

22213/14/05



**TUGAS AKHIR
(LK 1347)**

**ANALISA PENYIMPANGAN HASIL
PENGUKURAN KEDALAMAN RETAK
PADA BLOK KALIBRASI BAJA KARBON
DAN MATERIAL WELD METALNYA**



RSPe
Gro.112 E
lat
9-1
2005

Oleh :

Yenni Marta Latta
4199 100 056

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	5-4-2005
Terima Dari	H/
Agenda Prp.	221 814

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2005**

**ANALISA PENYIMPANGAN HASIL
PENGUKURAN KEDALAMAN RETAK
PADA BLOK KALIBRASI BAJA KARBON
DAN MATERIAL WELD METALNYA**


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,
Surabaya, Januari 2005

Dosen Pembimbing,




Wing Hendroprasetyo A.P, ST, M. Eng

NIP : 132.133.972

**ANALISA PENYIMPANGAN HASIL
PENGUKURAN KEDALAMAN RETAK
PADA BLOK KALIBRASI BAJA KARBON
DAN MATERIAL WELD METALNYA**

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,
Surabaya, Januari 2005**

Dosen Pembimbing,



Wing Hendroprasetyo A.P, ST, M. Eng

NIP. 132.133.972

**ANALISA PENYIMPANGAN HASIL
PENGUKURAN KEDALAMAN RETAK
PADA BLOK KALIBRASI BAJA KARBON
DAN MATERIAL WELD METALNYA**

TUGAS AKHIR

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

dan

**Telah direvisi sesuai dengan hasil sidang Tugas Akhir
pada**

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui / menyetujui,

Surabaya, Januari 2005

Dosen Pembimbing,



Wing Hendroprasetyo A.P, ST, M. Eng

NIP. 132.133.972

ABSTRAK

Selama ini pengukuran kedalaman retak selalu dilakukan tegak lurus dengan permukaan material yang diukur. Pengukuran kedalaman retak pada material baja karbon (P no 1) dilakukan pada material las-lasan dimana daerah yang diukur adalah pada mahkota las, kaki las dan akar las serta pada base metal dengan retak membentuk sudut-sudut tertentu.

Sebelum melakukan pengukuran kedalaman retak pada material ini, terlebih dahulu dilakukan proses kalibrasi menggunakan material yang sama dengan material uji untuk mendapatkan harga acuan dari kedalaman retak yang sebenarnya. Kemudian dengan menggunakan bantuan alat *Crack Depth Meter* yang bekerja berdasarkan prinsip *Direct Current Potential Drop (DCPD)* dilakukan pengukuran kedalaman retak pada material uji. Permukaan yang tidak rata dan adanya retak yang membentuk sudut pada material yang disebabkan karena proses pengelasan mengakibatkan adanya perbedaan lintasan dari probe pemancar ke probe penerima, sehingga terjadi penyimpangan pada pengukuran kedalaman retak.

Hasil yang didapat dari pengujian kemudian dianalisa sehingga ditemukan suatu formula yang merupakan faktor konversi untuk pengukuran kedalaman retak yang selanjutnya. Formula yang dihasilkan dari pengukuran kedalaman retak pada mahkota las, kaki las dan akar las adalah berupa persamaan polynomial orde 4 berturut-turut adalah sebagai berikut :

- $y = 9E-06x^4 - 0.0009x^3 + 0.0244x^2 + 0.1783x + 0.5104$
- $y = 2E-05x^4 - 0.0022x^3 + 0.0653x^2 - 0.1374x + 0.7607$
- $y = -2E-05x^4 + 0.0015x^3 - 0.0401x^2 + 0.833x - 0.0103$

Sedangkan untuk pengukuran pada base metal, formula yang didapat adalah berupa persamaan kuadrat sesuai dengan sudut yang dibentuk oleh retak sebagai berikut :

- $y = -0.1389x^2 + 2.344x - 6.7836$ untuk $\alpha = 15^\circ$
- $y = -0.0534x^2 + 0.5255x + 0.2271$ untuk $\alpha = 30^\circ$
- $y = 0.1336x^2 - 2.2922x + 13.834$ untuk $\alpha = 45^\circ$
- $y = 0.3105x^2 - 7.8929x + 57.057$ untuk $\alpha = 60^\circ$
- $y = -0.0192x^2 + 1.0957x - 3.4493$ untuk $\alpha = 75^\circ$

ABSTRACT

The purpose of the research is to calibrate crack depth that is not perpendicular to the material surface with Direct Current Potential Drop (DCPD) technique. Crack Depth is measured on base and weld metal with some variation in certain angles (α).

Calibration on a carbon steel block was performed before measuring the crack depth on the test specimens. Result of the experiments were formulated as follows :

❖ Weld metal :

- $y = 9E-06x^4 - 0.0009x^3 + 0.0244x^2 + 0.1783x + 0.5104$ at weld bead.
- $y = 2E-05x^4 - 0.0022x^3 + 0.0653x^2 - 0.1374x + 0.7607$ at weld toe.
- $y = -2E-05x^4 + 0.0015x^3 - 0.0401x^2 + 0.833x - 0.0103$ at weld root.

❖ Base metal :

- $y = -0.1389x^2 + 2.344x - 6.7836$ for $\alpha = 15^\circ$
- $y = -0.0534x^2 + 0.5255x + 0.2271$ for $\alpha = 30^\circ$
- $y = 0.1336x^2 - 2.2922x + 13.834$ for $\alpha = 45^\circ$
- $y = 0.3105x^2 - 7.8929x + 57.057$ for $\alpha = 60^\circ$
- $y = -0.0192x^2 + 1.0957x - 3.4493$ for $\alpha = 75^\circ$

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmad serta karunianya sehingga laporan Tugas Akhir yang berjudul **ANALISA PENYIMPANGAN HASIL PENGUKURAN KEDALAMAN RETAK PADA BLOK KALIBRASI BAJA KARBON DAN MATERIAL WELD METALNYA** dapat terselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir ini merupakan sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Semoga hasil jerih payah dan kerja keras ini bisa bermanfaat bagii perkembangan ilmu pengetahuan dan bisa dijadikan sebuah referensi untuk penelitian selanjutnya. Namun demikian penulis menyadari bahwa penulis hanyalah manusia biasa yang tak luput dari kesalahan dan kekurangan. Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mohon maaf atas segala kesalahan dan kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2005

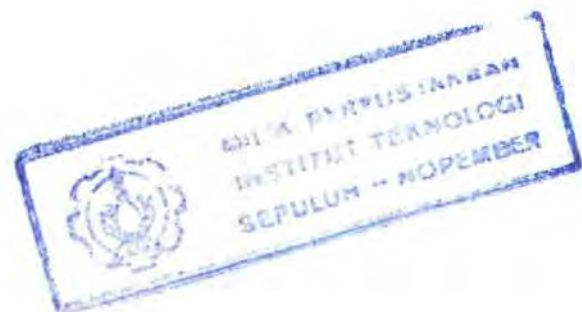
Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, karena dengan bantuan dari banyak pihak maka Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Atas segala apa yang telah penulis dapatkan, maka kini tiba saatnya bagi penulis untuk mengucapkan terima kasih kepada :

1. Wing Hendroprasetyo, A.P, ST, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk mentransfer ilmu dan memberikan bimbingan dari awal hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. (Thank you very much).
2. Ir. Triwilaswandio WP, MSc, selaku ketua jurusan Teknik Perkapalan, FTK-ITS Surabaya.
3. Ir. Wasis Dwi Aryawan,selaku sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan, FTK-ITS Surabaya.
4. Ir. Budie Santosa, MT, selaku dosen wali.
5. Kedua orang tuaku yang telah memberikan kesempatan untuk meraih gelar sarjana dan dukungan serta kepercayaannya. Terima kasih atas do'a dan kasih sayangnya sehingga aku bisa jadi seperti yang sekarang ini.
6. Seluruh dosen Teknik Perkapalan FTK-ITS yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dikemudian hari.
7. Orang-orang Lab Konstruksi yang telah membantu mengajari banyak hal.
8. Teman-temanku seperjuangan, Denny "Denok" dan Agus "Bean Bundes". Perjuangan kita masih panjang, jangan berhenti sampai disini.

9. Teman-temanku angkatan '99, terima kasih atas kebersamaan dan bantuannya selama ini dan maaf jika selama ini aku banyak menyakiti kalian.
10. Teman-temanku angkatan Bonga-bonga, terima kasih atas persahabatan yang indah ini.
11. Temen-temen kontrakan Marina (Cuwil, Iyud, si kecil O'on, Nanang n Adi) untuk kenyamanan yang telah kalian berikan dan terima kasih untuk tidak mengusirku.
12. Temen-temenku kost (Cusnul, Hilmi, Rinta "Ndut", Nita, dll) atas keceriaan yang telah diberikan.
13. Semua pihak yang telah membantu yang namanya tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Semoga Tuhan membalas semua kebaikan kalian.
Amin.



DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Permasalahan.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan Laporan.....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pendahuluan Non Destructive Testing.....	7
2.2 Direct Current Potential Drop (DCPD).....	10
2.3 Teori Crack.....	15
2.4 Properties Baja Karbon.....	17
2.5 Electrical Properties.....	20
2.5.1. Hukum Ohm.....	22

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan.....	23
3.2 Flow Chart Metodologi Pengerjaan.....	24
3.3 Dimensi Material Uji dan Blok Kalibrasi.....	25
3.4 Proses Pembentukan Material Uji dan Blok Kalibrasi	
3.4.1. Proses Pembentukan Blok Kalibrasi.....	28
3.4.2. Proses Pembentukan Material Uji.....	29
3.5 Peralatan yang Digunakan	
3.5.1. Electro Discharge Machine.....	30
3.5.2. Crack Depth Meter.....	31
3.6 Prosedur Pengambilan Data.....	32

BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN HASIL PENGUJIAN

4.1 Pendahuluan	
4.2 Analisa Data	
4.2.1. Kedalaman Retak Pada Base Metal.....	36
4.2.2. Kedalaman Retak Pada Weld Metal.....	39
4.3 Pembahasan	
4.3.1. Base Metal.....	44
4.3.2. Mahkota Las.....	44
4.3.3. Kaki Las.....	45
4.3.4. Akar Las.....	46

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan..... 47

5.2 Saran..... 48

DAFTAR PUSTAKA..... 49

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Pola lintasan arus pada material tanpa cacat.....	14
Gambar 2.2.	Pola lintasan arus pada material dengan cacat.....	14
Gambar 3.1.	Lokasi retak pada material las-lasan.....	25
Gambar 3.2.	Lokasi retak pada logam induk.....	26
Gambar 3.3.	Geometri blok kalibrasi.....	28
Gambar 3.4.	Crack Depth Meter.....	32
Gambar 3.5.	Posisi probe pada blok kalibrasi.....	33
Gambar 3.6.	Posisi probe pada pengukuran di mahkota las.....	34
Gambar 3.7.	Posisi probe pada pengukuran di kaki las.....	34
Gambar 3.8.	Posisi probe pada pengukuran di akar las.....	35
Gambar 3.9.	Posisi probe pada pengukuran di base metal.....	35
Gambar 4.1.	Grafik regresi polynomial pengukuran di base metal.....	38
Gambar 4.2.	Grafik regresi polynomial pengukuran di mahkota las.....	41
Gambar 4.3.	Grafik regresi polynomial pengukuran di kaki las.....	42
Gambar 4.4.	Grafik regresi polynomial pengukuran di akar las.....	43
Gambar C.1	Mesin Gergaji.....	Lampiran
Gambar C.2	Pengukuran kedalaman retak.....	Lampiran
Gambar C.3	Wire Brush.....	Lampiran
Gambar C.4	Electro Discharge Machine.....	Lampiran

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Paduan baja karbon.....	17
Tabel 2.2.	Properties baja karbon.....	19
Tabel 3.1.	Variasi sudut dan kedalaman retak pada material uji.....	27
Tabel 4.1.	Kedalaman retak pada base metal.....	37
Tabel 4.2.	Kedalaman retak pada weld metal.....	40
Tabel 4.3	Kedalaman retak pada weld metal secara keseluruhan.....	44
Tabel A.1	Hasil pengukuran kedalaman retak pada base metal....Lampiran	
Tabel A.2	Hasil pengukuran kedalaman retak pada mahkota las...Lampiran	
Tabel A.3	Hasil pengukuran kedalaman retak pada kaki las.....Lampiran	
Tabel A.4	Hasil pengukuran kedalaman retak pada akar las.....Lampiran	
Tabel B.1	Verifikasi rumus untuk base metal.....Lampiran	
Tabel B.2	Verifikasi rumus untuk mahkota las.....Lampiran	
Tabel B.3	Verifikasi rumus untuk kaki las.....Lampiran	
Tabel B.4	Verifikasi rumus untuk akar las.....Lampiran	



BAB I
PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam proses produksi atau fabrikasi, cacat karena proses pengelasan adalah cacat yang paling sering terjadi. Karena penyambungan konstruksi sebagian besar dilakukan dengan pengelasan, sambungan las memegang peranan penting dalam menentukan kekuatan konstruksi tersebut. Kerusakan atau kepatahan suatu konstruksi umumnya diawali dari daerah las atau sekitar daerah las.

Crack didefinisikan sebagai suatu ketidaksinambungan (diskontinuitas) dengan ujung-ujung yang tajam. Crack merupakan salah satu bentuk cacat yang paling berbahaya dibandingkan dengan cacat yang lain. Adanya ujung-ujung yang tajam menyebabkan crack mudah merambat bila mendapat beban berulang sehingga dapat menyebabkan kepatahan tiba-tiba pada struktur. Crack menyebabkan pengurangan yang serius pada kekuatan sambungan las, terutama pada kondisi beban pukul, beban dinamis, dan penggunaan-penggunaan pada suhu rendah. Dalam pengelasan, crack merupakan cacat paling serius yang perlu dihindari sedini mungkin.

Salah satu cara pengujian tidak merusak (*Non Destructive Test / NDT*) yang digunakan untuk mengetahui kedalaman retak adalah dengan



menggunakan metode *Direct Current Potential Drop (DCPD)* dengan bantuan alat *Crack Depth Meter (CDM)*. Prinsip kerja dari metode ini adalah dengan mengalirkan arus steady melalui sampel uji dan menghitung beda potensial yang terjadi diantara dua titik yang dipisahkan oleh jarak dimana sepasang probe dihubungkan dengan permukaan sampel uji. Apabila dalam material tersebut tidak ada cacat retak, maka beda potensial yang terbaca antara probe pemancar dengan probe penerima akan sama. Tetapi adanya cacat retak dalam material akan mengakibatkan terjadinya perbedaan lintasan arus dari probe pemancar ke probe penerima yang mengakibatkan adanya penyimpangan hasil pengukuran kedalaman retak. Untuk itu perlu dilakukan penelitian terhadap penyimpangan yang terjadi pada pengukuran kedalaman retak pada logam las dan logam induk dimana cacat yang terjadi tidak tegak lurus dengan permukaan material.

1.2 Perumusan Masalah

Adanya perbedaan lintasan potensial dari pemancar ke penerima menyebabkan adanya penyimpangan pada hasil pengukuran kedalaman retak. Seberapa besar penyimpangan yang terjadi pada pengukuran kedalaman retak di manik las dan kaki las serta pada base metal dimana posisi retak dibuat membentuk sudut-sudut tertentu terhadap permukaan material.



1.3. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui besarnya deviasi yang terjadi pada pengukuran kedalaman retak karena adanya kekasaran permukaan akibat proses pengelasan dan karena adanya cacat yang membentuk sudut terhadap permukaan material.

Hasil penelitian yang berupa grafik dan rumus yang menghubungkan hasil pengukuran retak pada blok kalibrasi dengan hasil pengukuran dengan menggunakan alat dapat digunakan sebagai faktor konversi pada pengukuran kedalaman retak yang sesungguhnya.

1.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam tugas akhir ini tidak melebar dan lebih terarah maka diperlukan suatu batasan masalah. Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

- Material yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah baja karbon (*P no 1*).
- Cacat yang diteliti adalah cacat retak yang dimodelkan dengan irisan sederhana menggunakan wire cut diameter 0,25 mm dengan beberapa kedalaman dan sudut tertentu.



- Analisa dilakukan pada daerah manik las, kaki las dan pada base metal dengan posisi retak membentuk sudut.
- Alat yang digunakan untuk mengukur kedalaman retak adalah *Crack Depth Meter (CDM)* yang bekerja berdasarkan metode *Direct Current Potential Drop (DCPD)*.
- Titik berat penulisan tugas akhir ini adalah mencari deviasi yang terjadi pada pengukuran kedalaman retak karena adanya kekasaran permukaan akibat proses pengelasan.

1.5. Metodologi Penelitian



Metodologi penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur mengenai *Direct Current Potential Drop (DCPD)* dan teori lain yang berhubungan dengan tugas akhir ini.
2. Pembuatan blok kalibrasi yang terdiri dari pembentukan dimensi, persiapan permukaan dan pemodelan cacat.
3. Persiapan material uji yang terdiri dari pembentukan dimensi material uji, persiapan permukaan dan pemodelan cacat pada material.
4. Pengambilan data yang diperoleh dari pengukuran kedalaman retak pada blok kalibrasi dan material uji menggunakan *Crack Depth Meter*.
5. Analisa data hasil pengukuran kedalaman retak pada blok kalibrasi dan material uji.
6. Pengambilan kesimpulan dari hasil analisa data.



1.6. Sistematika Laporan

BAB I. PENDAHULUAN

- 1.1 Latar Belakang
- 1.2 Perumusan Masalah
- 1.3 Tujuan Penelitian
- 1.4 Batasan Permasalahan
- 1.5 Manfaat Penelitian
- 1.6 Sistematika Penulisan Laporan

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

- 2.1 Pendahuluan Non Destructive Testing
- 2.2 Direct Current Potential Drop (DCPD)
- 2.3 Teori Crack
- 2.4 Properties Baja Karbon
- 2.5 Electrical Properties

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

- 3.1 Pendahuluan
- 3.2 Flow Chart Metodologi Pengerjaan
- 3.3 Dimensi Material Uji dan Blok Kalibrasi
- 3.4 Proses Pembentukan Material Uji dan Blok Kalibrasi



3.5 Peralatan yang Digunakan

3.6 Prosedur Pengambilan Data

BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN HASIL PENGUJIAN

4.1 Pendahuluan

4.2 Analisa Hasil

4.3 Pembahasan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

5.2 Saran

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA



BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Selama proses pengelasan berlangsung, tidak tertutup kemungkinan terjadinya diskontinuitas dan cacat pada hasil pengelasan. Sebagian dari diskontinuitas dan cacat-cacat tersebut diakibatkan oleh sifat-sifat alami logam las, sementara sebagian yang lainnya diakibatkan oleh kesalahan juru las yang dapat diatasi dengan memberikan pelatihan yang benar.

Untuk menjamin hasil pengelasan yang mulus dan bebas dari cacat diperlukan langkah-langkah pemeriksaan dan pengujian sambungan las sehingga dapat diperoleh gambaran kualitas, kekuatan dan sifat-sifat sambungan yang dibuat.

Pengujian yang dilakukan pada sambungan las dapat dikategorikan ke dalam dua bagian yaitu pengujian tidak merusak/ nondestructive testing (NDT) dan pengujian merusak / destructive testing (DT).

Pengujian tidak merusak memiliki beberapa keuntungan yaitu :

- Dapat mendeteksi adanya cacat secara dini.
- Tidak merusak komponen / struktur.
- Penghematan biaya.
- Tidak perlu menghentikan proses produksi.
- Dapat diperoleh informasi secara kualitatif dan kuantitatif.



Nondestructive Testing (NDT) dapat digunakan pada material logam maupun non logam dan metode penggunaannya tergantung pada berbagai faktor seperti jenis material dan dimensinya, lingkungan, posisi dalam kaitannya dengan struktur dan komponen yang akan diperiksa, misalnya apakah cacat tersebut terletak didalam atau diatas permukaan material. Secara umum, pengujian tidak merusak dikelompokkan menjadi 4 (empat) katagori [Blitz,1997]:

1. Metode visual yaitu pemeriksaan cacat pada material dengan ataupun tanpa bantuan alat. Pemeriksaan visual merupakan dasar dari NDT. Pemeriksaan ini dapat dilakukan sebelum, selama dan setelah proses pengelasan. Pemeriksaan visual yang dilakukan pada permukaan spesimen dapat mengindikasikan lokasi cacat dan memberikan peringatan akan kondisi struktur secara umum. Yang termasuk dalam pemeriksaan visual antara lain :

a. Liquid Penetrant Inspection

Digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan seperti retak, laminasi, surface porosity, dan undercut. Pemeriksaan ini hanya dilakukan pada benda yang tidak berpori dan tidak menyerap cairan. Cacat/retak yang diselidiki adalah keretakan mikro yang tidak dapat diamati dengan mata telanjang. Teknik ini bekerja berdasarkan prinsip gaya kapiler dimana cairan penetrant masuk kedalam celah karena gaya kapiler.



b. Magnetic Particle Inspection

Magnetic particle merupakan cara NDT untuk mendeteksi cacat permukaan dan cacat bawah permukaan (subsurface) pada komponen-komponen logam ferromagnetic (dapat ditarik kuat oleh magnet). Jika terdapat retakan pada permukaan komponen, sebagian medan magnet akan meninggalkan komponen dan menarik partikel-partikel magnet pada daerah ini sehingga menyatakan adanya cacat. Pemeriksaan dapat dilakukan dengan cahaya biasa atau dengan bantuan sinar ultraviolet.

2. Perambatan Getaran/Gelombang Elastis

Yang termasuk dalam metode ini adalah :

a. Ultrasonic Flaw Detection

Merupakan teknik untuk mendeteksi cacat dengan menggunakan gelombang suara yang berkisar antara 0.5 MHz sampai 20 MHz yang dirambatkan pada material.

b. Accoustic Emission

3. Radiografi

Teknik ini dilakukan dengan menggunakan sinar X atau sinar gamma untuk menembus komonen yang akan diperiksa. Jumlah penyerapan radiasi tergantung pada kerapatan dan ketebalan material dan intensitas radiasi. Jumlah penyerapan juga dipengaruhi oleh adanya cacat seperti porosity, cavity, atau inclusion dalam material.



4. Medan Elektromagnetik

Yang termasuk dalam metode ini adalah :

a. Eddy Current Testing

Dapat digunakan pada semua material yang mempunyai konduktivitas listrik. Manfaat utama dari metode ini adalah tidak diperlukannya kontak fisik dengan permukaan objek yang akan diuji, jadi tidak diperlukan persiapan permukaan dari material yang akan diuji.

b. Alternating Current Potential Drop (ACPD)

c. Direct Current Potential Drop (DCPD)

d. Alternating Current Field Measurement (ACFM)

2.2. Direct Current Potential Drop (DCPD)

Dasar dari metode pengujian penurunan potensial arus searah meliputi mengalirkan arus steady I melalui sample uji yang bersifat konduktor dan menghitung resultan beda potensial V diantara dua titik C dan D yang dipisahkan oleh jarak s searah dengan arus I dimana sepasang probe terhubung dengan permukaan (gambar 2.2 dan gambar 2.3). Harga V merupakan fungsi dari arus (I), jarak antar probe (s), konduktivitas listrik (resistivitas), kelengkungan, ukuran dan sifat fisik sample. Metode ini dapat juga digunakan untuk mengenali property sample seperti sifat-sifatnya, ketebalan, struktur dan temperaturnya. Karena jarak yang



diperlukan hanya beberapa millimeter, teknik ini juga dapat digunakan untuk menentukan variasi ruang dari konduktivitas listrik, yang mungkin disebabkan oleh kekuranghomogenan atau adanya cacat local seperti retak [Blitz, 1997].

Aplikasi metode *Direct Current Potential Drop (DCPD)* pertama kali dibuat oleh Valdes (1954) menggunakan sample semi konduktor untuk menaksirkan kemurniannya, yang divariasikan dengan konduktivitas listriknya. Valdes menggunakan probe dengan empat kaki logam yang digunakan untuk menghubungkan dengan sample uji. Sebuah arus steady memasuki material di titik A dan meninggalkan material melalui titik B menurut lintasan yang ditunjukkan oleh gambar 2.2, dan beda potensial di titik C dan D dihitung. Jarak antara titik A dan B harus cukup pendek, kurang dari 10 mm untuk mencegah arus terdeteksi berpenetrasi ke permukaan terendah sample uji. Hal ini memastikan bahwa pola garis yang dibentuk oleh aliran arus merupakan karakteristik dari property dan struktur konduktor, bukan geometrinya.

Valdes menghubungkan konduktivitas listrik σ dengan arus I , beda potensial V dan jarak pemisahan kaki $s_1 = AC$, $s_2 = CD$ dan $s_3 = DB$, diasumsikan dihubungkan dengan permukaan semi infinite medium, misalnya :

$$\sigma = (I / 2\pi V) [1/s_1 + 1/s_2 - 1/(s_1+s_2) - 1/(s_2+s_3)]$$

jika $s_1 = s_2 = s_3 = s$, sehingga

$$\sigma = 1/(I / 2\pi V)$$



Sebagai alternative, probe dikalibrasi dengan menempatkannya di atas permukaan sample standard yang mempunyai harga konduktivitas σ' yang sudah diketahui dengan arus I sehingga beda potensial V' muncul diantara titik C dan D. Probe kemudian ditempatkan diatas permukaan sample yang akan diukur pada arus I yang sama; tegangan V diantara titik C dan D diobservasi. Konduktivitas σ material dibawah pengujian sama dengan $\sigma' V'/V$. Untuk mendapatkan hasil yang serupa, ketidakpastian yang muncul dari hubungan tahanan yang tidak stabil harus dihilangkan, terutama dengan memastikan bahwa permukaan telah bersih kemudian dengan mengatur pembebanan pada kaki pegas sampai V mencapai nilai yang konstan.

Metode Valdes memberikan hasil yang akurat untuk material semikonduktor yang mempunyai konduktivitas listrik yang cukup rendah untuk setiap resistansi sisa dari hubungan yang terjadi antara prods dengan yang diabaikan dibandingkan dengan resistansi material antara C dan D.

Teknik ini juga telah diaplikasikan pada sample baja untuk mengukur ketebalan dan kedalaman retak permukaan. Ketidakakuratan dapat juga muncul karena adanya panas EMFs pada hubungan beda potensial prod dengan permukaan logam tetapi tidak dapat dihilangkan dengan menggunakan prods yang terbuat dari material yang sama dengan material uji atau dengan pengulangan sederhana pengukuran beda



potensial dengan arus pada arah yang berlawanan kemudian mengambil rata – rata dari dua nilai yang ada.

Metode *Direct Current Potential Drop (DCPD)* dapat digunakan untuk menghitung kedalaman retak–patah pada permukaan setelah terlebih dahulu diperiksa menggunakan metode yang lain misalnya *magnetic particle inspection*; juga mungkin digunakan untuk persiapan ukuran retak untuk tujuan pemodelan. Dalam prakteknya, kedalaman retak dapat diukur dengan bantuan blok kalibrasi yang terbuat dari material yang sama dengan sample uji dan mengandung potongan yang merupakan pemodelan dari cacat retak yang telah diketahui kedalamannya. Kedalaman retak d yang belum diketahui dari sample uji dapat ditentukan kemudian dari hubungan antara rasio V/V_0 dan d yang diperoleh dari kurva kalibrasi [Blitz, 1997].

Jika metode *DCPD* digunakan untuk menghitung ketebalan dari logam, aliran arus harus menembus permukaan terendah dari obyek ketebalan ditentukan oleh area melalui dimana terjadinya penetrasi. Prinsip kerja dari metode Valdes dapat dijelaskan dalam gambar 2.1 dan gambar 2.2.

Keterangan :

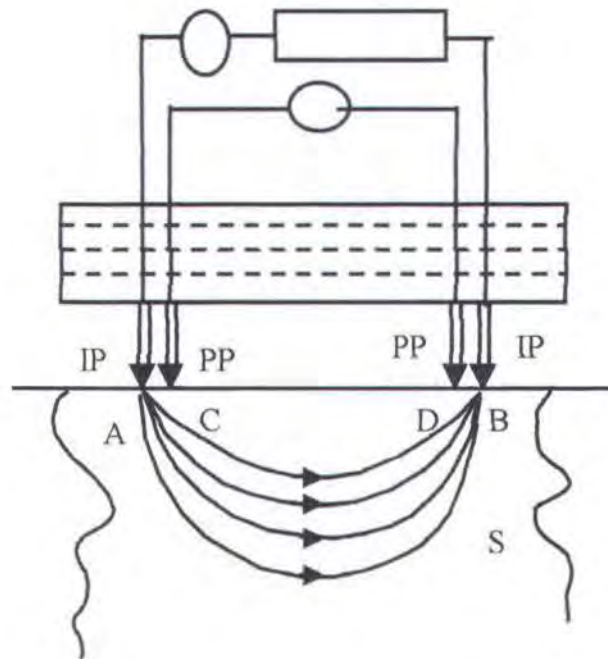
PP : Potensial Probe

IP : Current Probe

IB : Insulating Probe Body

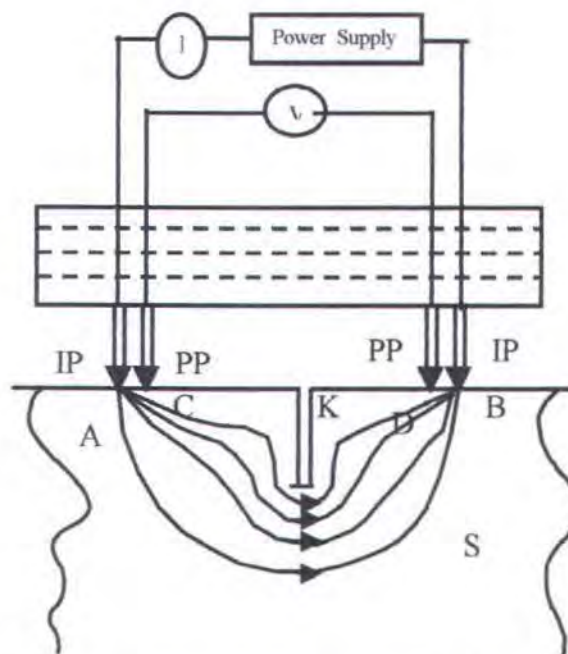
S : Sample

K : Crack



Gambar 2.1 Pola lintasan arus pada material tanpa cacat

[Blitz, 1997].



Gambar 2.2 Pola lintasan arus pada material dengan cacat

[Blitz, 1997].

Gambar 2.2. menunjukkan pola aliran arus dari probe pemancar ke probe penerima pada material tanpa cacat. Arus dialirkan dari probe pemancar (A) menuju ke probe penerima (B), kemudian beda potensial yang terjadi antara titik C dan D dihitung dan dibaca sebagai kedalaman retak.

Gambar 2.3. menunjukkan pola aliran arus dari probe pemancar ke probe penerima pada material yang mengalami cacat. Pola aliran arus membentuk lintasan yang berbelok-belok karena mengikuti bentuk cacat pada material.

2.3. Crack (Retak)

Crack didefinisikan sebagai suatu ketidaksinambungan (diskontinuitas) dengan ujung-ujung yang tajam dan merupakan salah satu bentuk cacat las yang paling berbahaya dibandingkan dengan jenis cacat yang lain. Adanya ujung yang tajam menyebabkan crack mudah merambat bila mendapat beban berulang sehingga dapat menyebabkan kepatahan tiba-tiba pada struktur. Crack dapat terjadi pada logam las maupun HAZ yang disebabkan karena pendinginan yang terlalu cepat, adanya gas-gas hydrogen dan oksigen, persiapan pengelasan yang kurang baik, adanya penahanan yang dipaksakan dan diameter electrode yang terlalu kecil. Crack menyebabkan pengurangan yang serius pada kekuatan sambungan las, terutama pada kondisi beban pukul, beban dinamis, dan penggunaan-penggunaan pada suhu rendah. Dalam pengelasan, crack merupakan cacat



yang paling serius yang perlu dihindari sedini mungkin [Okomura T dan Wiryo Sumarto, 1988].

Berdasarkan proses terjadinya, crack dibedakan menjadi dua, yaitu hot crack dan cold crack. Hot crack terjadi selama atau segera setelah proses pengelasan dilakukan, atau selama siklus pendinginan pada suhu diatas 550° C. Cold crack terjadi secara lambat, yaitu berjam-jam atau bahkan berhari-hari setelah pengelasan berlangsung, atau terjadi dibawah suhu martensit, yaitu 300° C. Contoh dari cold crack adalah fatigue crack (retak kelelahan) yang dapat terjadi berbulan-bulan atau bertahun-tahun setelah fabrikasi akibat adanya pembebanan berulang. Stress corrosion cracking (retak tegangan korosi) juga contoh lain dari cold crack yang terjadi karena adanya tegangan tarik statis dan lingkungan korosif [Okomura T dan Wiryo Sumarto, 1988].

Berdasarkan letaknya crack dibedakan menjadi dua, yaitu : surface crack dan internal crack. Surface crack terletak pada permukaan logam las dan dapat dilihat dengan menggunakan teknik pemeriksaan visual. Macam-macam surface crack antara lain transversal, longitudinal, crater dan toe crack, sedangkan jenis-jenis subsurface crack (dekat permukaan) antara lain underbead crack, lamellar tearing, fissures dan microfissures [Okomura T dan Wiryo Sumarto, 1988].

Internal crack terletak didalam logam las dan untuk melihatnya diperlukan teknik pengujian khusus. Pada umumnya, internal crack



menunjukkan bahwa logam las mempunyai ductility (keuletan) yang rendah atau terjadi penahanan yang tinggi pada saat proses pengelasan.

Secara umum, crack dapat disebabkan oleh ductility material yang rendah, penahan saat pengelasan, kecepatan pendinginan, komposisi campuran, heat input yang tidak sesuai, persiapan sambungan yang kurang baik, dan pemilihan electrode yang tidak sesuai.

2.4. Properties dari Baja Karbon

Baja karbon adalah baja dimana elemen paduannya tidak melampaui dari batas yang ditunjukkan oleh tabel dibawah ini.

Tabel 2.1 Paduan baja karbon [Linnert G.E, vol I]

Elemen	Berat maximum (%)
C	1.00
Cu	0.60
Mn	1.65
P	0.40
S	0.05

- Unsur karbon (C) adalah elemen pengeras utama dari baja. Kandungan karbon yang tinggi akan meningkatkan kekerasannya (hardenability) dan juga menaikkan tegangan tariknya (tensile strength), disisi lain dengan tingginya kadar karbon akan



menurunkan keuletan (ductility) dan menurunkan sifat mampu lasnya.

- Unsur tembaga (Cu) adalah logam yang mempunyai daya hantar listrik dan daya hantar panas yang tinggi serta mempunyai daya tahan korosi yang baik terhadap air laut, beberapa zat kimia dan bahan makanan. Sifat-sifat ini menyebabkan paduan tembaga banyak digunakan untuk bahan konstruksi.
- Unsur mangan (Mn) yang relative tinggi akan menaikkan kekerasan dan kekuatan tariknya untuk kadar karbon yang lebih rendah, sifatnya dalam baja tergantung pada kandungan karbonnya. Kandungan mangan yang tinggi diatas 0,8% dapat menyebabkan keretakan pada logam las. Sebaliknya, kandungan mangan yang rendah kurang dari 0,3% dapat menaikkan ketahanan korosi dan mencegah keretakan pada logam las.
- Unsur fosfor (P) dalam lasan akan menurunkan sifat kelunakan. Karena adanya fosfor dalam baja maka akan menaikkan kekerasan, kakuatan, yield point, akan tetapi menurunkan kontraksi perpanjangan, elongation dan harga impact.
- Unsur belerang (S) dalam sambungan las dapat membentuk persenyawaan FeS dan pada proses kristalisasi FeS ini tertinggal dan membentuk lapisan tipis diperbatasan kristal-kristal logam. Hal ini dapat menimbulkan keretakan pada daerah tersebut. Belerang dapat dihilangkan dengan menambah Mn (Mangan). Dengan



adanya belerang ini, maka sifat elongation, reduction of area, dan impact value akan turun dan sifat mudah bentuk akan naik.

Baja dengan kandungan karbon yang rendah disebut juga baja lunak (*mild steel*) banyak sekali digunakan untuk konstruksi umum. Retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau bila di dalam baja tersebut terdapat belerang bebas cukup tinggi. Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada dalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas [www.efunda.com].

Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan electrode hydrogen rendah. Properties baja karbon dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

.Tabel 2.2.Sifat-sifat baja karbon pada suhu 25°C [www.efunda.com]

Properties	Carbon Steel
Density (1000 kg/m ³)	7.85
Elastic Modulus (GPa)	190 – 210
Thermal Expansion (10 ⁻⁶ /K)	11 – 16,6
Thermal Conductivity (W/m-K)	24,3 – 65,2
Specific Heat (J/kg-K)	450 – 2081
Electrical Resistivity (10 ⁻⁹ Ω-m)	130 – 1250

Tabel 2.1. menunjukkan sifat-sifat yang dimiliki baja karbon pada suhu ruangan 25°C.



2.5. Electrical Properties

Sejak pemeriksaan arus eddy menggunakan imbas elektromagnetik, penting untuk diketahui tentang prinsip kemagnetan dan listrik. Parameter yang digunakan dalam suatu tinjauan yang menggunakan prinsip kelistrikan akan dibahas sebagai berikut [www.science.com] :

- Listrik

Perlu diketahui bahwa salah satu partikel yang subatomik dari suatu atom adalah elektron. Atom dapat dan biasanya juga mempunyai sejumlah elektron yang mengelilingi intinya. Elektron membawa muatan listrik negatif dan pada kondisi-kondisi tertentu dapat berpindah dari satu atom ke atom yang lain. Arah pergerakan dari atom adalah acak kecuali jika ada gaya yang menyebabkan elektron tersebut bergerak pada satu arah. Arah pergerakan elektron dalam kaitannya dengan ketidakseimbangan beberapa resultan gaya dikenal sebagai listrik.

- Kuat arus dalam ampere

Aliran dari elektron-elektron diukur dalam suatu unit yang disebut dengan ampere atau amp saja untuk menyingkat. Satu amp adalah sejumlah arus listrik yang ada ketika sejumlah elektron mempunyai muatan satu coulomb yang bergerak dalam satu second.



- Gaya Elektromagnetis

Gaya yang menyebabkan elektron bergerak dalam medan listrik disebut sebagai gaya elektromagnetis (EMF). Dengan kata lain, ini adalah gaya yang membuat elektron bergerak dalam arah tertentu dalam sebuah konduktor. Banyak sekali sumber dari EMF ini, yang paling banyak digunakan adalah baterai dan generator listrik.

- Volt

Satuan untuk mengukur EMF adalah volt. Satu volt didefinisikan sebagai perbedaan elektrostatik antara dua titik ketika satu joule energi digunakan untuk memindahkan satu coulomb muatan dari satu titik ke titik lain. Satu joule adalah sejumlah energi yang diperlukan ketika satu watt daya bekerja selama satu detik.

- Resistance

Resistance (hambatan listrik) adalah bentuk lain suatu unsur atau benda pada suatu aliran arus listrik yang melewatinya, menghasilkan perubahan energi listrik menjadi panas, cahaya, atau bentuk lain dari energi. Besarnya hambatan listrik ini tergantung pada jenis materialnya. Material yang mempunyai hambatan listrik yang rendah merupakan konduktor (penghantar) yang baik, tetapi sebaliknya jika material mempunyai hambatan listrik yang tinggi maka material ini dimasukkan kedalam golongan isolator.



2.5.1. Hukum Ohm

Hukum Ohm sangat penting dan merupakan dasar dari kelistrikan. Rumus ini mendefinisikan hubungan antara tiga faktor yang mendasar pada kelistrikan yaitu arus, tegangan dan hambatan listrik. Ketika sebuah tegangan diaplikasikan pada suatu lintasan yang didalamnya hanya ada hambatan, arus mengalir sesuai dengan rumus :

$$I = V / R$$

Dimana :

- I : Arus listrik (Ampere)
- V : Tegangan listrik (volt)
- R : Hambatan listrik (ohm)

Hukum Ohm menyatakan bahwa arus yang mengalir dalam sebuah lintasan adalah berbanding lurus dengan tegangan listrik dan berbanding terbalik dengan hambatan listrik. Sehingga, jika tegangan listrik naik maka arus yang mengalir juga semakin besar dan hambatan listrik tidak berubah. Sebaliknya jika hambatan listrik semakin besar maka arus yang mengalir akan semakin kecil.



BAB III
METODOLOGI PENELITIAN



BAB III

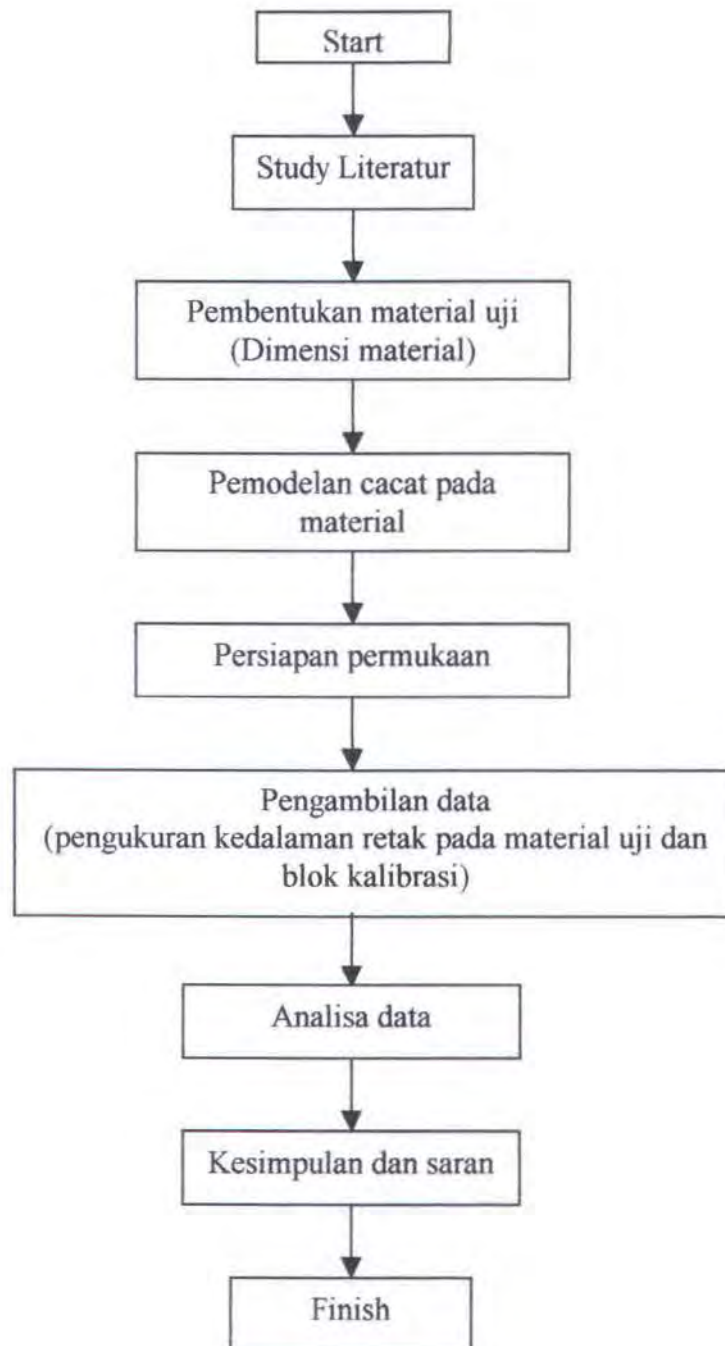
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Dalam bab I telah dijelaskan bahwa tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui deviasi yang terjadi pada pengukuran kedalaman retak di daerah las-lasan yang disebabkan karena kekasaran permukaan akibat proses pengelasan dengan material baja karbon (P no 1). Pada bab ini akan dibahas metodologi yang digunakan untuk melakukan pengukuran yang meliputi geometri dari material uji, proses pembentukan dimensi material uji, peralatan yang digunakan dalam tugas akhir serta prosedur pengujian yang merupakan langkah-langkah dalam pengambilan data.

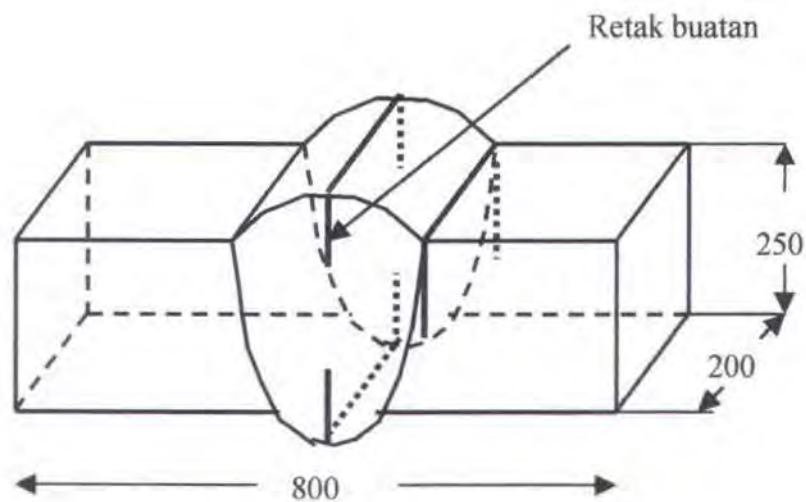


3.2. FLOW CHART METODOLOGI Pengerjaan

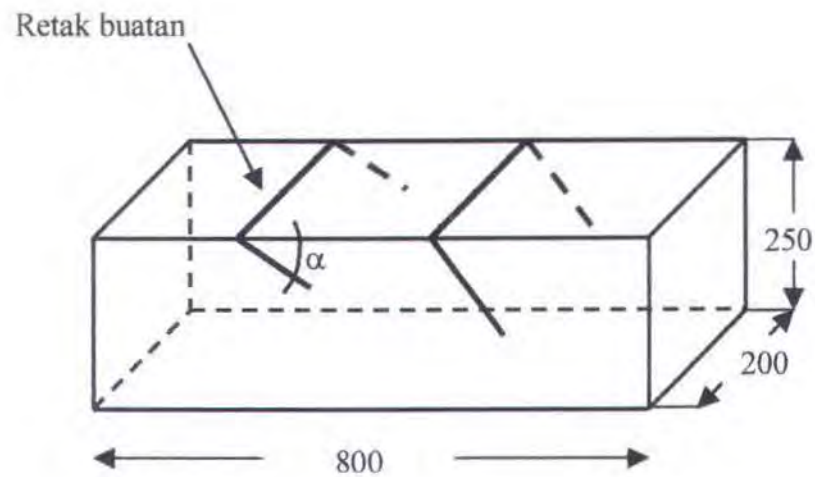


3.3. Dimensi Material Uji dan Blok Kalibrasi

Material yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah baja karbon (P no 1). Bentuk dari material uji ada 2 yaitu : material las-lasan (weld metal) dan logam induk (base metal) dengan dimensi yang sama. Pada weld metal, cacat dibuat pada manik las, kaki las dan akar las. Sedangkan untuk base metal cacat dibuat membentuk sudut dengan beberapa kedalaman tertentu. Untuk masing-masing material dibuat 15 variasi kedalaman retak yang dimodelkan dengan irisan sederhana menggunakan wire cut dengan diameter 0,25 mm. Geometri dari material uji dapat dilihat dalam gambar 3.1 dan gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.1. Lokasi retak pada material las-lasan..



Gambar 3.2. Lokasi retak pada logam induk.

Gambar 3.1. menunjukkan material las-lasan dengan tiga lokasi cacat buatan yaitu dua cacat pada manik las, dan satu cacat pada kaki las.

Gambar 3.2 menunjukkan material induk dengan cacat buatan membentuk sudut tertentu terhadap permukaan logam.

Cacat buatan pada material uji dibuat dengan berbagai kedalaman dan sudut tertentu. Variasi kedalaman dan sudut pada material uji dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

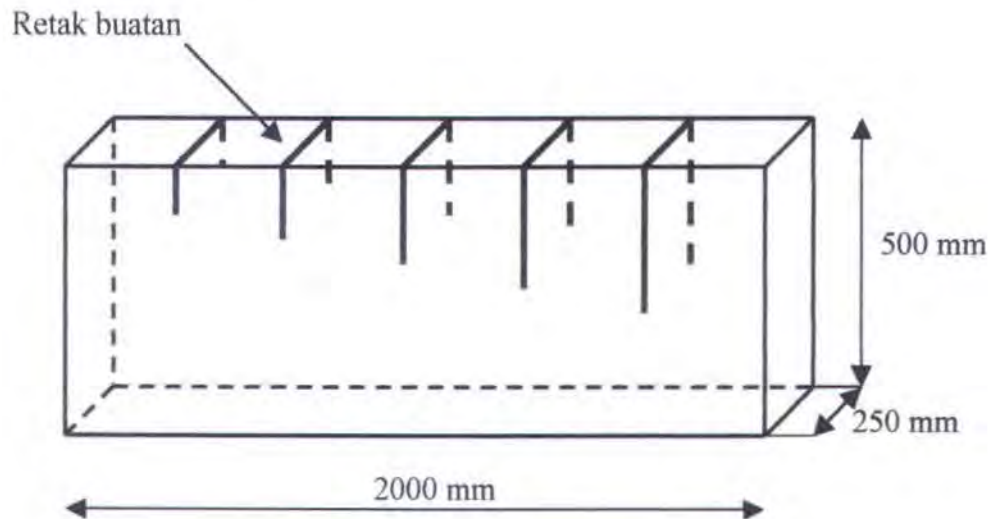


Tabel 3.1. Variasi sudut dan kedalaman retak pada material uji.

Material Uji		
Weld Metal	Base Metal	
h (mm)	h (mm)	α (°)
0,5	0,5	15
1,0	1,0	15
1,5	1,5	15
2,0	2,0	30
2,5	2,5	30
3,0	3,0	30
4,0	4,0	45
5,0	5,0	45
6,0	6,0	45
7,0	7,0	60
8,0	8,0	60
9,0	9,0	60
10,0	10,0	75
11,0	11,0	75
12,0	12,0	75

Sebelum dilakukan pengukuran terhadap material uji, terlebih dahulu dilakukan pengukuran kedalaman retak pada blok kalibrasi sebagai

nilai acuan untuk pengukuran kedalaman retak pada material uji. Blok kalibrasi dibuat dari material yang sama dengan material uji yaitu baja karbon (P no 1). Geometri blok kalibrasi dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Geometri blok kalibrasi.

Gambar 3.3 menunjukkan blok kalibrasi baja karbon yang telah diberi cacat buatan dengan berbagai kedalaman yang sama dengan material uji.

3.4. Proses Pembentukan Blok Kalibrasi dan Material Uji

3.4.1. Proses Pembentukan Blok Kalibrasi

Proses pembentukan blok kalibrasi adalah sebagai berikut :

1. Pemotongan material blok kalibrasi membentuk sebuah balok menggunakan mesin gergaji dengan dimensi 20 x 5 x 2.5 cm.



2. Proses sekrap untuk mendapatkan material yang halus sehingga dalam proses pengukuran probe dapat menempel tepat pada permukaan material.
3. Pemodelan cacat menggunakan wire cut diameter 0,25 mm dengan kedalaman retak sama dengan material uji.
4. Penghalusan permukaan menggunakan mesin gerinda, mesin polisher dan kertas gosok.

3.4.2. Proses Pembentukan Material Uji

Material uji yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari material las-lasan dan logam induk yang mempunyai dimensi yang sama.

Proses pembentukan material uji adalah sebagai berikut :

1. Pemotongan material uji dengan dimensi 8 x 2.5 x 2 cm.
2. Proses pembersihan permukaan material uji dari kotoran dan karat yang menempel menggunakan mesin wire brush.
3. Pemodelan cacat menggunakan wire cut dengan variasi sudut dan kedalaman retak yang telah ditentukan.
4. Penghalusan permukaan pada material induk menggunakan mesin gerinda, mesin polisher dan kertas gosok dengan tujuan agar probe alat ukur menempel tepat pada permukaan material. Sedangkan untuk material las-lasan permukaannya cukup dibersihkan dengan wire brush.



3.5. Peralatan Yang Digunakan

3.5.1. Electro Discharge Machine (EDM)

Untuk membuat retak pada material digunakan mesin wire cut yaitu sebuah mesin yang menggunakan kawat yang terbuat dari kuningan atau tembaga tipis sebagai media pemotong yang masuk kedalam material selama proses pemotongan tanpa kontak sedikitpun dengan metal. Pemakaian kawat ini sebagai hasil proses pengerjaan spark-erosion, dan untuk alasan ini kawat baru secara konstan disediakan. Derajat tingkat ketegangan kawat, tingkat konsumsi kawat dan jangkauan dari lengan penunjang kawat disesuaikan menurut pekerjaan yang akan dilaksanakan dan ukuran dari benda kerja. Medium aktif yang bekerja untuk pemotongan electrodischarge pada umumnya adalah air yang telah di deionisasi, yang terpakai untuk area pemotongan dengan menggunakan pancaran pembilasan (flushing jet). Untuk mengikis benda kerja, alat ini memanfaatkan adanya lecutan elektrik yang terjadi antara alat dan benda kerja. Pada kecepatan yang sangat tinggi, temperatur menjadi naik dan partikel unsur/butiran metal pada titik pemotongan dicairkan kemudian secara parsial diuapkan dan dipindahkan dari lelehan dengan gaya elektromagnetis dan mekanik. Medium aktifnya adalah sebuah dielektrik yang akan mencuci material yang dikikis dan secara bersamaan bertindak sebagai pendingin. Selama berlangsungnya proses pemotongan, wire cut mempunyai suatu bagian dimana tidak terdapat kontak antara alat potong dan benda kerja. Bagimanapun, pemotongan dengan menggunakan wire

cut mempunyai beberapa kelemahan yang harus dipertimbangkan dalam desain proses pemotongan untuk memastikan ketelitian pengerjaan dengan mesin. Aplikasi penting mengenai spark-erosion proses adalah memotong metal lewat elektrode . Proses ini digunakan untuk membuat lobang atau celah yang amat kecil dalam suatu material.

3.5.2. Crack Depth Meter

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data tugas akhir ini adalah *Crack Depth Meter*. *Crack Depth Meter* merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mendeteksi adanya cacat dalam material dan menentukan kedalaman cacat. Alat ini bekerja berdasarkan metode *Direct Current Potential Drop (DCPD)* yaitu dengan mengalirkan arus steady di bawah permukaan material kemudian membaca beda potensial yang terjadi antara dua probe sebagai kedalaman retak. Alat ini dilengkapi dengan 4 kaki logam (probe) yang berfungsi sebagai pemancar dan penerima arus sehingga beda potensial diantara kedua probe tersebut dapat terbaca pada display. Display dari alat ini menunjukkan angka dari 0 sampai dengan 12 mm. Untuk pengukuran kedalaman retak yang lebih dari 12 mm, maka pembacaan dapat dilakukan dengan mengatur faktor pengali antara 1 sampai dengan 5. Alat *Crack Depth Meter* ditunjukkan oleh gambar 3.4.



Keterangan gambar:

1. *display* alat
2. jarum penunjuk
3. *power on/off* alat
4. knob x faktor
5. *power on/off* arus
6. masukan kabel *probe*
7. pengatur besar arus
8. probe

Gambar 3.4 Crack Depth Meter

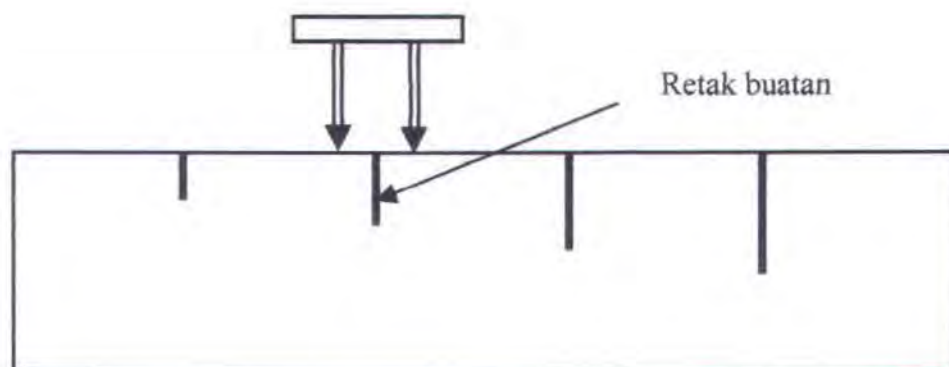
3.6. Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data pada tugas akhir ini dilakukan dengan eksperimen. menggunakan bantuan alat *Crack Depth Meter* (CDM). Untuk memperoleh data yang diperlukan dilakukan pengukuran kedalaman retak pada material uji baja karbon yang berupa material las-lasan dan logam induk yang telah diberi cacat buatan dengan kedalaman dan sudut tertentu.

Sebelum melakukan pengukuran kedalaman retak terhadap material uji, terlebih dahulu dilakukan pengukuran kedalaman retak pada blok kalibrasi untuk memperoleh harga acuan sebagai dasar pada pengukuran selanjutnya.

Tahap – tahap yang dilakukan dalam pengukuran kedalaman retak adalah sebagai berikut :

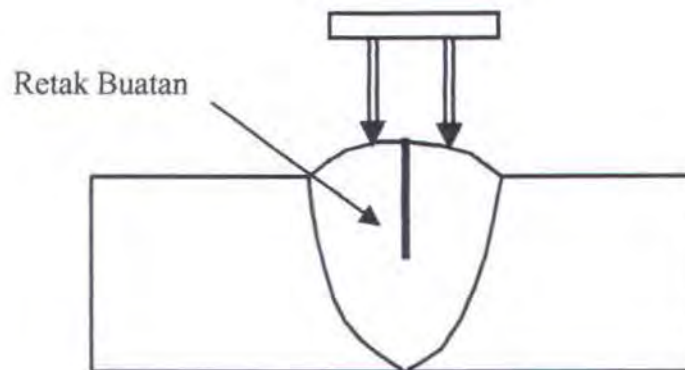
1. Pada blok kalibrasi, probe diletakkan tegak lurus dengan permukaan material sesuai dengan gambar 3.5.



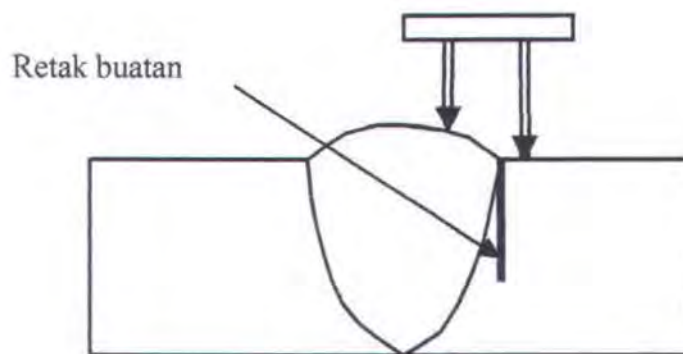
Gambar 3.5. Posisi probe pada blok kalibrasi.

2. Arus diatur sehingga display pada alat menunjukkan angka yang merupakan kedalaman retak pada blok kalibrasi.
3. Pada arus yang sama, probe kemudian diletakkan diatas retak pada material uji sesuai gambar dibawah ini. Agar nilai yang diperoleh lebih valid, maka pengukuran kedalaman retak pada material uji dilakukan masing-masing dua kali untuk satu kedalaman retak. Setelah

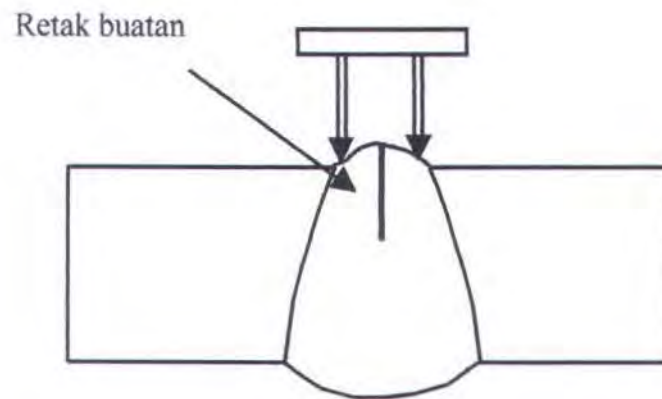
pengukuran pertama dilakukan dan telah diperoleh harga kedalaman retak, maka pengukuran kedua dilakukan dengan arah arus yang berlawanan dari pengukuran kedalaman retak yang pertama. Dari kedua pengukuran tersebut kemudian dicari nilai rata-rata yang merupakan nilai sebenarnya dari kedalaman retak pada material.



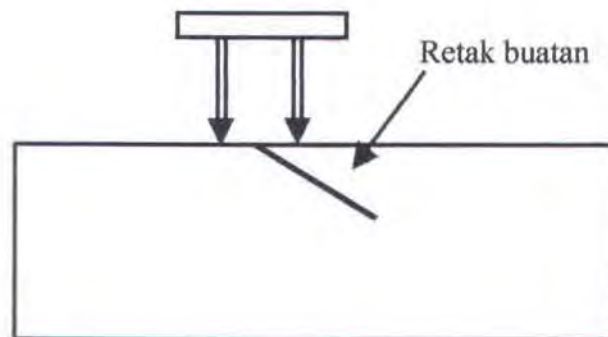
Gambar 3.6. Posisi probe pada pengukuran kedalaman retak di manik las.



Gambar 3.7. Posisi probe pada pengukuran kedalaman retak di kaki las.



Gambar 3.8. Posisi probe pada pengukuran kedalaman retak di akar las.



Gambar 3.9. Posisi probe pada pengukuran kedalaman retak di logam induk

4. Pembacaan kedalaman retak pada alat ukur.



BAB IV

ANALISA PEMBAHASAN DAN HASIL PENGUJIAN



BAB IV

ANALISA DATA

4.1. Pendahuluan

Dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai penyimpangan yang terjadi pada pengukuran kedalaman retak dengan material baja karbon. Penyimpangan terjadi karena adanya permukaan yang tidak rata akibat proses pengelasan dan juga karena adanya cacat yang membentuk sudut tertentu dengan permukaan material. Hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan lintasan dari probe pemancar ke probe penerima sehingga kedalaman retak yang terbaca pada display alat tidak sesuai dengan kedalaman retak sebenarnya.

4.2. Analisa Data

4.2.1. Pengukuran kedalaman retak pada base metal

Dari hasil pengukuran kedalaman retak yang telah dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan jurusan Teknik Perkapalan ITS diperoleh data-data yang disajikan dalam tabel dibawah ini. Pengambilan data dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah dijelaskan dalam bab III.

Pada material base metal, retak dibuat membentuk sudut-sudut tertentu dengan permukaan material. Letak probe pada pengukuran base metal sesuai dengan gambar 3.9. Hasil dari pengukuran base metal disajikan dalam tabel 4.1 dibawah ini.



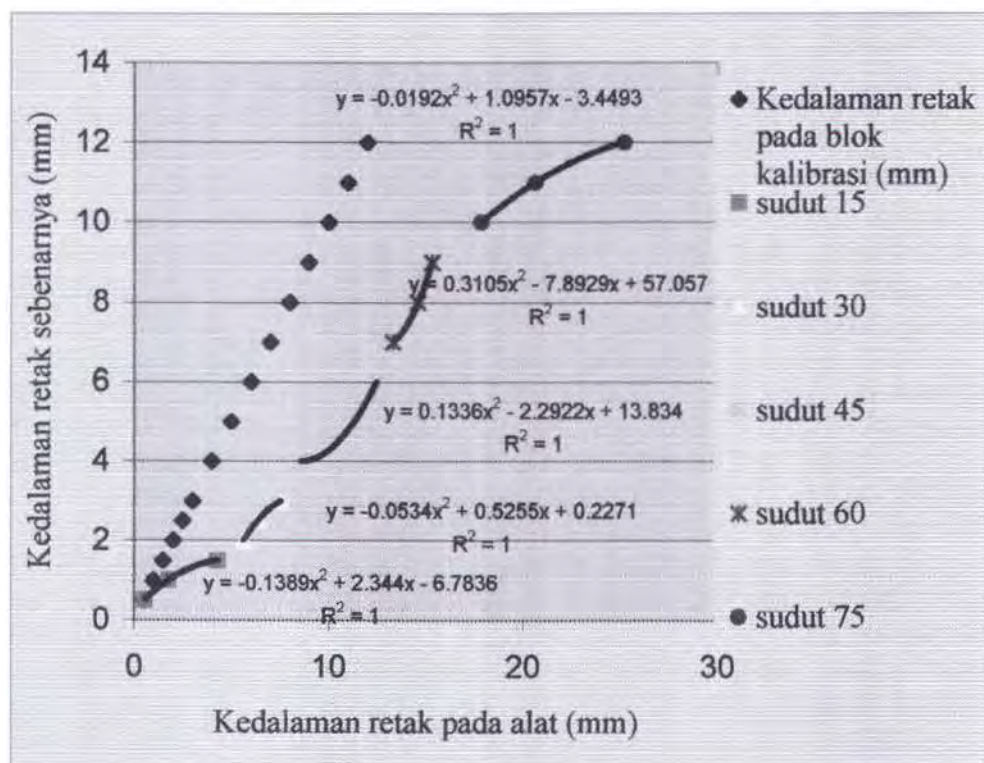
Tabel 4.1 Hasil pengukuran kedalaman retak pada base metal.

Sudut ($^{\circ}$)	Kedalaman retak sesungguhnya (mm)	Kedalaman pada alat (mm)
15	0.5	0.55
15	1	1.80
15	1.5	4.31
30	2	5.62
30	2.5	6.35
30	3	7.57
45	4	8.60
45	5	11.32
45	6	12.45
60	7	13.30
60	8	14.60
60	9	15.32
75	10	17.83
75	11	20.62
75	12	25.20

Dari data yang tersaji dalam tabel 4.1 dapat dilihat bahwa hasil dari pengukuran kedalaman retak dengan menggunakan alat cenderung lebih besar dari kedalaman retak yang sebenarnya. Semakin besar sudut yang dibentuk oleh retak dengan permukaan material maka penyimpangan atau selisih antara kedalaman retak yang sebenarnya dengan kedalaman retak yang terbaca pada alat juga semakin besar.

Untuk mencari faktor konversi antara kedalaman retak yang terbaca pada alat dengan kedalaman retak sebenarnya data tersebut diatas dapat dibuat persamaan regresi polynomial dimana sumbu x menyatakan

kedalaman retak pada display alat, sedangkan sumbu y menyatakan kedalaman retak pada material yang sesungguhnya. Grafik yang menghubungkan kedalaman retak pada display alat dengan kedalaman retak pada material yang sesungguhnya ditunjukkan oleh gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik regresi polynomial dari pengukuran kedalaman retak pada base metal.

Dari grafik diatas dapat diperoleh suatu formula yang menghubungkan kedalaman retak yang terbaca pada alat dengan kedalaman retak yang sebenarnya sesuai dengan besar sudut retak. Untuk



retak yang membentuk sudut 15° diperoleh suatu rumus polynomial $y = -0.1389x^2 + 2.344x - 6.7836$. Untuk retak dengan sudut 30° diperoleh rumus $y = -0.0534x^2 + 0.5255x + 0.2271$. Untuk retak dengan sudut 45° diperoleh rumus $y = 0.1336x^2 - 2.2922x + 13.834$. Untuk retak yang membentuk sudut 60° diperoleh rumus $y = 0.3105x^2 - 7.8929x + 57.057$.

4.2.2. Pengukuran kedalaman retak pada weld metal

Pengukuran kedalaman retak pada weld metal dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah dijelaskan pada bab III. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan bantuan alat *Crack Depth Meter* dan pada setiap retak dilakukan dua kali pengukuran dengan arah arus yang berbeda kemudian diambil rata-ratanya.

Pengukuran kedalaman retak pada material las-lasan dibagi menjadi 3 bagian yaitu pada mahkota las, kaki las dan akar las. Pengukuran pada mahkota las dilakukan sesuai prosedur pada bab III dan letak probe sesuai dengan gambar 3.6. Pengukuran pada kaki las dilakukan sesuai prosedur dengan posisi probe sesuai dengan gambar 3.7 sedangkan untuk akar las dilakukan dengan posisi probe sesuai dengan gambar 3.8. Hasil dari pengujian material weld metal disajikan dalam tabel 4.2 dibawah ini.



Tabel 4.2 Hasil pengukuran kedalaman retak pada material las-lasan.

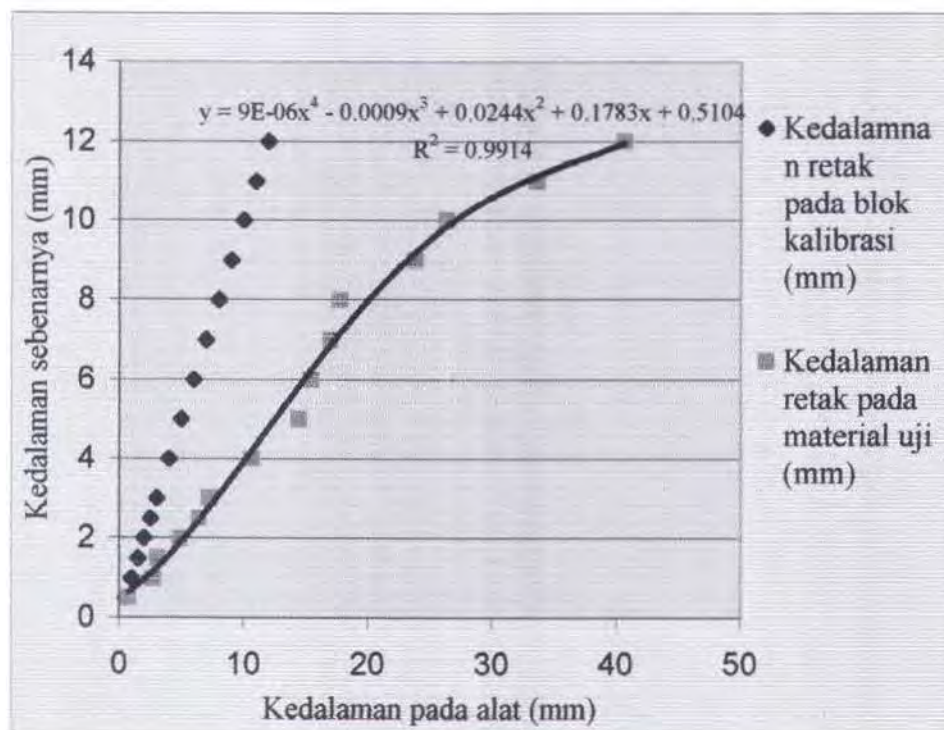
Kedalaman retak pada alat (mm)			Kedalaman retak sesungguhnya (mm)
Mahkota Las	Kaki Las	Akar Las	
0,72	1,95	0,72	0,5
2,73	2,82	1,38	1,0
3,11	4,37	2,13	1,5
4,90	6,35	2,60	2,0
6,42	8,05	2,97	2,5
7,23	8,58	5,07	3,0
10,65	9,93	6,10	4,0
14,46	11,72	8,14	5,0
15,48	13,23	11,40	6,0
17,00	16,03	15,10	7,0
17,77	16,37	15,92	8,0
23,80	18,12	18,40	9,0
26,33	20,35	22,32	10,0
33,63	24,05	26,33	11,0
40,67	27,55	28,33	12,0

Data yang tersaji pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa untuk kedalaman retak dibawah 10 mm, penyimpangan kedalaman retak yang terbesar terjadi ketika dilakukan pengukuran terhadap retak pada kaki las. Sedangkan untuk kedalaman diatas 10 mm, pengukuran pada mahkota las mengalami penyimpangan yang paling besar daripada pengukuran pada kaki las maupun akar las.

Untuk memperoleh suatu formula yang mengkonversikan antara kedalaman retak yang sebenarnya dengan kedalaman retak yang terbaca

pada alat maka data pada tabel 4.2. dibuat persamaan dengan regresi untuk masing-masing weld metal dimana sumbu x menyatakan kedalaman retak pada display CDM, sedangkan sumbu y menyatakan kedalaman retak pada material yang sesungguhnya. Grafik yang menunjukkan kedalaman retak pada display alat dan kedalaman retak pada material yang sesungguhnya ditunjukkan oleh gambar dibawah ini.

Grafik regresi untuk material weld metal dengan letak retak buatan pada mahkota las ditunjukkan oleh gambar 4.2 dibawah ini.

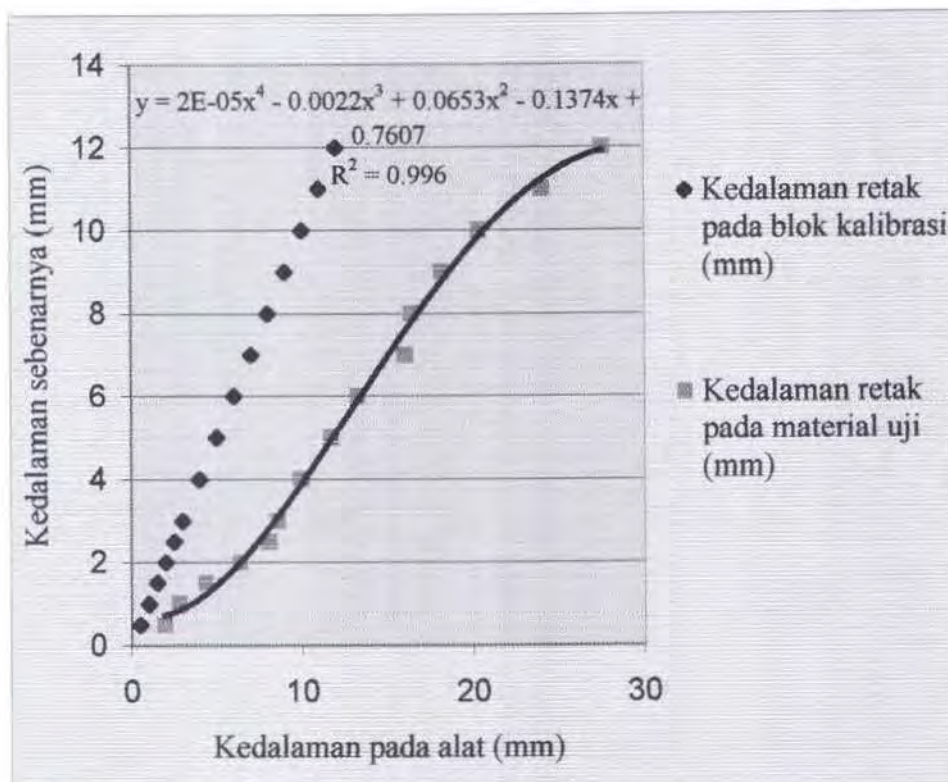


Gambar 4.2 Grafik regresi polynomial pengukuran kedalaman retak pada mahkota las.

Dari gambar 4.2 dapat dilihat grafik yang merupakan regresi polynomial pengukuran kedalaman retak pada mahkota las. Melalui

regresi polynomial tersebut didapat suatu formula yang mengkonversikan antara kedalaman retak yang sebenarnya dengan kedalaman retak yang terbaca pada alat yaitu $y = 9E-06x^4 - 0.0009x^3 + 0.0244x^2 + 0.1783x + 0.5104$.

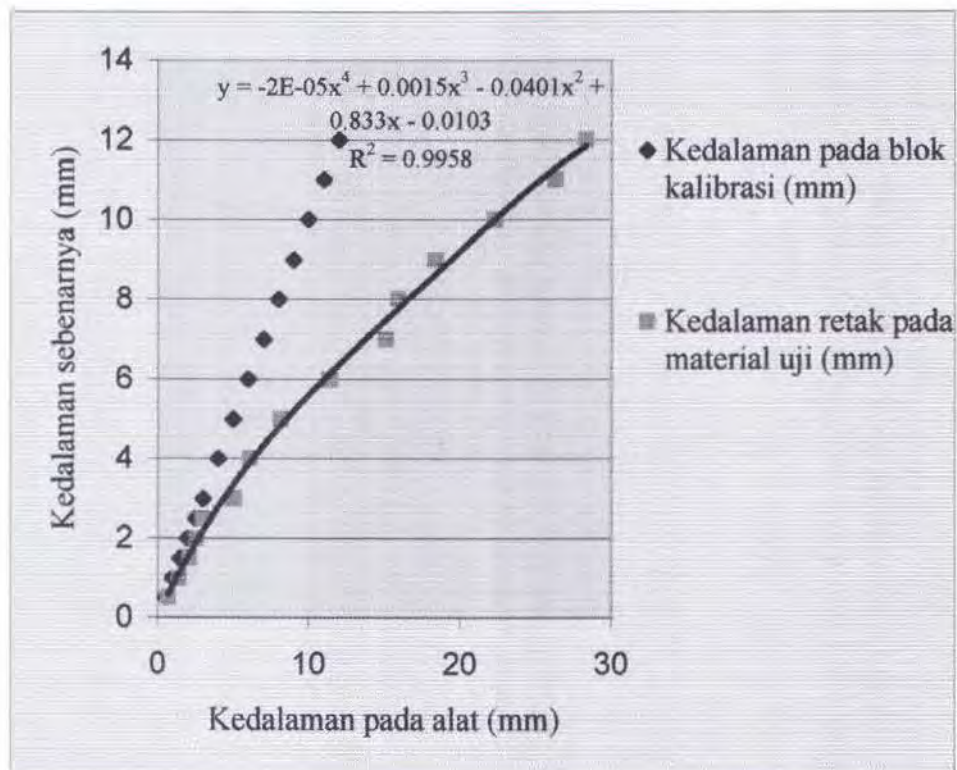
Grafik regresi polynomial untuk kaki las ditunjukkan oleh gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Grafik regresi polynomial pengukuran kedalaman retak pada kaki las.

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa grafik regresi polynomial dari pengukuran kedalaman retak pada kaki las mempunyai formula $y = 2E-05x^4 - 0.0022x^3 + 0.0653x^2 - 0.1374x + 0.7607$.

Untuk material dengan letak retak pada akar las, grafik regresi polynomialnya dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Grafik regresi polynomial pengukuran kedalaman retak pada akar las.

Dari grafik yang terbaca pada gambar 4.4 didapat suatu formula yang menghubungkan antara kedalaman retak yang sebenarnya dengan kedalaman retak pada hasil pengukuran dengan menggunakan alat yaitu $y = -2E-05x^4 + 0.0015x^3 - 0.0401x^2 + 0.833x - 0.0103$.

Semua rumus yang didapat dari perhitungan di atas dapat digunakan untuk mengetahui kedalaman retak sebenarnya dari sebuah



pengukuran kedalaman retak dengan memasukkan harga x yang merupakan kedalaman retak yang terbaca pada alat sehingga didapat harga y yang merupakan kedalaman retak yang sebenarnya.

4.3. Pembahasan

Pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan alat *Crack Depth Meter (CDM)* yang bekerja berdasarkan prinsip *Direct Current Potential Drop (DCPD)* atau penurunan tegangan arus searah menggunakan arus listrik sebagai mediator dan beda potensial yang terjadi dibaca sebagai kedalaman retak dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain arus itu sendiri, jarak antar probe, konduktivitas listrik, kelengkungan, ukuran dan sifat fisik sampel.

4.3.1. Base Metal

Pada pengukuran kedalaman retak di base metal dimana bentuk retaknya adalah membentuk sudut terhadap permukaan material terjadi penyimpangan yang disebabkan karena lintasan arus yang dialirkan pada material mengikuti lintasan yang dibentuk oleh retak.

4.3.2. Mahkota Las

Logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak mengandung oksigen dan gas-gas lain. Permukaan yang tidak rata pada mahkota las



menyebabkan arus yang mengalir di bawah permukaan tidak dapat mengalir lurus tetapi mengikuti bentuk gelombang yang terjadi pada permukaan material.

4.3.3. Kaki Las

Penyimpangan yang terjadi pada pengukuran kedalaman retak pada kaki las disebabkan karena probe yang satu tertancap pada satu permukaan yang melengkung sedangkan yang lain pada permukaan yang rata. Permukaan yang melengkung menyebabkan arus yang mengalir mengikuti lengkungan tersebut sehingga lintasan arus bertambah panjang. Hal ini menyebabkan arus yang diperlukan untuk mengukur kedalaman retak juga bertambah besar. Sesuai dengan hukum Ohm $V = I.R$, jika arus (I) besar maka tegangan juga bertambah besar dan kedalaman retak yang terbaca pada alatpun menjadi lebih besar dari kedalaman retak yang sebenarnya. Tidak hanya itu, pengukuran kedalaman retak ini juga dipengaruhi oleh konduktivitas listrik dimana konduktivitas listrik ini dipengaruhi oleh perilaku, komposisi dan strukturnya misalnya ukuran butir dan kekerasan dan juga suhu. Pada kaki las yang masih termasuk didaerah pengaruh panas (HAZ) dimana struktur logamnya berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las mempunyai pengaruh terhadap aliran arus. Arus yang dialirkan dari probe pemancar menuju ke probe penerima harus mengalir melalui dua konduktivitas listrik yang berbeda. Karena logam induk mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dan ukuran



butiran yang lebih kecil sedangkan logam las mempunyai ukuran butir yang lebih besar dan kekerasan yang lebih rendah menyebabkan konduktivitas (daya hantar) antara kedua logam tersebut berbeda. Hal ini menyebabkan adanya penyimpangan terhadap hasil pengukuran.

4.3.4. Akar Las

Pada pengukuran kedalaman retak di akar las probe ditancapkan pada permukaan yang seluruhnya melengkung, sehingga arus yang mengalir dibawah permukaan material mengikuti lintasan yang melengkung pada daerah di kanan dan kiri retak. Hal ini menyebabkan lintasan arus bertambah panjang sehingga kedalaman retak yang terbaca pada alat juga lebih besar dari kedalaman retak yang sebenarnya.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

**BAB V****KESIMPULAN DAN SARAN****5.1 Kesimpulan**

1. Dari pengukuran kedalaman retak menggunakan metode *Direct Current Potential Drop (DCPD)* dengan mengalirkan arus searah pada material dapat diambil kesimpulan bahwa arus yang mengalir pada material dipengaruhi oleh geometri dan konduktivitas listrik dari material uji. Hal inilah yang menyebabkan adanya penyimpangan pada hasil pengukuran kedalaman retak.
2. Pada material las-lasan didapat suatu formula yang mengkonversikan antara kedalaman retak pada blok kalibrasi dengan kedalaman retak sebenarnya sebagai berikut :
 - Untuk retak pada mahkota las :
$$y = 9E-06x^4 - 0.0009x^3 + 0.0244x^2 + 0.1783x + 0.5104$$
 - Untuk retak pada kaki las :
$$y = 2E-05x^4 - 0.0022x^3 + 0.0653x^2 - 0.1374x + 0.7607$$
 - Untuk retak pada akar las :
$$y = -2E-05x^4 + 0.0015x^3 - 0.0401x^2 + 0.833x - 0.0103$$



3. Sedangkan untuk pengukuran pada base metal, formula yang didapat adalah berupa persamaan kuadrat sesuai dengan sudut yang dibentuk oleh retak sebagai berikut :

- $y = -0.1389x^2 + 2.344x - 6.7836$ untuk $\alpha = 15^\circ$
- $y = -0.0534x^2 + 0.5255x + 0.2271$ untuk $\alpha = 30^\circ$
- $y = 0.1336x^2 - 2.2922x + 13.834$ untuk $\alpha = 45^\circ$
- $y = 0.3105x^2 - 7.8929x + 57.057$ untuk $\alpha = 60^\circ$
- $y = -0.0192x^2 + 1.0957x - 3.4493$ untuk $\alpha = 75^\circ$

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan pada tugas akhir ini adalah :

1. Alat harus dapat terkalibrasi dengan baik, karena hal ini sangat menentukan ketelitian pada hasil pengujian.
2. Sebelum melakukan pengujian, sebaiknya kebersihan permukaan material harus benar-benar diperhatikan.
3. Pada saat melakukan pengukuran, probe sebaiknya ditancapkan pada permukaan material dengan tekanan yang stabil dan pembacaan kedalaman ditunggu sampai jarum penunjuk benar-benar berada pada kondisi yang stabil juga.



DAFTAR PUSTAKA

**DAFTAR PUSTAKA**

Blitz J (1997), "ELECTRICAL AND MAGNETIC METHODS OF NONDESTRUCTIVE TESTING", London, Chapman & Hall

Ida N (1986b), "NONDESTRUCTIVE TESTING HANDBOOK" , vol 4, 2nd edition, ed RC McMaster

Johnson G.S (1971), "WELDING TECHNOLOGY", American Teechnical Society

Linnert G.E, "WELDING METALLURGY", vol I, American Welding Society, Florida, USA

Wiryo Sumarto H dan Okumura T (1981), " TEKNOLOGI PENGELASAN LOGAM", PT Pradnya Paramita, Cetakan kelima

www.efunda.com

www.science.com



LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Tabel A.1 Hasil Pengukuran Kedalaman Retak pada Base Metal

Kedalaman sesungguhnya (mm)	Kedalaman pada alat									Rata-rata
	Pengujian I			Pengujian II			Pengujian III			
	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	
0.5	0.4	0.6	0.5	0.35	0.75	0.55	0.45	0.75	0.6	0.55
1	1.9	1.6	1.75	1.9	1.6	1.75	1.9	1.9	1.9	1.80
1.5	3.9	4.75	4.325	4.2	4.6	4.4	4.3	4.1	4.2	4.31
2	5.25	5.5	5.375	5.6	5.75	5.675	6	5.6	5.8	5.62
2.5	6	7	6.5	6.9	6.1	6.5	6.1	6	6.05	6.35
3	8	8	8	7.1	7.6	7.35	6.8	7.9	7.35	7.57
4	9	8.5	8.75	8.5	9	8.75	8.5	8.1	8.3	8.60
5	10.1	12	11.05	11.4	11.2	11.3	12.2	11	11.6	11.32
6	12.4	12.8	12.6	12.2	11.8	12	13	12.5	12.75	12.45
7	12.5	12.8	12.65	12.6	13.5	13.05	14	14.4	14.2	13.30
8	14	14.5	14.25	14.8	13.8	14.3	15.5	15	15.25	14.60
9	14.2	14.8	14.5	15	15.8	15.7	15.5	16	15.75	15.32
10	20	15.2	17.6	18.8	17	17.9	17	19	18	17.83
11	22.5	20	21.25	20	21	20.5	19.2	21	20.1	20.62
12	24	26	25	25	25.8	25.4	25.8	24.6	25.2	25.20

Tabel A.2 Hasil Pengukuran Kedalaman Retak pada Mahkota Las

Kedalaman sesungguhnya (mm)	Kedalaman pada alat									Rata-rata
	Pengujian I			Pengujian II			Pengujian III			
	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	
0.5	0.6	0.8	0.7	0.9	0.5	0.7	0.7	0.8	0.75	0.72
1	2.75	3	2.875	2.8	2.5	2.65	2.5	2.8	2.65	2.73
1.5	3.15	3	3.075	3	3.4	3.2	3	3.1	3.05	3.11
2	4.6	4.5	4.55	5.5	4.9	5.2	5.5	4.4	4.95	4.90
2.5	7.1	5.4	6.25	7.5	6	6.75	6.5	6	6.25	6.42
3	8.4	6.9	7.65	7.5	6.1	6.80	7.1	7.4	7.25	7.23
4	10	12	11	11.5	9.5	10.5	12	8.9	10.45	10.65
5	15	14	14.5	13.5	15.6	14.55	15.9	12.75	14.325	14.46
6	15.75	15.3	15.525	16	16.2	16.1	16	13.6	14.8	15.48
7	16	18	17	16.8	16.8	16.8	18	16.4	17.2	17.00
8	18	18.4	18.2	18	17	17.50	18	17.2	17.6	17.77
9	24.8	21.2	23	24.8	23.8	24.3	23.2	25	24.1	23.80
10	26	25.6	25.8	25	29	27	26.2	26.2	26.2	26.33
11	33.6	35	34.3	36	33.6	34.8	32.4	31.2	31.80	33.63
12	40	44	42	38	42	40	36	44	40	40.67

Tabel A.3 Hasil Pengukuran Kedalaman Retak pada Kaki Las

Kedalaman sesungguhnya (mm)	Kedalaman pada alat									Rata-rata
	Pengujian I			Pengujian II			Pengujian III			
	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	
0.5	2.5	1.9	2.2	1.8	2.2	2	1.5	1.8	1.65	1.95
1	2.6	2.9	2.75	3.1	2.5	2.8	2.8	3	2.9	2.82
1.5	4.3	3.9	4.1	4.8	4.2	4.5	4.6	4.4	4.5	4.37
2	5.3	5.8	5.55	6.1	5.9	6	7.4	7.6	7.5	6.35
2.5	8.4	7.2	7.8	8.4	7.6	8	8.7	8	8.35	8.05
3	9.5	7.6	8.55	9.4	8	8.7	9	8	8.5	8.58
4	10.8	11	10.9	10.4	8.7	9.55	10.4	8.25	9.325	9.93
5	11.7	12	11.85	10.5	13	11.75	11.6	11.5	11.55	11.72
6	12	15.5	13.75	10.4	14.4	12.4	13.5	13.6	13.55	13.23
7	14.4	17	15.7	14.2	17.6	15.9	13.8	19.2	16.5	16.03
8	12.8	17.6	15.2	15	19	17	14	19.8	16.9	16.37
9	15.3	18.8	17.05	17.8	20	18.9	16.4	20.4	18.4	18.12
10	17.6	23	20.3	18.8	21	19.9	20.7	21	20.85	20.35
11	22.5	27	24.75	21	24	22.5	23.8	26	24.9	24.05
12	25	28	26.5	30	25.8	27.9	28	28.5	28.25	27.55



Tabel A.4 Hasil Pengukuran Kedalaman Retak pada Akar Las

Kedalaman sesungguhnya (mm)	Kedalaman pada alat									Rata-rata
	Pengujian I			Pengujian II			Pengujian III			
	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	
0.5	0.75	0.8	0.775	0.6	0.7	0.65	0.8	0.65	0.725	0.72
1	1.3	1.45	1.375	1.4	1.4	1.4	1.3	1.45	1.375	1.38
1.5	1.8	2.1	1.95	1.8	2.4	2.1	2.4	2.25	2.325	2.13
2	2.1	2.8	2.45	2.1	3	2.55	2.8	2.8	2.8	2.60
2.5	2.8	3	2.9	2.4	3.4	2.9	3.2	3	3.1	2.97
3	4.8	5.4	5.1	5.1	5.4	5.25	5.2	4.5	4.85	5.07
4	6.1	6.3	6.2	5.8	6	5.9	6.4	6	6.2	6.10
5	8.4	7.85	8.125	8.2	8.3	8.25	8.6	7.5	8.05	8.14
6	11.5	11.4	11.45	10.9	11.8	11.35	12	10.8	11.4	11.40
7	14	14.8	14.4	14.4	16.4	15.4	16	15	15.5	15.10
8	16.4	15	15.7	14.5	17.2	15.85	16	16.4	16.2	15.92
9	14	16	15	15.2	22.4	18.8	21.6	21.2	21.4	18.40
10	22.4	16.8	19.6	23	25	24	24.2	22.5	23.35	22.32
11	28	23.8	25.9	24	28.2	26.1	27	27	27	26.33
12	30	25.6	27.8	26.4	30	28.2	30	28	29	28.33

LAMPIRAN B

Tabel B.1 Verifikasi rumus untuk base metal.

Kedalaman sebenarnya (mm) Y	Kedalaman retak pada alat (mm) x	Kedalaman perhitungan dengan rumus (mm) Yi	(Y-Yi) ²
0.5	1.95	0.73	0.05
1	2.82	0.84	0.02
1.5	4.37	1.23	0.07
2	6.35	1.99	0.00
2.5	8.05	2.82	0.10
3	8.58	3.11	0.01
4	9.93	3.88	0.02
5	11.72	4.96	0.00
6	13.23	5.89	0.01
7	16.03	7.60	0.36
8	16.37	7.80	0.04
9	18.12	8.78	0.05
10	20.35	9.90	0.01
11	24.05	11.31	0.10
12	27.55	12.06	0.00
82.5		Sr =	0.85

$$S = (Sr / (n - (m + 1)))^{0.5}$$

Dimana :

Sr : jumlah kuadrat kedalaman sebenarnya dikurangi dengan kedalaman yang terbaca pada alat.

n : jumlah data

m : orde polynomial

Kesalahan standar pada pengujian ini adalah = 0.013

Tabel B.2 Verifikasi rumus untuk mahkota las.

Kedalaman sebenarnya (mm) Y	Kedalaman retak pada alat (mm) x	Kedalaman perhitungan dengan rumus (mm) Yi	(Y-Yi) ²
0.5	0.72	0.65	0.02
1	2.73	1.16	0.03
1.5	3.11	1.27	0.05
2	4.9	1.87	0.02
2.5	6.42	2.44	0.00
3	7.23	2.76	0.06
4	10.65	4.21	0.04
5	14.46	5.86	0.74
6	15.48	6.30	0.09
7	17	6.92	0.01
8	17.77	7.23	0.59
9	23.8	9.33	0.11
10	26.33	10.02	0.00
11	33.63	11.38	0.15
12	40.67	12.20	0.04
82.5		Sr =	1.95

$$S = (Sr / (n - (m + 1)))^{0.5}$$

Dimana :

Sr : jumlah kuadrat kedalaman sebenarnya dikurangi dengan kedalaman yang terbaca pada alat.

n : jumlah data

m : orde polynomial

Kesalahan standar pada pengujian ini adalah = 0.44

Lampiran B.3 Verifikasi rumus untuk kaki las.

Kedalaman sebenarnya (mm) Y	Kedalaman retak pada alat (mm) x	Kedalaman perhitungan dengan rumus (mm) Yi	(Y-Yi) ²
0.5	0.72	0.57	0.00
1	1.38	1.07	0.00
1.5	2.13	1.60	0.01
2	2.6	1.91	0.01
2.5	2.97	2.15	0.12
3	5.07	3.36	0.13
4	6.1	3.89	0.01
5	8.14	4.83	0.03
6	11.4	6.16	0.03
7	15.1	7.55	0.30
8	15.92	7.86	0.02
9	18.4	8.79	0.04
10	22.32	10.32	0.10
11	26.33	11.89	0.79
12	28.33	12.63	0.39
82.5		Sr =	2.00

$$S = (Sr / (n - (m + 1)))^{0.5}$$

Dimana :

Sr : jumlah kuadrat kedalaman sebenarnya dikurangi dengan kedalaman yang terbaca pada alat.

n : jumlah data

m : orde polynomial

Kesalahan standar pada pengujian ini adalah = 0.29

Lampiran B.3 Verifikasi rumus untuk akar las.

Kedalaman sebenarnya (mm) Y	Kedalaman retak pada alat (mm) x	Kedalaman perhitungan dengan rumus (mm) Yi	(Y-Yi) ²
0.5	0.72	0.57	0.00
1	1.38	1.07	0.00
1.5	2.13	1.60	0.01
2	2.6	1.91	0.01
2.5	2.97	2.15	0.12
3	5.07	3.36	0.13
4	6.1	3.89	0.01
5	8.14	4.83	0.03
6	11.4	6.16	0.03
7	15.1	7.55	0.30
8	15.92	7.86	0.02
9	18.4	8.79	0.04
10	22.32	10.32	0.10
11	26.33	11.89	0.79
12	28.33	12.63	0.39
82.5		Sr =	2.00

$$S = (Sr / (n - (m + 1)))^{0.5}$$

Dimana :

Sr : jumlah kuadrat kedalaman sebenarnya dikurangi dengan kedalaman yang terbaca pada alat.

n : jumlah data

m : orde polynomial

Kesalahan standar pada pengujian ini adalah = 0.45

LAMPIRAN C



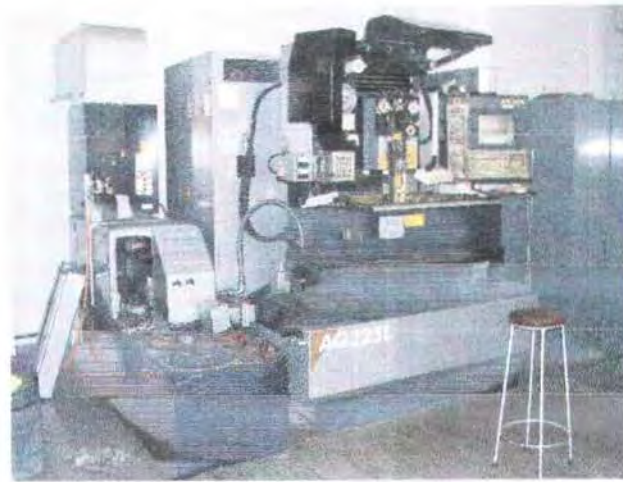
Gambar C.1. Mesin gergaji.



Gambar C.2. Pengukuran kedalaman retak pada material uji.



Gambar C.3. Wire brush.



Gambar C.4 Electro discharge machine



Gambar C.5 Proses pembuatan mesin dengan EDM

