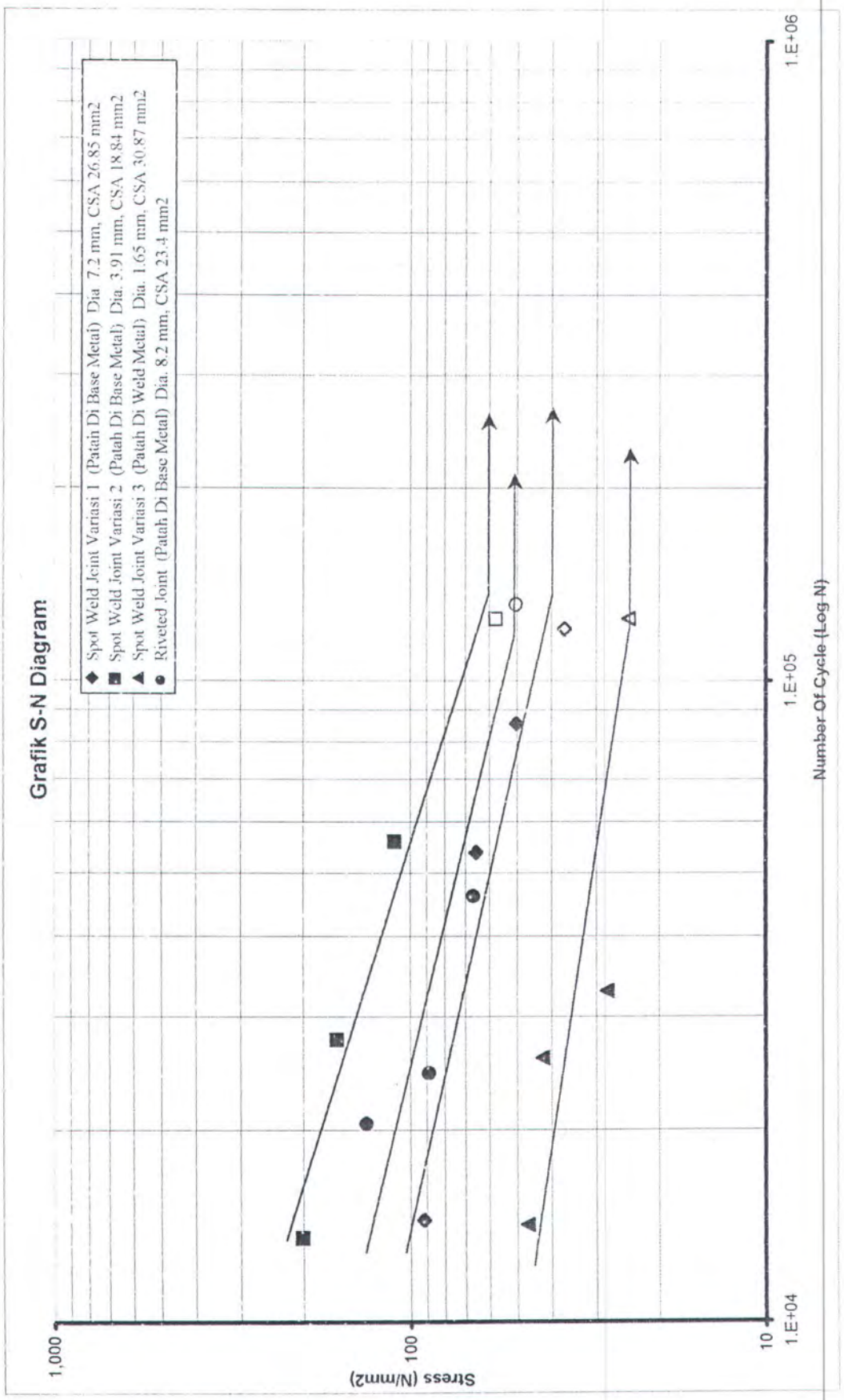
Grafik 6.4 Grafik S-N Sambungan Spot Welding Variasi 3 (Ratio 0,05)

Tabel 6.10 Data hasil uji fatigue Riveted joint

Number of Spesimen	Uji Fatigue Sambungan Rivet			
	Spesimen I	Spesimen II	Spesimen III	Spesimen IV
Load Max (kN)	3.79	2.53	1.9	1.263
Load Min (kN)	0.19	0.13	0.095	0.062
Amplitudo (kN)	1.8	1.2	0.9	0.6
Mean Load (kN)	1.99	1.33	0.995	0.665
Luas Penamp (mm^2)	28.5	28.5	28.5	25
Number of Cycle	20,486	24,571	46,118	131,587
Stress (N/mm^2)	132.982	88.772	66.667	50.520



Grafik 6.5 Grafik S-N Sambungan Rivet (Ratio 0,05)



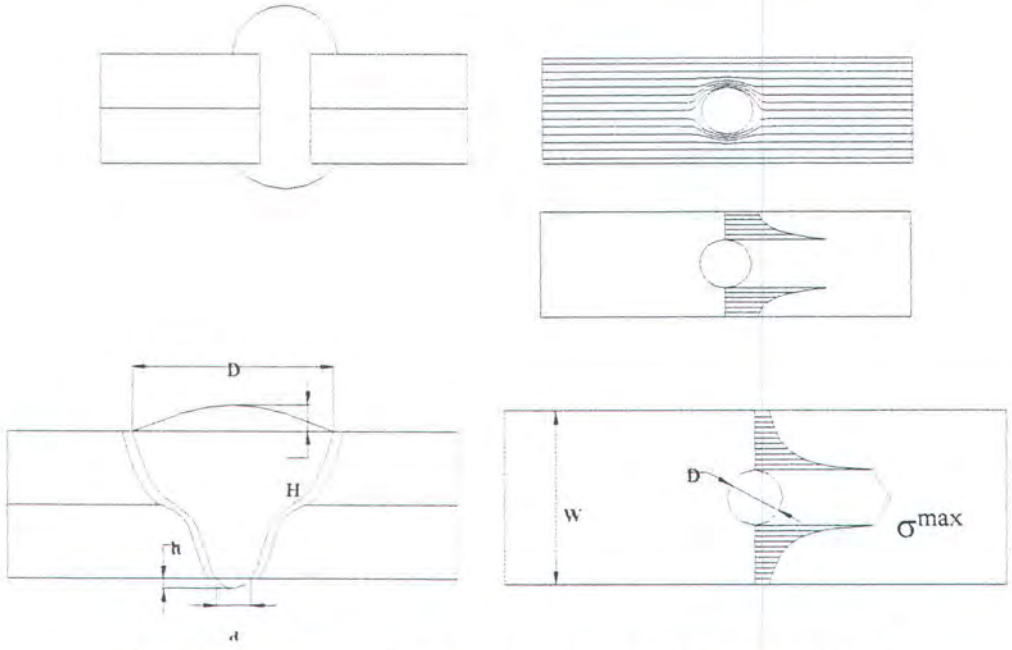
Grafik 6.6 Kurva S-N Diagram Gabungan (Ratio 0,05)

Dari grafik S-N diagram gabungan untuk spesimen dengan metode sambungan rivet, spesimen dengan metode sambungan spot welding variasi I, II dan III. Didapatkan analisa bahwa metode sambungan dengan menggunakan rivet mempunyai kekuatan fatigue yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode spot welding variasi I. Akan tetapi jika dihubungkan lagi dengan hasil pengujian tarik pada spesimen, yaitu bahwa spesimen dengan metode sambungan spot welding mempunyai kekuatan patah yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode riveted joint.

Metode yang dipakai pada pemasangan rivet untuk penyambungan pelat adalah dilakukannya pembuatan lubang dengan cara cold expansion. Cara ini akan mengakibatkan timbulnya tegangan sisa pada daerah sekitar lubang rivet. Tegangan sisa ini selanjutnya akan berkurang dengan dipasangnya rivet pada lubang. Besarnya tegangan sisa yang hilang dipengaruhi oleh besarnya gaya tekan ikatan rivet. Akibat dari gaya tekan ini akan menimbulkan adanya residual compressive stress, dimana tegangan ini akan meningkatkan kekuatan sambungan akibat dari pengaruh beban fatigue.

Pada sambungan spot welding variasi I, akibat dari pengelasan akan menimbulkan tegangan sisa pada daerah HAZ. Timbulnya tegangan sisa ini akan menyebabkan kekuatan sambungan akibat beban fatigue menjadi rendah karena besarnya tegangan yang terjadi pada daerah tersebut. Disamping itu dari pengelasan juga menghasilkan manik las, akibat dari timbulnya manik ini akan meningkatkan konsentrasi tegangan pada daerah kaki manik las. Besarnya konsentrasi tegangan akibat manik las ini dipengaruhi oleh tinggi dan lebarnya manik, besarnya flank angle juga berpengaruh pada tinggi konsentrasi tegangan.

Semakin besar diameter manik las dan semakin besar tinggi manik las serta semakin besar flank angle yang dihasilkan, maka konsentrasi tegangan yang dihasilkan besar pula, hal ini dibuktikan pada hasil perhitungan konsentrasi tegangan pada hasil pengelasan spot pada tabel 6.7. Turunnya kekuatan sambungan akibat beban berulang pada sambungan spot welding juga dipengaruhi oleh adanya cacat pada pengelasan, misalnya akibat adanya takik las atau terjadinya under cut pada weld metal.



Gambar 6.4. Aliran gaya pada pelat sambungan spot welding dan rivet

Dengan besarnya konsentrasi tegangan yang ditimbulkan akibat dari pengelasan ini, maka akan dapat mengurangi besarnya beban yang dapat diterima oleh sambungan tersebut. Jika dilihat pada sambungan overlap pada spesimen uji, besarnya konsentrasi tegangan juga dipengaruhi oleh besarnya luas penampang sambungan yang dihasilkan dari spot welding. Semakin kecil luas penampang yang dihasilkan, maka konsentrasi tegangan yang ditimbulkan akan besar pula

karena beban yang diberikan pada sambungan tersebut hanya ditumpu oleh kecilnya luas penampang. Pada daerah pengaruh panas (HAZ) menyebabkan sifat dari base metal menjadi getas, hal inilah yang menyebabkan tingginya tegangan tarik material sambungan spot welding dibandingkan dengan sambungan rivet dan sifat getas pada daerah HAZ ini juga dapat menurunkan kekuatan sambungan akibat dari beban fatigue.

Jika dikembangkan dengan menggunakan macam variasi penembusan hasil pengelasan, maka didapatkan bahwa hasil pengujian fatigue yang mempunyai nilai paling tinggi adalah metode spot welding dengan variasi II (penetrasi sedang). Sedangkan jika dihubungkan dengan hasil uji tarik, sambungan dengan variasi II mempunyai harga tensile strength yang lebih rendah dibandingkan dengan metode sambungan spot welding variasi I.

Besarnya beban dengan luas penampang sambungan spot welding mempunyai hubungan yang linier pada hasil uji tarik spesimen, yaitu semakin besar luas penampang sambungan semakin besar pula beban yang dibutuhkan untuk mematahkannya begitupun sebaliknya. Akan tetapi untuk pengujian fatigue tidak demikian, besarnya fatigue life dari suatu material akan sangat bergantung pada tingginya konsentrasi tegangan yang ditimbulkan pada hasil sambungan. Semakin besar konsentrasi tegangan yang terjadi, maka timbulnya fatigue crack propagation juga akan cepat muncul.

Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan fatigue dari material sambungan, khususnya untuk sambungan dengan menggunakan las, yaitu dengan memodifikasi bentuk dari manik las dan menghilangkan cacat yang timbul dari hasil pengelasan. Pemodifikasian bentuk dari manik las dapat

dilakukan dengan cara penggerindaan permukaan manik las. Proses ini dilakukan untuk membentuk permukaan manik las yang halus dengan sudut kemiringan yang landai. Sedangkan pada sambungan rivet, peningkatan kekuatan fatigue dapat dilakukan dengan cara menambah jumlah titik sambungan, sehingga tegangan akan didistribusikan dan ditumpu oleh titik-titik sambungan tersebut.

BAB VII

Perhitungan Dan Analisa Biaya Ekonomis

BAB VII

PERHITUNGAN DAN ANALISA BIAYA EKONOMIS

7.1 PERHITUNGAN BIAYA EKONOMIS

Pada pelaksanaan pekerjaan baik itu pekerjaan pengelasan maupun pekerjaan lain yang paling sulit adalah masalah pada bagian penentuan biaya pekerjaan. Analisa biaya dapat dihitung selama waktu pengerjaan tersebut sampai dengan selesai, kemudian hasilnya merupakan dasar dalam mengevaluasi biaya pekerjaan selanjutnya.

Banyak pertimbangan dalam memperhitungkan biaya pekerjaan, namun yang terpenting adalah :

1. Memisahkan data yang dibutuhkan untuk mengintruksikan suatu pekerjaan.
2. Membandingkan cara pengurutan pekerjaan untuk mendapatkan hasil yang paling ekonomis dari metode-metode yang ada.
3. Menentukan informasi-informasi yang penting dalam membuat keputusan diantara beberapa alternatif yang ada.
4. mengevaluasi usulan-usulan untuk perubahan prosedur pelaksanaan pekerjaan.

Kadang-kadang memang diluar dugaan apabila terjadi kesalahan perkiraan biaya dalam suatu pekerjaan. Untuk itu perlu dibuatkan tabel-tabel yang dapat memberikan masukan sehingga kesalahan perkiraan biaya dapat diperkecil dan juga mempermudah pemakaian perhitungan.

Beberapa data yang dipakai tergantung pada faktor manusia dan sebagian lagi tergantung pada praktek akuntansi yang berlaku pada suatu perusahaan. Untuk hal-hal yang tidak dapat diperkirakan misalnya kecepatan pengelasan, maka rumus perhitungan biaya pekerjaan juga akan sulit ditentukan dengan tepat. Kecepatan pengelasan hanya bisa diketahui pada saat pengelasan dilakukan. Hal ini dapat ditentukan dengan tiga cara, yaitu :

1. Catatan pekerjaan terdahulu dengan prosedur, tipe dan bahan yang sama.
2. Dengan test pengelasan sehingga diketahui kecepatan pengelasannya.
3. Nilai standart dari hand book.

7.2 METODE PENDEKATAN DALAM PERHITUNGAN BIAYA

Perhitungan biaya pengelasan pada pokoknya terdiri dari biaya material dan tenaga kerja. Biaya material terdiri dari biaya elektrode las, shielding gas dan biaya untuk consumable yang lain. Biaya tenaga kerja masuk dalam biaya pemakaian tenaga kerja yang tergantung dari sistem manajemen perusahaan. Biaya overhead merupakan biaya yang penggunaannya tidak diketahui dengan cepat, seperti : biaya supervisi, biaya keamanan dan jasa maintenance, pembelian peralatan dan perbaikan, biaya penerangan dan lain-lain.

Perhitungan biaya juga dipengaruhi oleh waktu penyelesaian pekerjaan, yang meliputi persiapan bahan, persiapan sambungan, waktu posisioning, waktu pengelasan, waktu pembersihan. Pada perhitungan biaya penyambungan pelat untuk ducting diasumsikan bahwa pembiayaan didasarkan pada desain yang ekonomis dengan memakai proses dan prosedur yang efesien, meskipun ada

beberapa faktor lain yang dapat membantu desainer dalam perhitungan biaya ekonomis pekerjaan.

Tabel 7.1 Estimasi harga consumable untuk beberapa proses pengelasan [The Lincoln Electric Co., 1973]

Process	Type of Electrode	Electrode Cost ($/lb)	Deposition Effeciency (%)	Consumable Cost Of Deposited Metal	
				($/lb)	($/ft)*
Shielded Metal-Arc	E7024	0.191	65	0.29	0.045
Self-Shielded Flux-Cored	E70T-G	0.315	82	0.38	0.059
Submerged-Arc	EL12	0.199 + flux	100	0.34	0.053
Gas Metal-Arc	E70S-3	0.243 + gas	92	0.31	0.048

Tabel 7.2. Estimasi harga labor dan overhead [The Lincoln Electric Co., 1973]

Horizontal fillet weld, ¼-in. Leg size, commercial quality

Process	Arc Speed (ft/hr)	Operating Factor	Labor and Overhead ($/hr)	Weld Cost ($/ft)
Shielded Metal-Arc (Stick)	85	0.30	7.00	0.274
Shielded Metal-Arc (Stick)	85	0.40	7.00	0.206
Gas Metal-Arc (Semiautomatic)	80	0.50	7.00	0.175
Self-Shielded Flux-Cored (Semiautomatic)	100	0.50	7.00	0.140
Submerged-Arc (Semiautomatic)	110	0.50	7.00	0.127

7.3 PERHITUNGAN BIAYA PENGELASAN SPOT WELD

Untuk mengestimasi biaya dalam suatu pekerjaan, dalam hal ini pekerjaan las dengan menggunakan mesin las GMAW atau MIG welding dengan gas pelindung CO_2. Diasumsikan bahwa seluruh peralatan yang digunakan merupakan peralatan sewa, dimana pengerjaannya dilakukan di bengkel fabrikasi sendiri. Metode perbandingan yang digunakan adalah perhitungan biaya pengelasan untuk

8 jam pengelasan spot welding dan perhitungan biaya untuk pembuatan struktur ducting sepanjang 1 meter.

Peralatan-peralatan yang dibutuhkan dalam pengelasan spot welding terdiri dari : bahan atau material, mesin las GMAW, elektrode las (wirerod), tabung gas dengan gas CO_2, mesin cutting, mesin bending, peralatan marking dan peralatan bantu lainnya. Karena perbandingan yang dilakukan adalah metode sambungan, maka untuk variabel yang sama, sperti kebutuhan material baja SS-41 dan kebutuhan akan fabrikasi seperti cutting, bending dan marking dapat dieliminasi.

Data-data yang diperoleh untuk perhitungan biaya pengelasan spot adalah sebagai berikut :

- Biaya sewa mesin las GMAW adalah Rp. 125.000,- per 8 jam kerja
- Harga elektrode untuk mild steel adalah Rp. 150.000,- per 5 Kg
- Harga tabung gas dan gas CO_2 adalah Rp. 175.000,- per 6 m^3
- Biaya tenaga kerja untuk tukang las adalah Rp. 60.000,- per 8 jam kerja
- Waktu yang dibutuhkan untuk satu kali pengelasan adalah 1,6 detik
- Kecepatan Gas flow untuk satu kali pengelasan spot adalah 11 liter/ menit
- Biaya sewa peralatan untuk fabrikasi seperti cutting, bending dan marking dapat dieliminasi karena kedua metode sambungan tersebut sama-sama digunakan.

Dari data-data yang sudah diperoleh diatas, maka estimasi untuk perhitungan biaya pengelasan dapat dihitung.

1. Biaya material untuk pengelasan dengan metode spot welding joint (CM)

   Biaya material untuk pengelasan selama 8 jam kerja, dimana diasumsikan bahwa jam kerja efektif dalam satu hari adalah 6.5 jam (termasuk waktu

istirahat), dan idle time pengelasan serta perpindahan poisisi pengelasan diasumsikan membutuhkan waktu 5 detik, sehingga dari data tersebut seorang welder dengan kondisi yang ideal akan menghasilkan 3340 titik sambungan.

Rumus pendekatan yang digunakan adalah :

CM = WE . CE + VG . CG

dimana : CM = biaya material untuk pengelasan spot welding

WE = berat elektrode termakan tiap pengelasan (gram)

VG = volume gas yang digunakan tiap pengelasan (liter)

CE = Harga elektrode (Rp/gram)

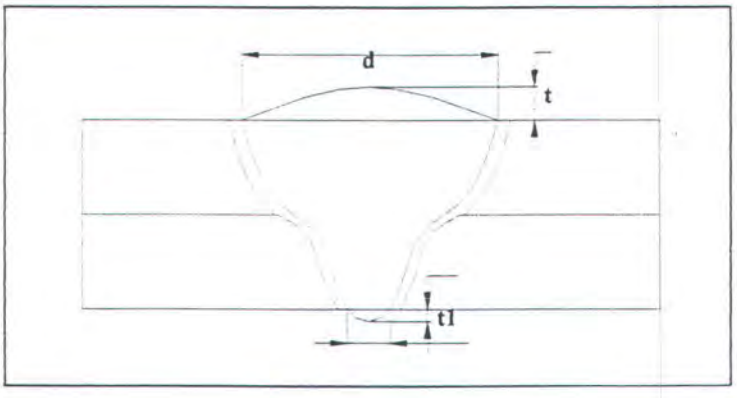
CG = Harga gas pelindung CO_2 (Rp/liter)

$$WE = \frac{WW}{DE}$$

Dimana : WW = berat deposit weld metal tiap pengelasan (gram/ cm)

DE = rasio berat deposit weld metal terhadap elektrode termakan

Shelf shielded FCAW	= 0,82
GMAW	= 0,92
SMAW	= 1



Gambar 7.1 Bentuk penampang deposit weld metal

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Perhitungan berat deposit weld metal dapat dilakukan dengan menghitung volume dari bentuk penampang las-lasan yang dikalikan dengan berat jenis dari elektrode tersebut, atau dengan cara menimbang berat elektrode yang termakan untuk satu kali pengelasan spot weld. Untuk perhitungan ini digunakan cara kedua, yaitu menimbang berat elektrode termakan. Satu pengelasan spot weld panjang elektrode yang termakan adalah sekitar 170 mm/spot.

Jadi : WE = 170 mm/spot = 1,2 gram /spot welding

CE = Rp. 150,000,- / 5 Kg = Rp. 30.000,- /Kg

VG = 11 liter/ mnt

CG = Rp. 175,000/ 60 liter = Rp. 2,917 / liter

Berat Weld metal untuk 3340 titik spot welding adalah 4,008 Kg.

Biaya elektrode untuk menghasilkan 3340 titik sambungan pengelasan spot adalah : 41,55 Kg x Rp. 30.000,- = Rp. 120.240,-

Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan 3340 titik sambungan spot adalah (1,6 detik x 3340 titik)/ 60 = 89,07 menit

Volume gas yang diperlukan untuk 3340 titik sambungan pengelasan spot adalah : 11 liter/mnt x 89,07 mnt = 979,8 liter

Biaya gas yang diperlukan untuk menyelesaikan 3340 titik sambungan spot adalah : 979,8 liter x Rp. 2917 = Rp. 2.857.989,-

Sehingga :

CM = Rp. 1.246.500,- + Rp. 2.857.989,-

= Rp. 2.978.229,-

2. Biaya tenaga kerja dan overhead untuk satu kali pengelasan spot (CL)

Rumus pendekatan yang digunakan adalah :

$$CL = \frac{T.CR}{OF}$$

Dimana : T = waktu yang dibutuhkan per pengelasan (hour)

CR = biaya tenaga kerja dan overhead (Rp/hour)

OF = Operating factor

Jadi T = 1.6 detik

Waktu persiapan dan pengemasan alat = 240 detik

CR = Rp. 60.000,- / 8 jam kerja

= Rp. 7.500,- / jam + 5 % overhead

= Rp. 7500,- + Rp. 3000,- = Rp. 10.500,-

$$OF = \frac{waktu_pengelasan}{waktu_total}$$

$$= \frac{89,07}{2+89,07+278+2} = 0.24$$

Sehingga

$$CL = \frac{4,4 \cdot 10^{-4} \cdot 10500}{0.24} = \text{Rp. } 19,44,- \text{ / spot welding}$$

3. Biaya sewa mesin las GMAW adalah Rp. 125.000,- / 8 jam kerja

Jadi total biaya untuk mengerjakan 3340 sambungan spot welding pada baja SS-41 adalah :

Total biaya = sewa mesin las /hari + biaya material + biaya labor dan overhead

= Rp. 125.000 + Rp. 2.978.229 + Rp. 19,44 x 3340

= Rp. 3.168.159,-

Untuk pembuatan ducting sepanjang 1 meter dengan menggunakan las GMAW spot welding, maka biaya yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan jumlah titik pengelasan spot sepanjang 1 meter adalah 25 titik, dimana jarak yang digunakan adalah 3 kali diameter manik las atas yaitu sekitar 39 mm.
2. Total waktu yang dibutuhkan untuk penyelesaian ducting sepanjang 1 meter adalah : waktu persiapan alat 60 detik, waktu pengelasan 1.6 detik (40 detik untuk 25 titik), waktu pengemasan alat 60 detik dan idle time dan pindah posisi pengelasan membutuhkan waktu 5 detik. Jadi total waktu yang dibutuhkan adalah : 285 detik.
3. Volume gas yang dibutuhkan untuk 25 titik pengelasan metode spot welding adalah 40 detik x 11 liter/menit = 7,33 liter
4. Berat elektrode untuk menyelesaikan ducting sepanjang 1 meter dengan metode spot welding adalah : 25 titik x 1,2 gram = 30 gram
5. Biaya material untuk pengelasan spot pada ducting sepanjang 1 m adalah :
   - Harga elektrode Rp. 150.000,- /5000 gram, sehingga untuk 30 gram elektrode = Rp. 900,-
   - Harga gas CO_2 Rp. 175.000,- /60 liter, maka untuk 7,33 liter gas CO_2 adalah : Rp. 21.379,-

   Sehingga

   CM = Rp. 900,- + Rp. 21.379,- = Rp. 22.279,-
6. Biaya labor adalah Rp. 60.000,- /8 jam, untuk biaya pengelasan 25 titik dengan waktu 40 detik adalah :

   Total waktu pengelasan spot 25 titik adalah 285 detik

Biaya overhead adalah 5 % dari biaya tenaga kerja = Rp. 3000,-

Sehingga CR (biaya tenaga kerja dan overhead) = Rp. 10.500,- /jam

$$\text{Operating faktor} = \frac{40}{285} = 0{,}14$$

$$CL = \frac{0{,}011 \cdot 10.500}{0.14} = \text{Rp. } 833{,}- \text{ / meter ducting}$$

Jadi total biaya untuk menyelesaikan ducting sepanjang 1 meter adalah :

Biaya total = Sewa mesin las /hari + biaya material + biaya labor dan overhead

= Rp.125.000 + Rp. 22.279 + Rp. 833

= Rp. 148.112,- / meter ducting

7.4 PERHITUNGAN BIAYA UNTUK PEKERJAAN RIVETTING

Data-data yang diperlukan untuk menghitung biaya ekonomis penyambungan pelat untuk satu kali rivetting adalah sebagai berikut :

- Harga mata bor ukuran 5 mm adalah Rp. 8.000,- /biji
- Biaya sewa mesin bor portable kapasitas kecil adalah Rp. 75.000,-
- Harga Rivet adalah Rp. 10.000,- / Kg, berat untuk satu rivet 2,4 gram
- Harga Palu konde untuk pembentukan rivet adalah Rp. 12.500,- /biji
- Biaya tenaga kerja pemasangan rivet adalah Rp. 40.000,- / 8 jam kerja
- Waktu untuk mengebor dan preparasinya adalah 1,5 menit /lubang
- Waktu untuk pemasangan rivet adalah 3 menit /rivet

Dari data-data diatas maka dapat dilakukan perhitungan biaya penyambungan pelat dengan menggunakan metode rivetting adalah sebagai berikut :

1. Biaya material untuk pemasangan rivet selama satu hari kerja, dimana diasumsikan bahwa jam kerja efektif selama satu hari adalah 6,5 jam.

2. Selama 6,5 jam efektif, rivet yang dapat terpasang adalah 87 rivet. Sehingga biaya yang dibutuhkan untuk 87 rivet adalah Rp. 2.088,-

   biaya material dan alat = harga rivet + harga palu konde

   = Rp. 22.588,-

3. Biaya tenaga kerja dan over head

   Rumus pendekatan yang digunakan adalah :

$$CL = \frac{T.CR}{OF}$$

   Dimana :

   T = waktu yang dibutuhkan untuk memasang rivet : 180 detik

   Ttotal = Waktu untuk membuat lubang + waktu untuk fitting + waktu pemasangan rivet + waktu mempersiapkan alat + waktu untuk mengemas alat + idle time

   = 60 dtk + 30 dtk + 180 dtk + 120 dtk + 120 dtk + 30 dtk

   = 540 detik

   CR = Rp. 40.000,- /8 jam kerja

   = Rp. 5.000,- /jam kerja + overhead (5 % CR) = Rp. 7000,-

$$OF = \frac{waktu_rivetting}{waktu_total} = \frac{180}{540} = 0.33$$

   sehingga

$$CL = \frac{0{,}05 \cdot 7000}{0{,}33} = \text{Rp. } 1060{,}\text{- /rivet}$$

   Biaya labor & over head untuk 8 jam kerja : Rp. 92.272,-

Jadi total biaya untuk 8 jam kerja dengan metode penyambungan dengan rivet adalah :

Total biaya = Biaya material + biaya labor dan overhead + sewa mesin bor

= Rp. 22.588 + Rp. 92.272 + Rp. 75.000,-

= Rp. 189.860,- /8 jam kerja

Untuk pembuatan ducting sepanjang 1 meter dengan menggunakan metode penyambungan rivet adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan jumlah titik penyambungan untuk 1 meter adalah 41 titik sambungan dengan rivet. Jarak yang digunakan adalah 3 kali diameter kepala rivet = 2,4 cm.
2. Waktu yang butuhkan untuk pemasangan rivet sebanyak 41 adalah 123 menit + waktu persiapan alat 1 menit + waktu pengemasan alat 1 menit + waktu pengeboran dan preparasi bahan 1,5 menit + idle time antara pemasangan rivet 0,5 menit . Jadi waktu keseluruhan untuk menyelesaikan ducting sepanjang 1 meter adalah 127 menit.
3. Biaya material untuk penyelesaian ducting sepanjang 1 meter adalah :

   Biaya material (CM) = harga rivet /Kg + harga palu + mata bor

   = Rp. 984 + Rp. 12.500 + Rp. 8.000

   = Rp. 21.484,-
4. Biaya labor Rp. 40.000 /8 jam kerja = Rp. 5000,- /jam.

   Biaya overhead adalah 5 % dari biaya labor = Rp. 2000,-

   Sehingga biaya labor dan overhead (CR) = Rp. 7000,-
5. Waktu untuk pemasangan rivet sebanyak 41 buah adalah 123 menit

$$\text{Operating faktor} = \frac{123}{127} = 0{,}97$$

$$CL = \frac{2.05 \cdot 7000}{0.97} = \text{Rp. } 14.793,-$$

Jadi total biaya untuk menyelesaikan ducting sepanjang 1 meter dengan menggunakan metode penyambungan rivet adalah :

Total biaya = Biaya material + biaya labor dan overhead + sewa mesin bor

= Rp. 21.484 + Rp. 14.793 + Rp. 75.000

= Rp. 111.277,- / meter ducting

7.5 ANALISA HASIL PERHITUNGAN EKONOMIS

Perhitungan ekonomis yang telah dilakukan diatas menunjukkan bahwa untuk penyambungan pelat overlap dengan metode spot welding joint, untuk 8 jam kerja adalah sebesar Rp. 3.168.159,- dengan jumlah titik sambungan yang dihasilkan adalah 3340 titik. Sedangkan untuk pembuatan ducting sepanjang 1 meter dengan menggunakan metode spot welding joint, membutuhkan biaya sebesar Rp. 148.112,- dengan total waktu yang dibutuhkan untuk penyelesaian seluruhnya adalah 4,75 menit.

Sedangkan untuk perhitungan ekonomis penyambungan pelat overlap dengan metode riveted joint menunjukkan bahwa untuk 8 jam kerja membutuhkan biaya sebesar Rp. 189.860,- dengan total sambungan yang dihasilkan adalah sebanyak 87 titik sambungan. Untuk pembuatan ducting sepanjang 1 meter dengan menggunakan metode riveted joint membutuhkan biaya sebesar Rp. 111.277,- dengan total waktu yang dibutuhkan untuk pembuatan ducting sepanjang 1 meter adalah 123 menit.

Dari hasil yang ditunjukkan diatas dapat dilihat bahwa biaya yang diperlukan untuk membuat sambungan pelat dengan metode spot welding dalam waktu 8 jam membutuhkan biaya yang besar dibandingkan dengan menggunakan

metode riveted joint. Hal ini dikarenakan oleh besarnya biaya material consumable, seperti elektrode dan gas CO_2. Akan tetapi jika dilihat dari hasil sambungan yang dapat diselesaikan dalam waktu 8 jam kerja, maka penggunaan metode spot welding joint lebih efektif dari pada metode riveted joint. Hal ini bisa dibuktikan pada perhitungan ekonomis diatas, yaitu untuk 8 jam kerja, metode spot welding dapat menghasilkan 3340 titik sambungan sedangkan untuk riveted joint hanya menghasilkan 87 titik sambungan. Dari hasil tersebut maka dapat dianalisa bahwa penggunaan metode sambungan spot welding sangat cocok bila digunakan dalam proses produksi berskala besar dibandingkan dengan metode rivet, karena metode spot welding membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk menghasilkan suatu sambungan dibandingkan dengan metode riveted joint.

Sedangkan jika dilihat pada biaya yang dibutuhkan untuk penyelesaian kunstruksi ducting sepanjang 1 meter, untuk metode spot welding joint membutuhkan biaya yang lebih mahal dibandingkan dengan metode rivet (lihat perhitungan diatas) dan waktu yang dibutuhkan juga lebih cepat dengan metode spot welding. Akan tetapi untuk metode sambungan rivet, bagi perusahaan berskala kecil, penggunaan metode riveted joint mungkin lebih cocok, karena biaya operasinya yang kecil dibandingkan dengan metode spot welding. Dan pengaruh lamanya waktu yang dibutuhkan untuk penyelesaian pekerjaan dapat ditingkatkan dengan menambah dan memperbaiki ketrampilan pekerja.

Lamanya waktu penyelesaian pekerjaan tersebut diakibatkan pemasangan rivet dilakukan dengan cara konvensional, yaitu dengan menggunakan palu, sehingga waktu yang diperlukan relatif lebih lama. Disamping itu metode penyambungan dengan menggunakan riveted joint juga memerlukan pembuatan

lubang untuk pemasangan rivet, hal inilah yang menjadi faktor utama lamanya penyelesaian pekerjaan. Jika dianalisa bahwa pembuatan lubang untuk ducting sambungan overlap dengan menggunakan metode riveted joint, proses pembuatan lubang ini membutuhkan beberapa langkah, yaitu :

1. Proses marking material pada titik-titik lubang
2. Pembuatan lubang memerlukan alas yang lebih lunak (seperti kayu, dll) dengan ukuran yang hampir sama dengan lubang ducting. Hal ini dikarenakan tipisnya pelat yang digunakan untuk ducting tersebut.
3. Pembuatan lubang atau proses pengeboran membutuhkan beberapa langkah, yaitu ujung-ujung sambungan harus dilubangi dulu untuk menepatkan posisi struktur ducting agar tidak bergeser, kemudian kedua ujung dikunci. Setelah itu lubang dibagian tengah dari panjang ducting dan dikunci setelah itu baru semua lubang dapat dibuat. Prosedur pembuatan lubang ini sangat tergantung dari panjang ducting.
4. Pembersihan sisi-sisi pelat yang telah dilubangi akibat pengeboran.

Dari banyaknya proses yang dibutuhkan untuk penyambungan pelat overlap pada struktur ducting dengan menggunakan metode riveted joint, maka dapat dinilai bahwa penggunaan metode tersebut kurang efesien bila dibandingkan dengan metode spot welding joint, karena dalam proses produksinya membutuhkan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan metode spot welding joint. Untuk skala pekerjaan kecil metode rivet mungkin lebih baik bila dibandingkan dengan spot welding joint akan tetapi untuk skala pekerjaan besar penggunaan metode spot welding joint jauh lebih baik, efesien dan lebih ekonomis. Karena waktu yang diperlukan untuk proses produksi lebih cepat

sehingga dapat menekan biaya produksi, dari segi kekuatan untuk sambungan spot welding juga tidak kalah dengan sambungan rivet, hal ini dikarenakan sifat dari weld metal yang selalu mendekati sifat logam induknya. Disamping itu dengan investasi mesin las GMAW, mesin ini dapat digunakan untuk proses produksi yang lain, misalnya untuk mengelas pelat tebal, pelat tahan karat atau pelat tipis dengan cara otomatis dan semi otomatis, dimana mesin ini mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan mesin-mesin las yang lain.

BAB VIII

Kesimpulan dan Saran

MILIK PERPUSTAKAAN
ITS

BAB VIII

KESIMPULAN

8.1 KESIMPULAN

Pembahasan masalah yang dilakukan melalui serangkaian studi literatur dan eksperimen, telah dituangkan dalam bab-bab sebelumnya. Dari hasil pengujian yang telah dicapai, terdapat beberapa hal utama yang dapat diringkas dan disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari tabel (6.2) dan tabel (6.3) hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa :
   - Kekuatan patah sambungan rivet: 149.287 N/mm^2
   - Kekuatan patah sambungan spot welding variasi I : 249 N/mm^2

   tetapi pada hasil pengujian fatigue (grafik 6.6) menunjukkan bahwa spesimen dengan menggunakan metode sambungan rivet mempunyai kekuatan fatigue yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode sambungan spot welding. Hal ini disebabkan karena pada spesimen sambungan spot welding mengalami konsentrasi tegangan pada daerah lasan, akibat adanya manik las yang mengakibatkan turunnya kekuatan fatigue. Sedangkan pada spesimen sambungan rivet, pada daerah disekitar lubang mengalami residual compressive stress akibat dari pembuatan lubang rivet, dengan adanya tegangan ini dapat meningkatkan kekuatan spesimen terhadap beban fatigue.
2. Grafik 6.1 dan grafik 6.6 menunjukkan bahwa diameter penembusan yang baik yang dapat menerima beban statis dan beban siklus yang tinggi adalah penembusan las spot weld dengan diameter ± 3 mm (variasi II). Untuk

menghasilkan diameter penembusan 3 mm, waktu pengelasan yang diperlukan adalah sekitar 1,6 detik.

- Kekuatan patah sambungan spot welding variasi 1 : 249 N/mm^2
- Kekuatan patah sambungan spot welding variasi 2 : 697.6 N/mm^2
- Kekuatan patah sambungan spot welding variasi 3 : 207 N/mm^2

3. Hasil perhitungan ekonomis menunjukkan bahwa :
   - Biaya pengerjaan sambungan spot welding untuk 8 jam kerja adalah : Rp. 3.168.159,- dengan jumlah sambungan yang dihasilkan sebanyak 3340 titik sambungan.
   - Biaya pengerjaan sambungan rivet untuk 8 jam kerja adalah : Rp. 189.860,- dengan jumlah sambungan yang dihasilkan sebanyak 87 titik sambungan.
   - Biaya pengerjaan ducting sepanjang 1 meter dengan metode spot welding adalah sebesar Rp. 148.112,- dengan waktu 4,75 menit.
   - Biaya pengerjaan ducting sepanjang 1 meter dengan metode riveted joint adalah sebesar Rp. 111.277,- dengan waktu 123 menit.

   Dari hasil tersebut bahwa sambungan spot welding dilihat dari waktu pengerjaan 96% lebih cepat dan dari segi biaya 56,5% lebih murah dibandingkan metode rivet, maka disarankan bahwa untuk pengerjaan struktur dalam skala kecil lebih ekonomis menggunakan metode rivet joint meskipun membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama, akan tetapi untuk pengerjaan dalam skala yang besar dan membutuhkan waktu yang cepat, maka pemilihan metode spot welding lebih tepat, karena metode ini

dapat digunakan untuk menyelesiakan pekerjaan dengan lebih cepat dibandingkan dengan metode rivet.

8.2 SARAN

Dalam penelitian ini belum dibahas mengenai variasi jenis rivet yang digunakan dan variasi pola sambungan pada sambungan overlap dengan menggunakan rivet yang ditinjau dari kekuatan sambungan dalam menerima beban berulang, sehingga hal ini merupakan topik yang dapat dikembangkan dan diteliti.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, T.L., *Fracture Mechanics*, CRC Press Inc. Boston, 1991.

ASTM E466, *Conducting Constant Amplitude Axial Fatigue Tests Of Metallic Material*, 1986.

Berata, W., *Diktat Elemen mesin I*, Jurusan Teknik Mesin-FTI ITS, Surabaya, 1985.

Cary, H.B., *Modern Welding Technology*, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1979.

Gray, T.G.F. & Spence, J.,*Rational Welding Design*, Butterworths and Company, London, 1982.

Ivan Jaya, D., *Studi Experimental Peningkatan Kekuatan Fatigue Butt Joint pada Material ASTM A516 Grade 70 dengan TIG Dressing*, Fakultas Teknologi Kelautan-ITS, Surabaya, 1998.

JIS Handook, *Ferrous Material dan Metallurgy (JIS Z-2201)*, Japan association Standart, Japan 1986

Krasnowski, B.R., & Reddy, D.J., Fatigue Strength And Damage Tolerance of Thin Walled Riveted Structures with Cold Worked Holes, Fatigue Techology Inc., Seattle, Washington, May 2000.

Reid, Leid & Easterbrook, E., *Advanced Design Fatigue Resistant Rivetless Nut Plate System*, Fatigue Technology Inc., Quebec, Canada, 1994.

Siswosuwarno & Mardjono, *Kursus Singkat Aplikasi Mekanika Retakan*, Laboratorium Aerodinamika-ITB, Bandung, 1989.

The Lincoln Electric Company, *The Procedure Hand Book of Arc Welding*, Canada, June 1985.

Wiryosumarto, H & Okumura ,T., *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1996.

LAMPIRAN

MILIK PERPUSTAKAAN
ITS

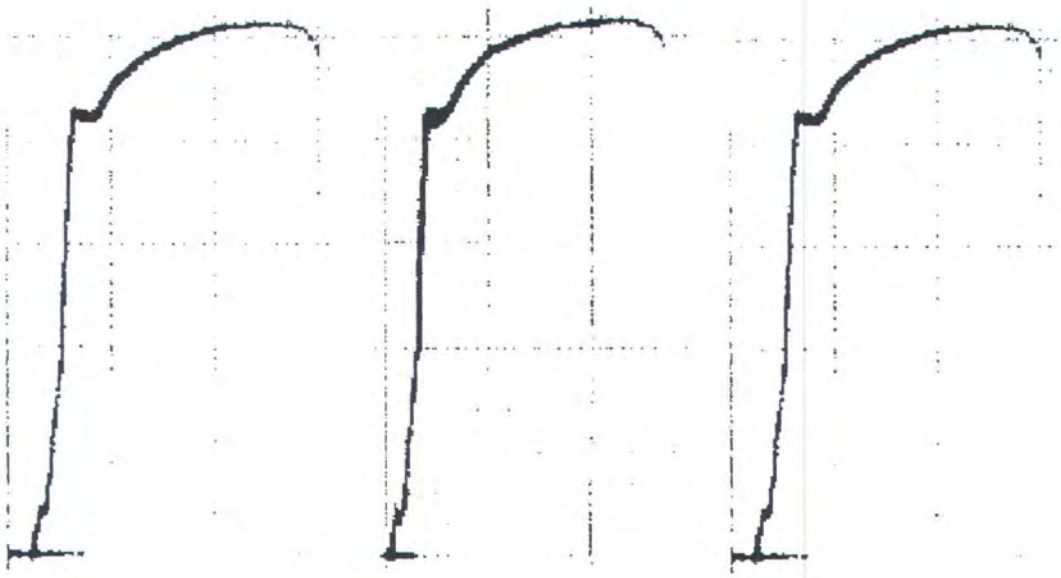
LAB. KONSTRUKSI DAN KEKUATAN

JUR. TEKNIK PERKAPALAN FTK – ITS

"TENSILE TEST"

Raw Material

KODE SPESIMEN/BAHAN	I	II	III
Standard Pengujian			
Standard Spesimen	JIS Z-2201		
Lebar Spesimen	20	20	20
Gauge Length (L_o mm)	50	50	50
Tebal Spesimen (t mm)	1	1	1
Luas Penampang (Ao mm2)	20	20	20
Panjang Spesimen (mm)	260	260	260
Beban Lumer (N)	16.8	16.7	16.85
Beban Maximum (N)	20.2	20.4	20.15
Δ L Saat Patah (mm)	67.32	67.2	67.8
Luas Setelah Patah (A_1 mm^2)			
Panjang Setelah Patah (L_1 mm)			
Elongation (%)	0.346	0.356	0.351
Yield Strength (N/mm^2)	336	334	337
Tensile Strength (N/mm^2)	404	408	403



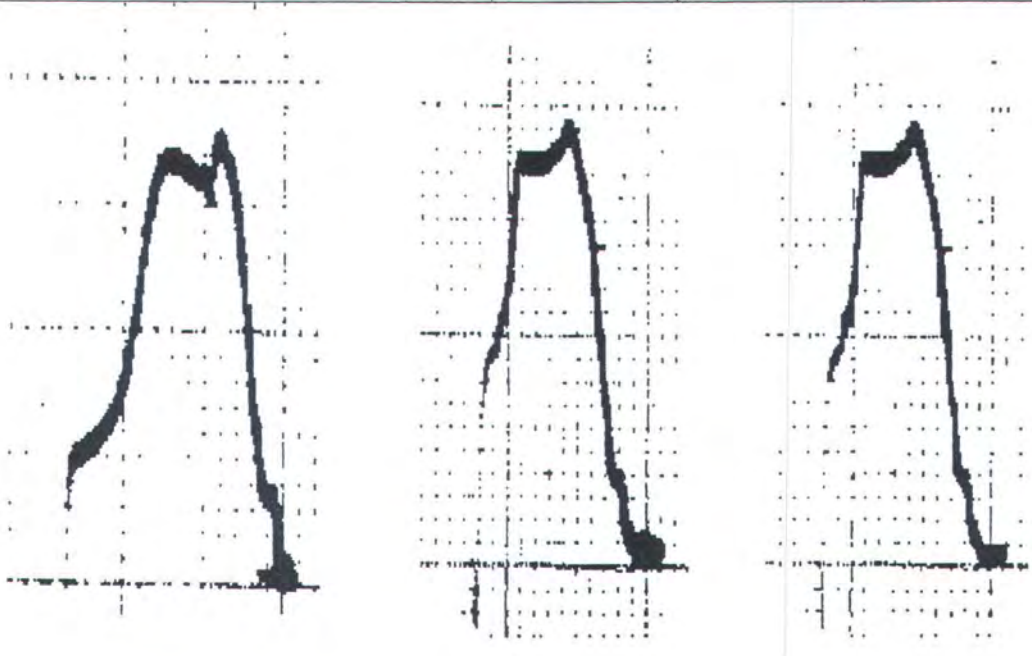
LAB. KONSTRUKSI DAN KEKUATAN

JUR. TEKNIK PERKAPALAN FTK – ITS

"TENSILE TEST"

Sambungan Rivet

KODE SPESIMEN/BAHAN	I	II	III
Standard Pengujian			
Standard Spesimen	ASTM E-466		
Lebar Spesimen	20	20	20
Gauge Length (L_o mm)	50	50	50
Tebal Spesimen (t mm)	1	1	1
Luas Penampang (Ao mm2)	24	24.5	24
Panjang Spesimen (mm)	260	260	260
Beban Lumer (N)	1270	1360	1270
Beban Maximum (N)	3690	3400	3740
Δ L Saat Patah (mm)			
Luas Setelah Patah (A_1 mm^2)			
Panjang Setelah Patah (L_1 mm)			
Elongation (%)			
Yield Strength (N/mm^2)	52.92	55.51	52.92
Tensile Strength (N/mm^2)	153.75	138.78	155.33



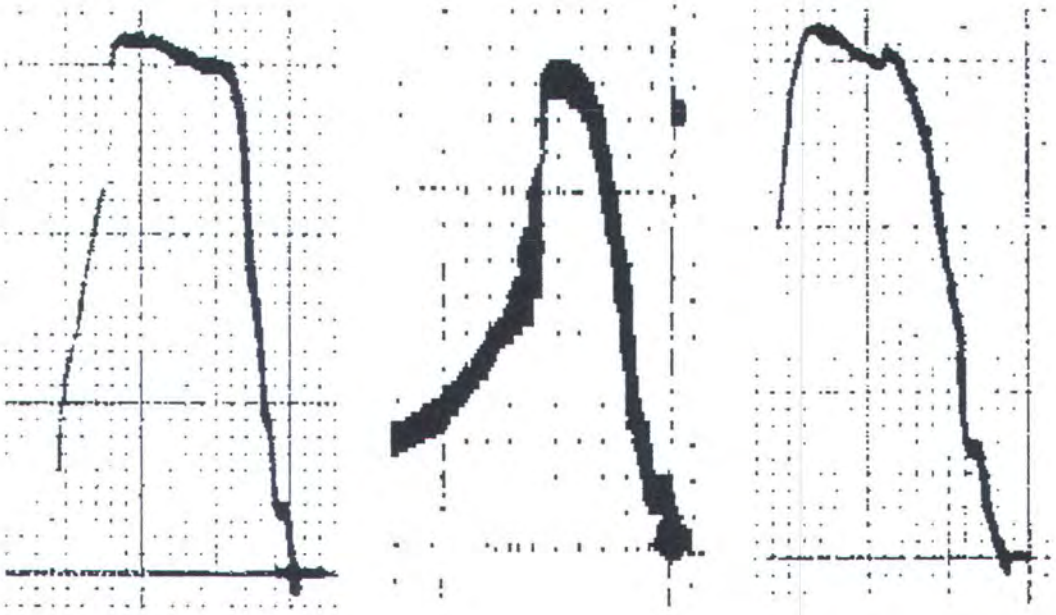
LAB. KONSTRUKSI DAN KEKUATAN

JUR. TEKNIK PERKAPALAN FTK – ITS

"TENSILE TEST"

Sambungan Spot Welding Variasi I

KODE SPESIMEN/BAHAN	I	II	III
Standard Pengujian			
Standard Spesimen	ASTM E-466		
Lebar Spesimen	20	20	20
Gauge Length (L_o mm)	50	50	50
Tebal Spesimen (t mm)	1	1	1
Luas Penampang (Ao mm2)	24.8	28.2	25
Panjang Spesimen (mm)	260	260	260
Beban Lumer (N)	3400	3790	3680
Beban Maximum (N)	6300	6400	6650
Δ L Saat Patah (mm)			
Luas Setelah Patah (A_1 mm^2)			
Panjang Setelah Patah (L_1 mm)			
Diameter penembusan (mm)	6.3	7.8	8.5
Yield Strength (N/mm^2)	137	181	147.2
Tensile Strength (N/mm^2)	254	227	266



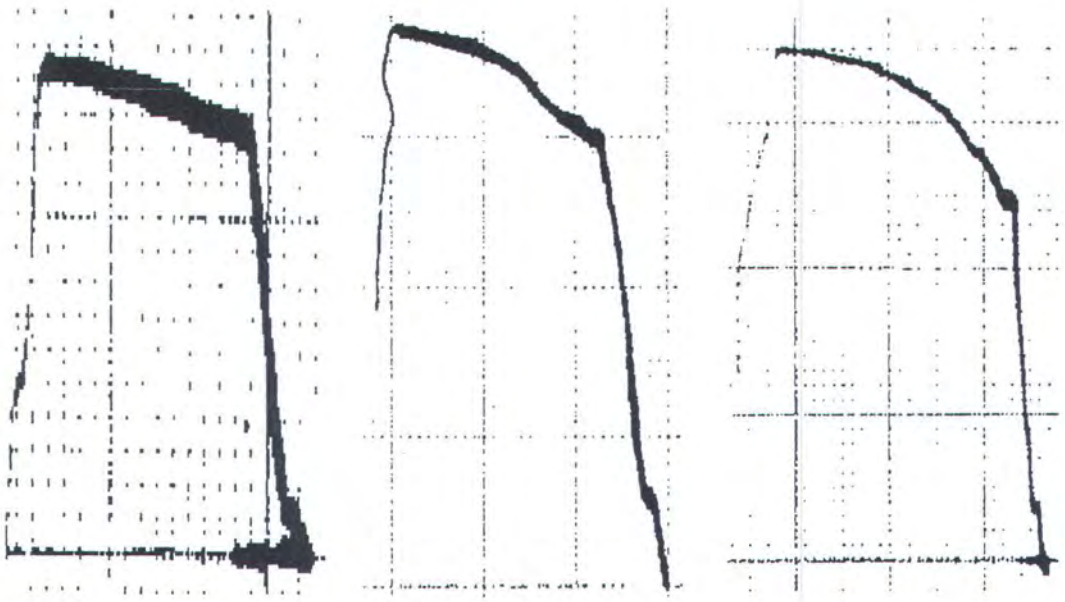
LAB. KONSTRUKSI DAN KEKUATAN

JUR. TEKNIK PERKAPALAN FTK – ITS

"TENSILE TEST"

Sambungan Spot Welding Variasi II

KODE SPESIMEN/BAHAN	I	II	III
Standard Pengujian			
Standard Spesimen	ASTM E-466		
Lebar Spesimen	20	20	20
Gauge Length (L_o mm)	50	50	50
Tebal Spesimen (t mm)	1	1	1
Luas Penampang (Ao mm2)	11.4	10.0	9.0
Panjang Spesimen (mm)	260	260	260
Beban Lumer (N)	3699.98	3600	3750.03
Beban Maximum (N)	7200.01	6890	6949.98
Δ L Saat Patah (mm)			
Luas Setelah Patah (A_1 mm^2)			
Panjang Setelah Patah (L_1 mm)			
Diameter penembusan (mm)	5.7	5	4.5
Yield Strength (N/mm^2)	324.56	360	416.67
Tensile Strength (N/mm^2)	631.58	689	772.22



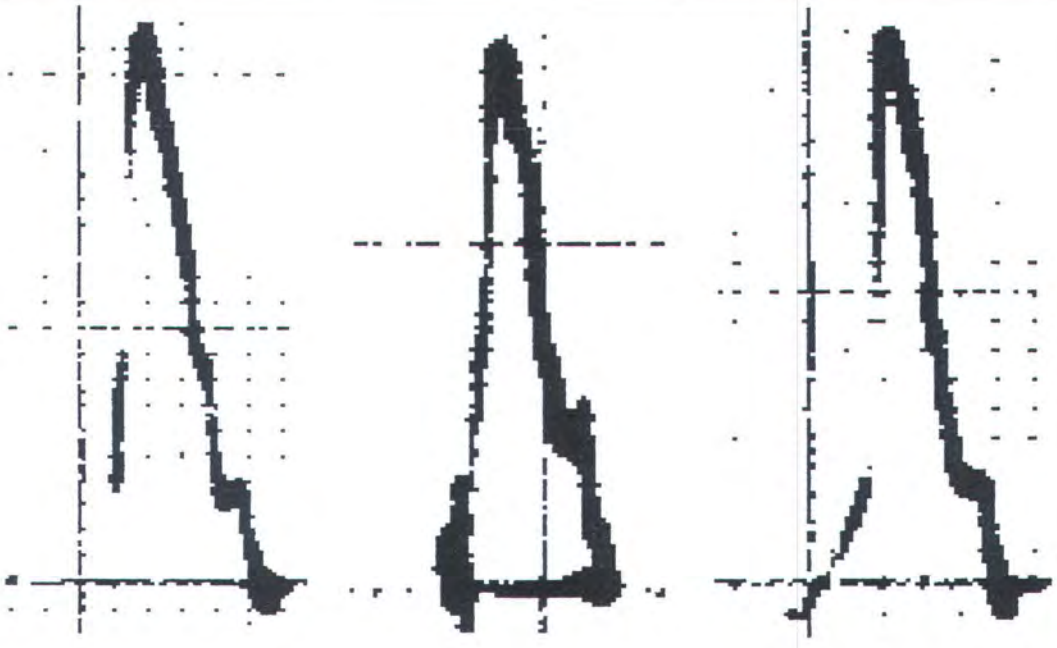
LAB. KONSTRUKSI DAN KEKUATAN

JUR. TEKNIK PERKAPALAN FTK – ITS

"TENSILE TEST"

Sambungan Spot Welding Variasi III

KODE SPESIMEN/BAHAN	I	II	III
Standard Pengujian			
Standard Spesimen	ASTM E-466		
Lebar Spesimen	20	20	20
Gauge Length (L_o mm)	50	50	50
Tebal Spesimen (t mm)	1	1	1
Luas Penampang (Ao mm2)	4	4	4
Panjang Spesimen (mm)	260	260	260
Beban Lumer (N)	896	820	764
Beban Maximum (N)	1800	1640	1532
Δ L Saat Patah (mm)			
Luas Setelah Patah (A_1 mm^2)			
Panjang Setelah Patah (L_1 mm)			
Diameter penembusan (mm)	2	2	2
Yield Strength (N/mm^2)	225	205	191
Tensile Strength (N/mm^2)	450	410	383



PT KRAKATAU STEEL
FIELD OFFICE : Cilegon - West Java
Phone : (0254) 92159, 92003 EXT : 1001, 1315
Facsimile : (62-0254) 601704, 601705, 601706, 601707
Telex : (73) 44490 KS LOG IA - 45533 KS PROD IA
P.O. Box : 14 Cilegon.

MILL CERTIFICATE

PURCHASER : P.A.L ,PT
JL. M.H. THAMRIN NO.8
JAKARTA

SUPPLIER :
COMMODITY : PRIME NEWLY PRODUCED HOT ROLLED STEEL IN SHEET/PLATE CUTTED EDGE
SPECIFICATION : SHIP PLATE
GERMANISCHER LLOYD GRADE 'A'

L/C. NO. :
CERTIFICATE NO. : C3F610812977226/MC/DM/XI/96
D A T E : NOVEMBER 24,1996
PURCHASE ORD.NO. :
DELIVERY ORD.NO. :
SUPPLIER ORD.NO. :
ORDER NUMBER : F610812

HEAT NO.	SLAB NO	DE-OXIDE-METHOD	COIL NO. AND PACKING NO	TEST-NO.	DIMENSION T X W X L (mm)	Q'TY (N)	CHEMICAL COMPOSITION X100(%) C	SI	MN	P	S	AL	TENSILE TEST RE N/MM2	RM N/MM2	A (%)	IMPACT TEST AVG	°C	REMARK REF
79851L	1200	RR	269711 031	269710	(16).00X1524X 9144	1	14.7	2.0	84.4	1.3	1.4	3.5	382	491	20			
79857L	1200	RR	255293 04	255293	(14).00X1829X 9144	1	17.6	2.1	90.4	1.8	1.2	4.9	331	458	21			

NOTES : R=KILLED, RR=SPECIAL KILLED (FINE GRAIN TREATMENT)

SURVEYOR TO GERMANISCHER LLOYD

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL WAS MANUFACTURED BY AN APPROVED PROCESS AND TESTED IN ACCORDANCE WITH THE RULES FOR MATERIALS OF GERMANISCHER LLOYD (GL) AND THE REQUIREMENTS WERE SATISFIED.

10087

DIVISION OF QC PROMOTOR

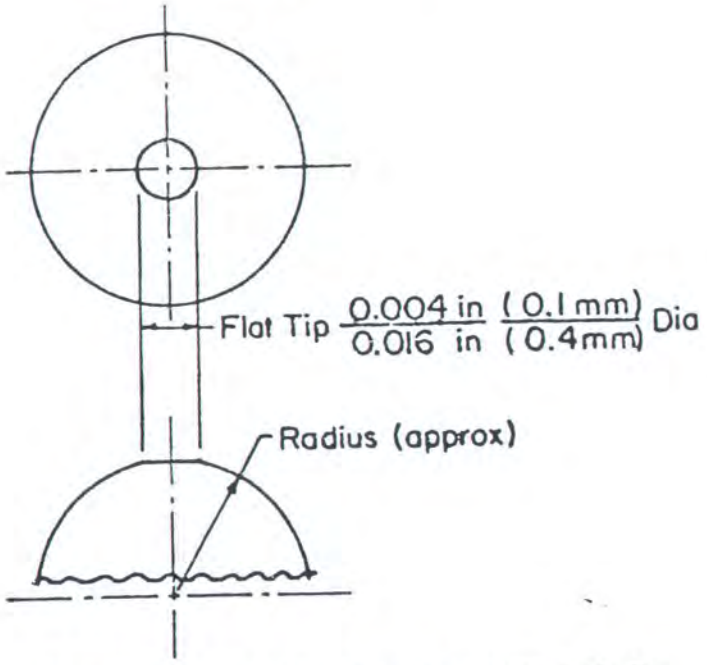


FIG. 1 Profile of Scleroscope Diamond Showing Range of Diameters of Flat Tip

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

Designation: E 466 – 82

Standard Practice for CONDUCTING CONSTANT AMPLITUDE AXIAL FATIGUE TESTS OF METALLIC MATERIALS[1]

This standard is issued under the fixed designation E 466; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers the procedure for the performance of axial fatigue tests to obtain the fatigue strength of metallic materials in the fatigue regime where the strains are predominately elastic both upon initial loading and throughout the test. This practice is limited to the fatigue testing of axial unnotched and notched specimens subjected to a constant amplitude, periodic forcing function in air at room temperature. This practice is not intended for application in axial fatigue tests of components or parts.

NOTE 1—The following documents, although not directly referenced in the text, are considered important enough to be listed in this standard:

E 606 Recommended Practice for Constant-Amplitude Low-Cycle Fatigue Testing[2]

E 739 Practice for Statistical Analysis of Linear or Linearized Stress-Life (*S-N*) and Strain-Life (*E-N*) Fatigue Data[2]

STP 566 Handbook of Fatigue Testing[3]

STP 588 Manual on Statistical Planning and Analysis for Fatigue Experiments[3]

STP 731 Tables for Estimating Median Fatigue Limits[3]

2. Applicable Documents

2.1 *ASTM Standards:*

E 3 Methods of Preparation of Metallographic Specimens[4]

E 206 Definitions of Terms Relating to Fatigue Testing and the Statistical Analysis of Fatigue Data[2]

E 467 Practice for Verification of Constant Amplitude Dynamic Loads in an Axial Load Fatigue Testing Machine[2]

E 468 Practice for the Presentation of Constant Amplitude Fatigue Test Results for Metallic Materials[2]

3. Significance and Use

3.1 The axial load fatigue test is used to determine the effect of variations in material, geometry, surface condition, stress, etc., on the fatigue resistance of metallic materials subjected to direct stress for relatively large numbers of cycles. The test may also be used as a guide to the selection of metallic materials for service under conditions of repeated direct stress.

3.2 In order that such basic fatigue data be comparable, reproducible, and can be correlated among laboratories, it is essential that uniform fatigue practices be established.

3.3 The results of the axial load fatigue test are suitable for direct application to design only when the service conditions exactly parallel the test conditions.

4. Symbols and Definitions

4.1 The terms used in this practice shall be as defined in Definitions E 206.

5. Specimen Design

5.1 The type of specimen used will depend on the objective of the test program, the type of equipment, the equipment capacity, and the form in which the material is available. However, the design must meet certain general criteria outlined below:

[1] This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-9 on Fatigue and is the direct responsibility of Subcommittee E09.08 on Fatigue of Metals.

Current edition approved June 25, 1982. Published August 1982. Originally published as E 466 – 72 T. Last previous edition E 466 – 76.

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

[3] Available from ASTM, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

[4] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.03.

5.1.1 The design of the specimen should be such that failure occurs in the test section (reduced area as shown in Figs. 1 to 4). The ratio of the areas (test section to grip section) should be dependent on the specimen holding method.

5.1.2 Selection of the test section should be such that the absolute maximum stress never occurs at less than 25 % of the machine operating range being used and the absolute minimum stress should never occur at less than 2.5 % of the machine operating range being used. In the case of tests conducted at a stress ratio $R = 0$, only the restriction on the maximum stress shall apply.

5.1.3 The specimen dimensions should be chosen so that the natural frequency of the specimen mounted in the machine will be at least two times the machine cycling frequency.

5.1.4 For the purpose of calculating the load to be applied to obtain the required stress, the dimensions from which the area is calculated should be measured to the nearest 0.001 in. (0.03 mm) for dimensions equal to or greater than 0.200 in. (5.08 mm) and to the nearest 0.0005 in. (0.013 mm) for dimensions less than 0.200 in. (5.08 mm). Surfaces intended to be parallel and straight should be so in a manner consistent with 8.2.

NOTE 2—Measurements of dimensions presume smooth surface finishes for the specimens. In the case of surfaces that are not smooth, due to the fact that some surface treatment or condition is being studied, the dimensions should be measured as above and the average, maximum, and minimum values reported.

5.2 *Specimen Dimensions:*

5.2.1 *Specimens with Circular Cross Sections* may be either of two types:

5.2.1.1 Specimens with tangentially blending fillets between the test section and the ends (Fig. 1). The diameter of the test section should preferably be between 0.200 in. (5.08 mm) and 1.000 in. (25.4 mm). The grip cross-sectional area should be at least 1.5 times but preferably for most materials and specimens at least 4 times the test section area. The blending fillet radius should be at least eight times the test section diameter to minimize the theoretical stress concentration factor, K_t, of the specimen. The test section length should be greater than three times the test section diameter. For tests run in compression, the length of the test section should be less than four times the test section diameter to minimize buckling or excessive bending, unless provisions are made for support of the specimen without affecting the loads applied to the test section by more than 5 %.

5.2.1.2 Specimens with a continuous radius between ends (Fig. 2). The radius of curvature should be no less than eight times the minimum diameter of the test section to minimize K_t. The reduced section length should be greater than three times the minimum test section diameter. Otherwise, the same dimensional relationships should apply as in the case of the specimens described in 5.2.1.1.

5.2.2 *Specimens with Rectangular Cross Sections* may be made from sheet or plate material and may have a reduced test cross section along one dimension, generally the width, or they may be made from material requiring dimensional reductions in both width and thickness. In view of this, no maximum ratio of area (grip to test section) should apply. The value of 1.5 given in 5.2.1.1 may be considered as a guideline. Otherwise, the sections may be either of two types:

5.2.2.1 Specimens with tangentially blending fillets between the uniform test section and the ends (Fig. 3). The radius of the blending fillets should be at least eight times the specimen test section width to minimize K_t of the specimen. The ratio of specimen test section width to thickness should be between two and six, and the reduced area should preferably be between 0.030 in.^{2} (19.4 mm^2) and 1.00 in.^{2} (645 mm^2), except in extreme cases where the necessity of sampling a product with an unchanged surface makes the above restrictions impractical. The test section length should be greater than three times the test section width of the specimen and in the case of tests in compression, less than four times the test section width. However, if specimen thickness is less than 0.100 in. (2.54 mm) and the tests are performed in compression, provisions for lateral specimen support should be made to prevent buckling or excessive bending without affecting the applied load by more than 5 %.

5.2.2.2 Specimens with continuous radius between ends (Fig. 4). The same restrictions should apply in the case of this type of specimen as for the specimen described in 5.2.1.2. The area restrictions should be the same as for the specimen described in 5.2.2.1.

5.2.3 *Notched Specimens*—In view of the specialized nature of the test programs involving notched specimens, no restrictions are placed on the design of the notched specimen, other than that it must be consistent with the objectives of the program. Also, specific notched geometry, information on the associated K_t for the notch, and the method and source of its determination should be reported.

6. Specimen Preparation

6.1 The condition of the test specimen and the method of specimen preparation are of the utmost importance. Improper methods of preparation can greatly bias the test results. In view of this fact, the method of preparation should be agreed upon prior to the beginning of the test program by both the originator and the user of the fatigue data to be generated. Since specimen preparation can strongly influence the resulting fatigue data, the application or end use of that data, or both, should be considered when selecting the method of preparation. Appendix X1 presents an example of a machining procedure that has been employed on some metals to minimize the variability of machining and heat treatment upon fatigue life.

6.2 Once a technique has been established and approved for a specific material and test specimen configuration, no change should be made without demonstration that no bias is introduced by the changed technique. Regardless of the machining, grinding, or polishing method used, the final metal removal should be in a direction approximately parallel to the long axis of the specimen.

6.3 The effects to be most avoided are fillet undercutting and residual stresses introduced by specimen manufacturing practice. The only exception should be where these parameters are under study. Fillet undercutting can be readily determined by inspection. Assurance that residual stresses are either absent or are maintained at a uniform, but low, level throughout the manufacture of the specimens can be achieved only by careful control of the manufacturing procedures.

6.4 *Storage*—Specimens that are subject to corrosion in room temperature air should be accordingly protected, preferably in an inert medium. The storage medium should generally be removed before testing, without chemically disturbing the specimen.

6.5 *Inspection*—Visual inspections at approximately 20× should be conducted on all specimens. Cracks or machining marks visible at this magnification that are approximately perpendicular to the length of the specimen should not be acceptable. Fluorescent dye penetrant, magnetic particle inspection, or ultrasonic methods may be employed when noninjurious to the specimen. Dimensional inspection should be conducted without altering or in any way damaging the specimen.

7. Equipment Characteristics

7.1 Generally, the tests will be performed on one of the following types of fatigue testing machines:

7.1.1 Mechanical (eccentric crank, power screws, rotating masses),

7.1.2 Electromechanical or magnetically driven, or

7.1.3 Hydraulic or electrohydraulic.

7.2 The action of the machine should be analyzed to ensure that the desired form and magnitude of loading is maintained for the duration of the test.

7.3 The test machines should have a load-monitoring system, such as a transducer mounted in series with the specimen, or mounted on the specimen itself, unless the use of such a system is impractical due to space or other limitations. The test loads should be monitored continuously in the early stage of the test and periodically thereafter to ensure that the desired load cycle is maintained. The varying stress, as determined by a suitable dynamic verification (see Practice E 467) should be maintained at all times to within 2 % of the machine operating range being used.

NOTE 3—In the case of test machines where the use of a load-monitoring system is impractical, it should be the responsibility of the originator of the data to establish that the stress variations during start-up or during the test itself do not exceed those specified.

7.4 *Test Frequency*—The range of frequency in which fatigue effects due to frequency are negligible is usually up to 10 000 cpm (170 Hz). Above this frequency (and in some cases below) it will often be necessary to prove by tests that fatigue strength is insensitive to frequency.

8. Procedure

8.1 *Mounting the Specimen*—By far the mos

important consideration for specimen grips is that they can be brought into good alignment consistently from specimen to specimen (see 8.2). For most conventional grips, good alignment must come about from very careful attention to design detail. Every effort should be made to prevent the occurrence of misalignment, either due to twist (rotation of the grips), or to a displacement in their axes of symmetry.

8.2 *Alignment Verification:*

8.2.1 In order to ensure axiality of the applied load, machine manufacturers generally specify conditions of concentricity and parallelism of critical machine parts. While this is essential, it does not ensure that the specimen will not be subjected to bending stresses due to improper alignment. It is reasonable to assume that it is not consistently possible to have a truly axial load applied to the specimen.

8.2.2 It is recommended that strain gages be used to measure the bending strains induced in the specimen. Since the specimen configuration is interrelated with the magnitude of bending strain that will be measured by the strain gages, take care to select a strain-gaged specimen that is similar in configuration to the specimens that are to be fatigue tested. The recommended technique is to strain gage the actual fatigue test specimens, if possible, provided that the installation of the strain gage will not influence the test results.

8.2.3 Bending is defined, as a percentage:

$$\text{Percent bending} = [(S_{max} - S_{avg})/S_{avg}] \times 100 \quad (1)$$

where:

S_{max} = maximum strain measured on the specimen, and

S_{avg} = average strain measured on the specimen.

The maximum allowable bending as defined by Eq 1 shall not be more than 5 % for any given varying stress.

NOTE 4—When measuring bending strains, care should be exercised so that clamping strains may not be overlooked. This can be accomplished by referencing the bending strains to a zero bending condition, such as with one end of the specimen unclamped.

8.2.4 The use of Eq 1 to determine percent bending assumes that the bending moment is uniform along the length of the test specimen. It is also assumed that the planes of maximum bending are the same as the planes of the strain gage pairs. This is not true in some cases, so take care to ensure that the strain gages are, in fact, located in the region of the maximum bending moment. Also, if the planes of maximum bending stress are not coincident with the plane of the strain gages, modify Eq 1 accordingly.

8.2.5 Use four strain gages uniformly spaced around the periphery of the specimen and whose center points lie in a common transverse plane to measure bending strains in the case where there is a uniform bending strain. Strain gage more than one transverse plane to determine strains when the bending moment is not uniform.

8.2.6 Use the method described here to determine the suitability of various types of grips. Use an instrumented specimen to determine repeatability characteristics of the grips.

9. Test Termination

9.1 Continue the tests until the specimen fails or until a predetermined number of cycles has been applied to the specimen. Failure should be defined as complete separation, as a visible crack at a specified magnification, as a crack of certain dimensions, or by some other criterion. In reporting the results, state the criterion selected for defining failure.

10. Report

10.1 This fatigue test specimens, procedures, and results should be reported in accordance with Practice E 468.

10.2 The use of this practice is limited to metallic specimens tested in a suitable environment, generally atmospheric air at room temperature. Since, however, the environment can greatly influence the test results, the environmental conditions, that is, temperature, relative humidity, as well as the medium, should always be periodically recorded during the test and reported.

10.3 Generally, the fatigue tests may be carried out using a periodic forcing function, usually sinusoidal. However, regardless of the nature of the forcing function, it should be reported (sine, ramp, saw tooth, etc.).

10.4 When noticeable yielding occurs in the fatigue tests of unnotched specimens (for example, non-zero mean stress fatigue tests of carbon steel), the permanent deformation of the unbroken but tested specimens (for example, percent change in cross-section area of test section) should be reported.

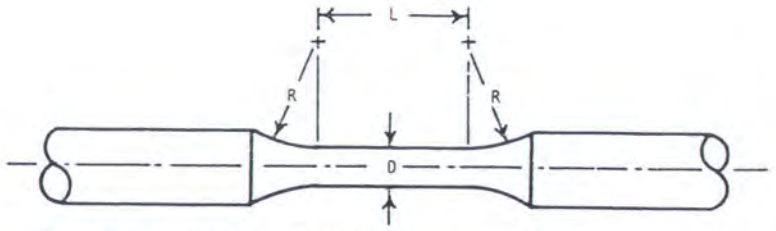


FIG. 1 Specimens with Tangentially Blending Fillets Between the Test Section and the Ends

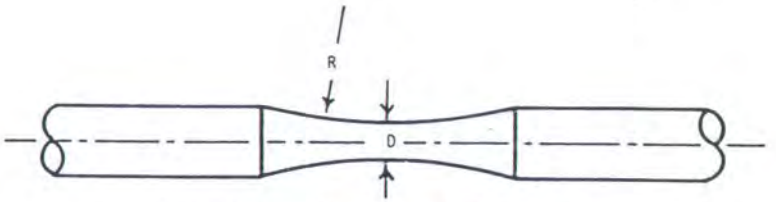


FIG. 2 Specimens with a Continuous Radius Between Ends

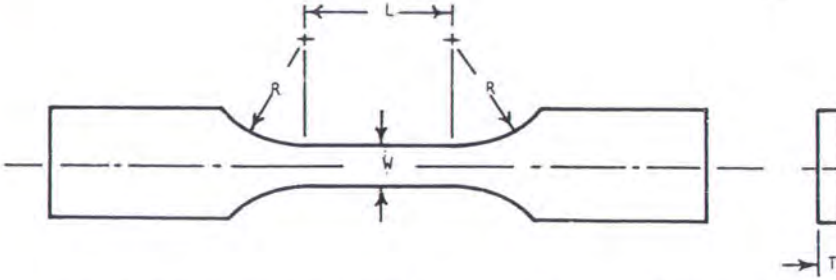


FIG. 3 Specimens with Tangentially Blending Fillets Between the Uniform Test Section and the Ends

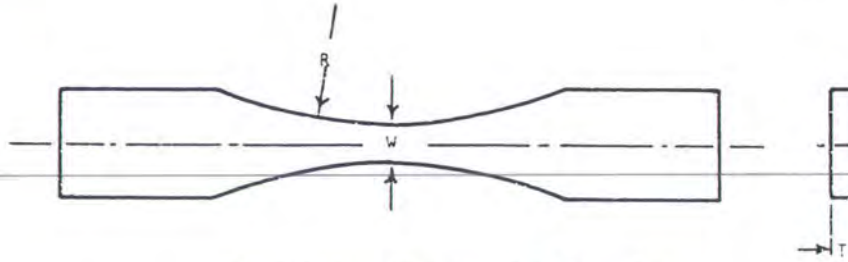


FIG. 4 Specimens with Continuous Radius Between Ends

APPENDIX

(NONMANDATORY INFORMATION)

X1. EXAMPLE OF MACHINING PROCEDURE

X1.1 While the following procedure was developed for machining high-strength materials with minimal attendant surface damage and alteration, it can be successfully applied to materials of lower strength. As a conservative general measure, this procedure is recommended unless: *(1)* the experimental objective is to evaluate another given surface condition or, *(2)* it is known that the material under evaluation is relatively insensitive to surface condition.

X1.2 *Procedure:*

X1.2.1 In the final stages of machining, remove material in small amounts until 0.125 mm (0.005 in.) of excess material remains.

X1.2.2 Remove the next 0.1 mm (0.004 in.) of gage diameter by cylindrical grinding at a rate of no more than 0.005 mm (0.0002 in.)/pass.

NOTE X1.1—Some cast materials will not benefit from successive removal of material in small amounts, although this procedure is probably not to their detriment.

X1.2.3 Remove the final 0.025 mm (0.001 in.) by polishing (Note X1.2) longitudinally to impart a maximum of 0.2-μm (8-μin.) surface roughness.

NOTE X1.2—Extreme caution should be exercised in polishing to ensure that material is being properly removed rather than merely smeared to produce a smooth surface. This is a particular danger in soft materials wherein material can be smeared over tool marks, thereby creating a potentially undesirable influence on crack initiation during testing.

X1.2.4 After polishing (Note X1.2), all remaining grinding and polishing marks should be longitudinal. No circumferential machining should be evident when viewed at approximately 20× magnification under a light microscope.

X1.2.5 If specimen material is soft (for example, copper, aluminum, lead, etc.) at room temperature, final material removal can be performed by means of turning (rather than grinding) and subsequent polishing.

X1.2.6 Degrease the finished specimen.

X1.2.7 If heat treatment is necessary, conduct it before final machining or in such a manner as to avoid any surface damage; employ an inert protective atmosphere to eliminate surface oxidation.

X1.2.8 If surface observations are to be made, the test specimen may be electropolished in accordance with Methods E 3.

X1.2.9 Imprint specimen numbers on both ends of the test section in regions of low stress, away from grip contact surfaces.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

Designation: E 467 – 76 (Reapproved 1982)

Standard Practice for VERIFICATION OF CONSTANT AMPLITUDE DYNAMIC LOADS IN AN AXIAL LOAD FATIGUE TESTING MACHINE

This standard is issued under the fixed designation E 467; the number immediately following the designation indicates the ye original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappr A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers procedures for the verification of constant-amplitude loads applied to axially symmetric specimens at room temperature in an axial load fatigue testing machine.

2. Applicable Documents

2.1 *ASTM Standards:*

E 4 Practices for Load Verification of Testing Machines[2]

E 380 Standard for Metric Practice[3]

3. Definitions

3.1 *fatigue-testing machine*—a device for applying repeated load cycles to a specimen.

3.2 *load*—the force applied to the specimen. In the case of fatigue-testing machines, load is usually measured in units of pound-force or kilogram-force. Relationships for converting between these units and the SI units (newton) may be found in E 380.

3.3 *load cycle*—the smallest segment of the load-time function that is repeated periodically.

3.4 *maximum load*—the load having the highest algebraic value in the load cycle, tensile load being considered positive and compressive load being considered negative.

3.5 *minimum load*—the load having the lowest algebraic value in the load cycle, tensile load being considered positive and compressive load being considered negative.

3.6 *mean load*—the algebraic average of the maximum and minimum loads in the load cycle.

3.7 *load amplitude*—one half of the algebraic difference between the maximum and minimum loads in the load cycle.

3.8 *set loads*—the maximum and minimum loads (or the mean load and the load amplitu that correspond to the settings and adjustme of the controls of a fatigue-testing machine, cording to an existing set of guidelines. Th guidelines may have been furnished by the m ufacturer of the machine or they may have b developed by the user.

3.9 *indicated loads*—the maximum and m imum loads (or the mean load and the lo amplitude) that correspond to the readings tained from the indicating or recording equ ment associated with the fatigue testing machi according to an existing calibration. This calib tion may have been furnished by the manufa turer of the machine, or may have been dev oped by the user. In the case of fatigue-testi machines having no provision for load readou the indicated loads are considered to be identic with the set loads.

3.10 *dynamometer*—an elastic calibration d vice for use in verifying the indicated loads a plied by a fatigue testing machine. It shall consi of an instrumented member having mass, stif ness, and end displacements such that the inertia effects of the specimen and its attachments to th testing machine, for which the verification o loads is desired, are duplicated within 1 %. Th instrumentation shall permit an accurate deter mination of the magnitude of the average strain

[1] This practice is under the jurisdiction of ASTM Committe E-9 on Fatigue and is the direct responsibility of Subcommitte E09.04 on Apparatus and Test Methods.

Current edition approved June 11, 1976. Published August 1976. Originally published as E 467 – 72 T. Last previous edition E 467 – 72 T.

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vols 03.01, 04.02, 07.01, and 08.03.

[3] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.