

The Effect of Welding Current and Welding Time on Low Carbon Steel Spot Welding

TUGAS AKHIR

Nomor Soal: 500 / FT.USD / TM / Maret / 2005

**Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Mencapai Derajat Sarjana S-1**

**Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin**



Diajukan Oleh:

**HERU MARYANTO
NIM: 995214087
NIRM: 990051123109120087**



Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2005**

**Pengaruh Arus Pengelasan dan Waktu Pengelasan
pada Pengelasan Titik Baja Karbon Rendah**

TUGAS AKHIR

Nomor Soal: 500 / FT.USD / TM / Maret / 2005

**Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Mencapai Derajat Sarjana S-1**

**Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin**



Diajukan Oleh:

**HERU MARYANTO
NIM: 995214087
NIRM: 990051123109120087**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2005**

HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

**The Effect of Welding Current and Welding Time
on Low Carbon Steel Spot Welding**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

NAMA : HERU MARYANTO
NIM : 995214087
NIRM : 990051123109120087

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 12 Maret 2005

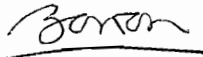
Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama



Budi Setyahandana, S.T., M.T.

Sekretaris

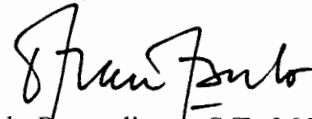


Wibowo Kusbandono, S.T., M.T.

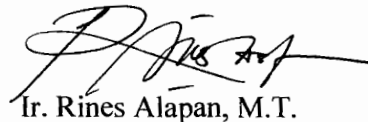
Anggota Dewan Penguji



I. Gusti Ketut Pudja, S.T., M.T.



D. Doddy Purwadianto, S.T., M.T.



Ir. Rines Alapan, M.T.

Tugas Akhir ini diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

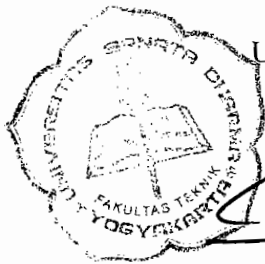
Yogyakarta,.....Maret 2005

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Yogyakarta

Dekan,



Ir. Greg. Heliarko S.J., S.S., B.S.T., M.A., M.Sc.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 12 Maret 2005

Heru Maryanto



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA
Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman - Yogyakarta
Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email :teknik@staff.usd.ac.id

TUGAS AKHIR/SKRIPSI PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No: 500 / FT .USD / TM / Maret / 2005

NAMA : Heru Maryanto
NIM : 995214087
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik , Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
Judul TGA :
Pengaruh Arus Pengelasan dan Waktu Penahanan Las pada Pengelasan
Titik Baja Karbon Rendah.

Tanggal dimulai : 28 Januari 2004

Pembimbing II

Yogyakarta , 1 Maret 2005

Pembimbing I

Budi Setyahandana, S.T.,M.T.

Persembahkan

Tugas akhir ini kupersembahkan kepada:

- 1. Gusti Yesus Juru SelamatKu.*
- 2. Kedua Orang Tuaku tercinta untuk semua usaha dan pengorbanan yang telah diberikan.*
- 3. Kedua kakak dan kedua adikku.*
- 4. Segenap keluarga.*

MOTTO

Hidup Adalah Berjuang

Hargai setiap Proses

Amin

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhanku Yang Maha Pengasih, Pemurah, Penyayang, yang telah memberikan rahmat dan anugrahNya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk memperoleh gelar sarjana Teknik di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini penulis banyak menerima bantuan dan masukan dari berbagai pihak, baik yang berupa dorongan, motivasi, bimbingan, sarana dan materi. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Romo Ir. Greg. Heliarko S.J., S.S., B.S.T., M.A., M.Sc., Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Bapak Yosef Agung Cahyanta S.T,M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Bapak Budi setyahandana, S.T,M.T., dosen pembimbing, atas waktu, perhatian, dan saran dalam membimbing penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Mas Martono, Laboran Laboratorium Ilmu logam Universitas Sanata Dharma yang telah membantu penelitian penulis.
5. Segenap dosen dan karyawan jurusan teknik mesin FT-USD yang telah membimbing dalam masa-masa kuliah.
6. Segenap keluarga di Bangka, keluarga di Sragen yang telah memberikan dukungan moril maupun materiil.

7. Ade' untuk semua bantuan dan dukungannya.
8. Destya, Nanda, rekan-rekan kost Tasura 2, komunitas anak Merzy.
9. Teman-teman TM, angkatan "99", dan semua pihak yang telah banyak membantu.
10. AD 3941 NS yang slalu setia mengantar dan menemani.

Semoga Tuhan memberkati dan membalas segala kebaikan anda semua.

Usaha yang penulis lakukan sudah semaksimal mungkin, namun penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis menerima saran dan kritik yang bersifat membangun demi kemajuan yang akan datang.

Semoga penulisan tugas akhir ini dapat memberikan tambahan wawasan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berguna bagi semua pembaca.

Yogyakarta, 28 Februari 2005

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN NASKAH SOAL	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah.....	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Cara Penelitian.....	2
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Pengertian.....	4
2.2 Klasifikasi Pengelasan.....	4
2.2.1 Pengelasan Cair.....	6
2.2.2 Pengelasan Tekan.....	6
2.2.3 Pematrian.....	6
2.3 Las Resistensi Listrik.....	7
2.3.1 Pengelasan titik.....	8
2.3.1.1 Dasar Operasi.....	8



2.3.1.2	Siklus Pengelasan	10
2.3.1.3	Energi Panas	11
2.3.1.4	Pengaruh Arus Listrik	13
2.3.1.5	Pengaruh Waktu Pengelasan	14
2.3.1.6	Pengaruh Elektroda	15
2.3.1.7	Pengaruh Gaya Elektroda	16
2.3.1.8	Pengaruh Komposisi Logam	17
2.3.1.9	Pengaruh kondisi Permukaan	17
2.4	Produksi Baja	18
2.4.1	Diagram Fasa Besi-Karbon	18
2.4.2	Transformasi Fasa Pada Baja	21
2.4.3	Klasifikasi Baja	22
2.5	Baja Karbon	23
2.5.1	Klasifikasi Baja Karbon Rendah	23
2.5.2	Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Baja Karbon Rendah	24
2.5.3	Pengaruh Unsur-Unsur Paduan	25
2.5.4	Sifat Mampu Las Baja Karbon Rendah	27
BAB III	METODE PENELITIAN	28
3.1	Skema Penelitian	28
3.2	Bahan	29
3.3	Kriteria Pengelasan	29
3.4	Proses Pembuatan Benda Uji	29
3.5	Proses Pengelasan	31
3.6	Pengujian Bahan	31
3.6.1	Pengujian Tarik	31
3.6.2	Pengamatan Struktur Mikro	32
3.6.3	Pengujian Kekerasan Brinell	33

BAB IV DATA PENELITIAN DAN PENGAMATAN	36
4.1 Analisis Pengujian Tarik Geser.....	36
4.2 Analisis Data Pengujian Mikro	47
4.3 Analisis Data Pengujian Brinell	57
BAB V KESIMPULAN DAN PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Penutup	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pembagian Cara Pengelasan	4
Gambar 2.2	Klasifikasi Pengelasan Resistensi Listrik.....	6
Gambar 2.3	Sirkulasi Pendingina pada Elektroda.....	8
Gambar 2.4	Siklus Dasar Pengelasan	9
Gambar 2.5	Distribusi Temperatur pada Pengelasan Titik.....	10
Gambar 2.6	Fungsi Arus Terhadap Kekuatan Geser	12
Gambar 2.7	Hubungan Antara Weld Time dan Kekuatan Geser	12
Gambar 2.8	Diagram Keseimbangan Besi-Besi Karbid	17
Gambar 3.1	Diagram Alur Penelitian	27
Gambar 3.2	Gambar Pembuatan Spesimen.....	29
Gambar 3.3	Arah Pemantulan Cahaya	31
Gambar 4.1a	Pengaruh Arus pada Tegangan Geser (Weld Time 20 Cycle)...	42
Gambar 4.1b	Pengaruh Arus pada Tegangan Geser (Weld Time 25 Cycle)...	42
Gambar 4.1c	Pengaruh Arus pada Tegangan Geser (Weld Time 30 Cycle)...	42
Gambar 4.2a	Pengaruh Weld Time pada Tegangan Geser (Arus 16 kA)	43
Gambar 4.2a	Pengaruh Weld Time pada Tegangan Geser (Arus 17,4 kA)	43
Gambar 4.2c	Pengaruh Weld Time pada Tegangan Geser (Arus 19 kA)	43
Gambar 4.3	Distribusi Panas pada Pengelasan Titik.....	44
Gambar 4.4	Foto Pengujian Tarik pada Pengelasan 16 k Amp, 20 Cycle.....	45
Gambar 4.5a	Foto Pengujian Tarik Pengelasan 16 k Amp, 25 Cycle.....	45
Gambar 4.5b	Foto Pengujian Tarik Pengelasan 16 k Amp, 30 Cycle.....	46
Gambar 4.5c	Foto Pengujian Tarik Pengelasan 17,4 k Amp, 20 Cycle.....	46
Gambar 4.5d	Foto Pengujian Tarik Pengelasan 17,4 k Amp, 25 Cycle.....	47
Gambar 4.5e	Foto Pengujian Tarik Pengelasan 17,4 k Amp, 30 Cycle	47
Gambar 4.5f	Foto Pengujian Tarik Pengelasan 19 k Amp, 20 Cycle	48
Gambar 4.5g	Foto Pengujian Tarik pada Pengelasan 19 k Amp, 25 Cycle	48
Gambar 4.5h	Foto Pengujian Tarik pada Pengelasan 19 k Amp, 30 Cycle	49
Gambar 4.5i	Foto Pengujian Tarik pada Material Awal	49
Gambar 4.6	Daerah Pemotretan Mikro.....	49

Gambar 4.7a	Struktur Mikro Daerah A, Spesimen 16 k Amp, 20 Cycle	50
Gambar 4.7b	Struktur Mikro Daerah B, Spesimen 16 k Amp, 20 Cycle	50
Gambar 4.8a	Struktur Mikro Daerah A, Spesimen 16 k Amp, 25 Cycle	51
Gambar 4.8b	Struktur Mikro Daerah B, Spesimen 16 k Amp, 25 Cycle	51
Gambar 4.9a	Struktur Mikro Daerah A, Spesimen 16 k Amp, 30 Cycle	52
Gambar 4.9b	Struktur Mikro Daerah B, Spesimen 16 k Amp, 30 Cycle	52
Gambar 4.10a	Struktur Mikro Daerah A, Spesimen 17,4 k Amp, 20 Cycle	53
Gambar 4.10b	Struktur Mikro Daerah B, Spesimen 17,4 k Amp, 20 Cycle	53
Gambar 4.11a	Struktur Mikro Daerah A, Spesimen 17,4 k Amp, 25 Cycle	54
Gambar 4.11b	Struktur Mikro Daerah B, Spesimen 17,4 k Amp, 25 Cycle	54
Gambar 4.12a	Struktur Mikro Daerah A, Spesimen 17,4 k Amp, 30 Cycle	55
Gambar 4.12b	Struktur Mikro Daerah B, Spesimen 17,4 k Amp, 30 Cycle	55
Gambar 4.13a	Struktur Mikro Daerah A, Spesimen 19 k Amp, 20 Cycle	56
Gambar 4.13b	Struktur Mikro Daerah B, Spesimen 19 k Amp, 20 Cycle	56
Gambar 4.14a	Struktur Mikro Daerah A, Spesimen 19 k Amp, 25 Cycle	57
Gambar 4.14b	Struktur Mikro Daerah B, Spesimen 19 k Amp, 25 Cycle	57
Gambar 4.15a	Struktur Mikro Daerah A, Spesimen 19 k Amp, 30 Cycle	58
Gambar 4.15b	Struktur Mikro Daerah B, Spesimen 19 k Amp, 30 Cycle	58
Gambar 4.16	Daerah Pengujian Kekerasan	60
Gambar 4.17a	Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Arus 16 k Amp).....	62
Gambar 4.17b	Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Arus 17,4 k Amp).....	63
Gambar 4.17c	Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Arus 19 k Amp).....	63
Gambar 4.18a	Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Weld Time 20 Cycle)	64
Gambar 4.18b	Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Weld Time 25 Cycle)	64
Gambar 4.18c	Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Weld Time 30 Cycle)	65

Daftar Tabel

Tabel 2.1	Klasifikasi Baja Karbon.....	22
Tabel 4.1	Data Pengujian Tarik Material Awal.....	38
Tabel 4.2	Data Pengujian Geser Tiap Kombinasi Las.....	38
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Kekerasan.....	63

INTISARI

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan dan waktu pengelasan pada pengelasan titik baja karbon rendah. Material yang dipakai adalah ST 37 dengan tebal 3 mm. Pada penelitian ini, hal yang diamati adalah kekuatan geser, struktur mikro dan kekerasan material.

Dalam pengelasan dibuat 9 macam variasi yaitu ; 16 k Amp, 20 cycle, 16 k Amp, 25 cycle, 16 k Amp, 30 cycle, 17,4 k Amp, 20 cycle, 17,4 k Amp, 25 cycle, 17,4 k Amp, 30 cycle, 19 k Amp, 20 cycle, 19 k Amp, 25 cycle, 19 k Amp, 30 cycle, semua dibuat dengan tekanan elektroda sama yaitu 6 Bar. Setelah dilakukan pengelasan, kemudian dilakukan beberapa pengujian berupa pengujian tarik untuk mengetahui tegangan geser yang terjadi pada daerah las, pengamatan struktur mikro untuk mengetahui struktur yang terbentuk, dan pengujian kekerasan untuk mengetahui tingkat kekerasan dari material uji.

Dari hasil pengujian dan pengamatan diatas kemudian dibandingkan antara satu variasi dengan variasi lainnya, dan diketahui pada rentang arus 16 k amp – 19 k amp, terjadi fenomena kekuatan geser seperti parabola (bagian tengah memiliki kekuatan geser paling tinggi). Kekuatan geser tertinggi terjadi pada arus 17,4 k Amp, 20 Cycle. Untuk kekerasannya didapat bahwa makin besar arus pengelasan yang dipakai, kekerasan yang terjadi makin turun. Kekerasan tertinggi terjadi pada arus 16 k Amp, 20 Cycle dengan kekerasan kurang lebih 156 BHN.

ABTRACT

The aim of this research is to understand the effect of the welding current and welding time in spot welding process on low carbon steel. The material that been use is ST 37 with 3 mm thickness. In this research, the writer tested the shear strength, micro structure and also the hardness of the object being tested.

There are 9 variations of welding process in this research, they are, 16 k Amp, 20 cycle; 16 k Amp, 25 cycle; 16 k Amp, 30 cycle; 17.4 k Amp, 20 cycle; 17.4 k Amp, 25 cycle; 17.4 k Amp, 30 cycle; 19 k Amp, 20 cycle; 19 k Amp, 25 cycle; 19 k Amp, 30 cycle and of them made all was made in the same 6 bar electrode pressure. After the welding process, the tensile test was done in order to known the shear strength in welding area. Observing on micro structure conducted know to the structure that formed in tested material and in the last, it is done the hardness testing to know the hardness level from the tested material.

From this research, the maximum shear strength is about 33 kg/mm^2 at the welding current of 17.4 k ampere, 20 Cycle. From the hardness it is known that the more the welding current being used, the lower the hardness will be. The maximum hardness is about 156 BHN at the welding current of 16 k Ampere, 20 Cycle.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan jaman yang sangat pesat mempengaruhi keanekaragaman kebutuhan manusia. Penerapan teknologi dalam negara-negara industri semakin kreatif. Salah satu teknologi yang sangat penting dewasa ini adalah teknologi pengelasan. Las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan cair. Jadi pengelasan adalah proses penyambungan beberapa logam dengan menggunakan energi panas.

Dalam tugas akhir ini penulis melakukan penelitian tentang pengelasan titik, yang merupakan salah satu jenis las resistensi. Las titik banyak digunakan dalam industri otomotif, konstruksi kapal, industri rumah tangga dan sebagainya. Dalam berbagai bidang tersebut, dibutuhkan pengelasan yang cepat, kuat, rapi untuk menunjang proses produksi massal yang membutuhkan waktu yang singkat.

Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah ST 37. Setelah dilas, benda uji diuji tarik, uji struktur mikro, dan uji kekerasan.

1.2 Batasan Masalah

Penulis memberikan batas-batas masalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah, ST 37
2. Jenis pengelasan adalah las titik.

3. Pengelasan spesimen dengan Variasi arus 16 k Amp; 17,4 k Amp; 19 k Amp, dengan weld time 20 cycles, 25 cycles, 30 cycles, dan dengan tekanan konstan 6 bar.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui:

1. Pengaruh arus pengelasan dan waktu pengelasan pada kekuatan geser yang dicapai.
2. Pengaruh arus pengelasan dan waktu pengelasan pada struktur mikro yang terjadi.
3. Pengaruh arus pengelasan dan waktu pengelasan pada kekerasan Brinell.

Dari pengujian ini kita dapat mengetahui arus pengelasan dan waktu pengelasan yang paling baik untuk mencapai hasil maksimal.

1.4 Cara Penelitian

1. Literatur

Mempelajari literatur yang berhubungan dengan penelitian ini.

2. Konsultasi

Melakukan wawancara dengan pihak-pihak yang memiliki pengalaman dalam penelitian logam, misalnya dosen atau mahasiswa yang pernah melakukan penelitian yang sama.

3. Pengujian laboratorium

Pengujian yang dilaksanakan meliputi: pengujian tarik di laboratorium Ilmu Bahan, jurusan Teknik Mesin, IST AKPRIND, pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

4. Analisis data

Dari hasil pengujian selanjutnya akan dianalisa dan disesuaikan dengan aturan yang telah ditetapkan untuk mendapat kesimpulan akhir yang sesuai dengan dengan tujuan penelitian.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian

Pengelasan adalah suatu metode penyambungan logam dengan membuat ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan pada keadaan cair, atau dalam arti lain, pengelasan adalah proses atau cara penyambungan logam, dimana logam menjadi satu akibat panas, dengan atau tanpa tekanan. Atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom logam. Sebelum atom-atom membentuk ikatan, permukaan yang menjadi satu perlu bebas dari gas yang terserap atau oksida-oksida. Bila dua permukaan yang rata dan bersih ditekan dalam temperatur cair, beberapa kristal logam akan tertekan dan bersinggungan, dan menjadi satu.

Dalam pengelasan titik, bila arus yang dipergunakan tidak sesuai dengan titik cair material, maka sambungan las tidak akan kuat. Hal ini disebabkan oleh temperatur yang dihasilkan elektroda tidak cukup untuk mencairkan *interface* sambungan tersebut. Hal ini sangat berpengaruh pada ketangguhan, cacat las, retak, maupun sifat fisis atau mekanis.

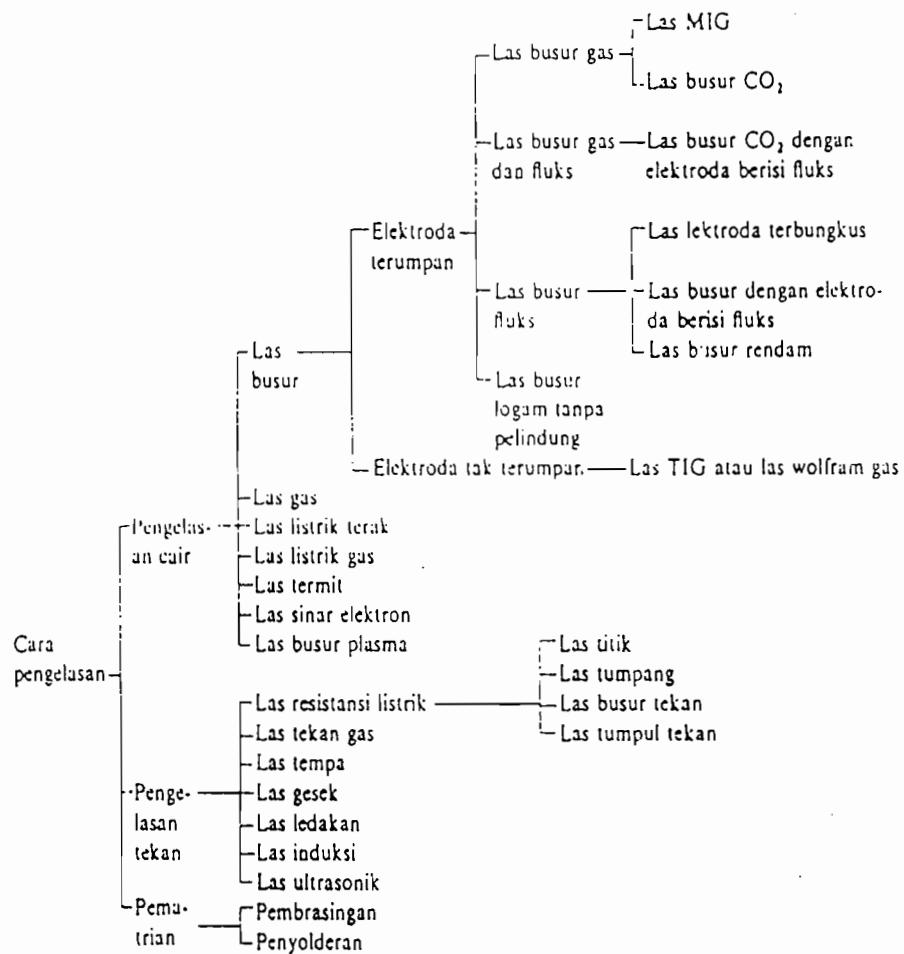
2.2 Klasifikasi Pengelasan

Secara umum, pengelasan dikelompokkan menjadi dua golongan besar, yaitu: berdasarkan cara kerja dan energi yang digunakan. Dalam pembahasan ini,

penulis menyusun klasifikasi berdasarkan cara kerja, dimana terbagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Pengelasan cair
2. Pengelasan tekan
3. Pematrian.

Rincian klasifikasi pengelasan:



Gambar 2.1 Pembagian Cara Pengelasan
 Sumber: Teknologi Pengelasan Logam (Wiryosumarto, H.)

2.2.1 Pengelasan Cair

Pengelasan cair adalah cara dimana sambungan dipanaskan sampai cair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar. Pada pengelasan ini, logam induk pada daerah sambungan dipanasi sampai benar-benar mencair. Pada umumnya proses ini ditambahkan bahan pengisi. Cara pengelasan yang paling banyak digunakan saat ini adalah pengelasan cair dengan busur dan gas.

2.2.2 Pengelasan tekan

Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana kedua logam ditekan satu sama lain, kemudian dialiri arus listrik pada kedua logam sehingga timbul panas karena resistensi pada kedua plat tersebut. Cara pengelasan ini pada umumnya tidak memerlukan bahan pengisi. Kualitas sambungan tergantung dari besarnya tekanan dan temperatur pada saat pengelasan. Pengelasan tekan ini dibagi lagi, salah satunya las resistensi, yang kemudian dibagi lagi menjadi empat jenis, salah satunya adalah las titik yang merupakan pokok pembahasan tugas akhir ini.

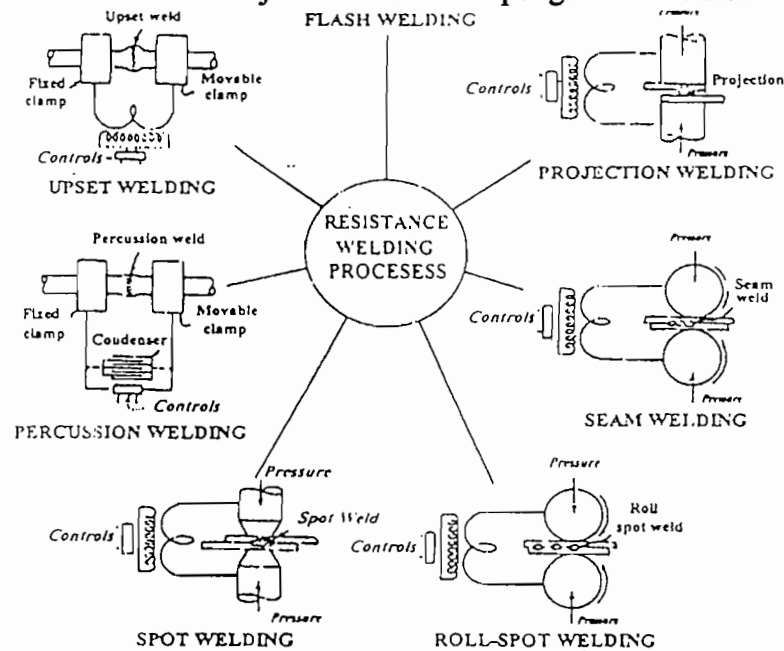
2.2.3 Pematrian

Pematrian adalah proses pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan logam pengisi, dimana logam pengisi selalu lebih rendah titik cairnya dari logam induk, sehingga dalam proses pengelasan logam induk tidak ikut mencair. Ada dua macam logam patri, yaitu logam patri lunak dengan titik cair lebih rendah dari 450°C dan logam patri keras dengan titik cair

diatas 450°C. Pada umumnya, logam patri memiliki kekuatan yang lebih rendah dari pada logam dasar. Oleh sebab itu dianjurkan agar rongga pada kedua permukaan logam induk yang akan dipatri, diusahakan sekecil mungkin. Selama proses pematrian, suhu harus cukup tinggi agar logam patri cair mempunyai derajat kecairan yang tinggi sehingga dapat mengalir kedalam rongga antara kedua logam induk.

2.3 Las Resistensi Listrik

Dalam pengelasan resistensi, panas dan tekanan adalah faktor utama untuk menghasilkan lasan. Panas timbul karena adanya resistensi pada logam ketika dialiri arus listrik yang tinggi. Las resistensi listrik merupakan pengelasan yang sederhana yang tidak memerlukan logam pengisi. Hasil lasan adalah berupa penyatuan logam induk itu sendiri setelah melalui proses pemanasan dan penekanan. **Gambar 2.2** menunjukkan klasifikasi pengelasan resistensi listrik.



Gambar 2.2 Klasifikasi Pengelasan Resistensi Listrik
 Sumber: Japanese Railways Standard, Standard for Spot Welding.

2.3.1 Pengelasan titik

Pengelasan titik adalah bagian dari pengelasan resistensi listrik dari jenis pengelasan tekan. Proses ini banyak digunakan dalam dunia industri dibanding dengan pengelasan resistensi lainnya. Kelemahan dari proses pengelasan ini adalah biaya pengadaannya yang cukup mahal. Hasil dari pengelasan yang terjadi berupa *nugget* yang terbentuk pada permukaan antara (*interface*) benda kerja. *Nugget* terbentuk dari dua logam induk yang menyatu setelah melalui proses pemanasan dan penekanan. Untuk menghasilkan *nugget* yang baik diperlukan beberapa faktor antara lain, gaya tekan elektroda, lama pengelasan, dan besar arus. Metode pengelasan titik di bagi menjadi dua golongan yaitu;

1. Metode Single Spot Welding

Adalah metode pengelasan titik dimana pengelasan terjadi ketika arus yang mengalir hanya melalui satu buah titik lasan selama satu siklus pengelasan berlangsung.

2. Metode Multiple Spot Welding

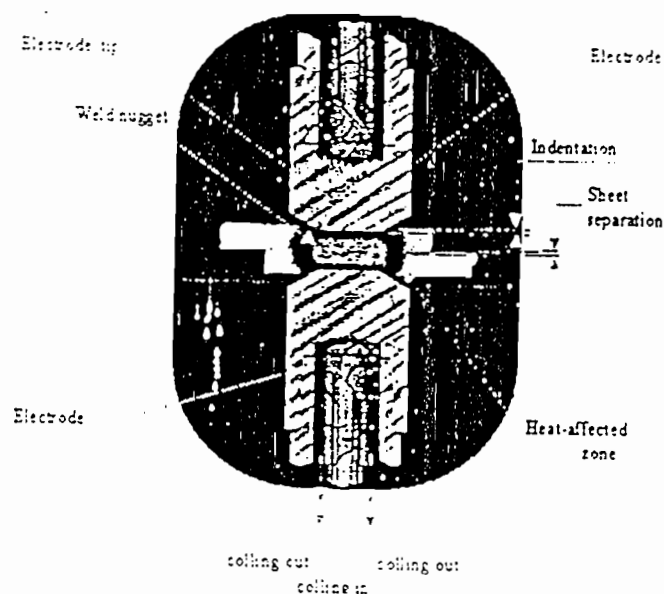
Adalah metode dimana pengelasan akan membentuk dua atau lebih titik lasan selama satu siklus pengelasan berlangsung, tergantung dari pengaturannya.

2.3.1.1 Dasar Operasi

Dalam las titik, plat yang akan dilas dijepit dengan sepasang elektroda yang kemudian dialiri arus listrik yang besar dalam waktu yang singkat. Karena arus listrik pada kedua elektroda tersebut harus melalui kedua plat yang

mempunyai resistensi tertentu, maka pada *interface*, tepatnya pada daerah penekanan terjadi panas yang mencairkan kedua plat tersebut. Dan karena didalam kotak elektroda terdapat sirkulasi pendingin, maka *interface* antara elektroda dan logam induk tidak terjadi pencairan pada keduanya. Perhatikan **gambar 2.3**

Tekanan dari elektroda dan besarnya arus yang mengalir harus cukup untuk membentuk terjadinya *nugget*. Biasanya *nugget* berbentuk oval atau lingkaran tergantung bentuk elektrodanya. Waktu untuk mengalirkan arus harus cukup pendek. Ketika arus berhenti, tekanan dari elektroda harus dipertahankan sampai *nugget* dingin.



Gambar 2.3 Sirkulasi Pendingin pada Elektroda
Sumber: Resistance Spot Welding Process (Alexander, L. & Co.)

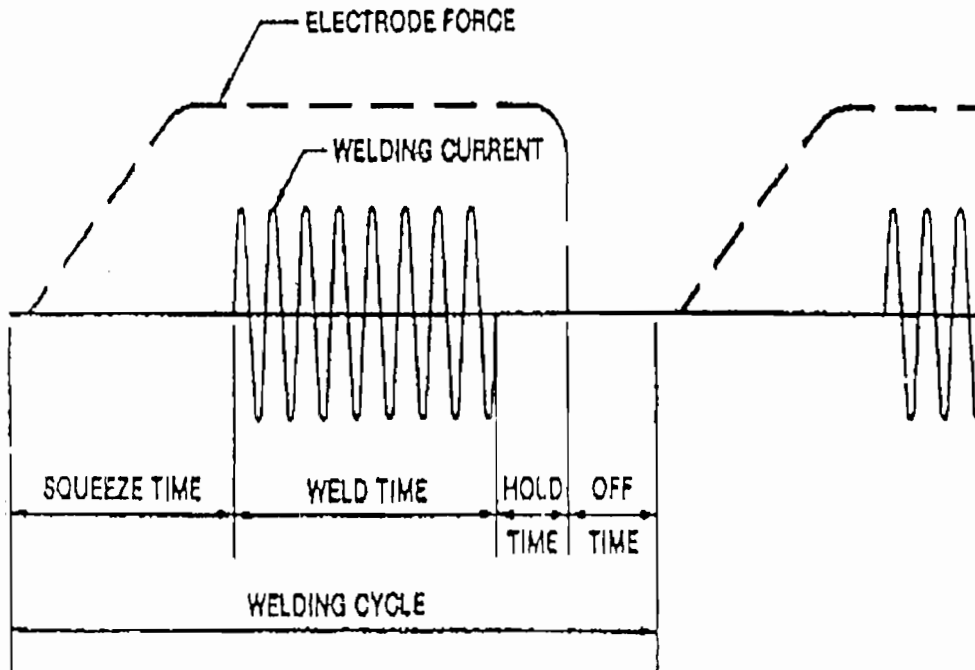
Keuntungan dari pengelasan titik adalah mampu melakukan pengelasan dengan cepat, sehingga cocok untuk pekerjaan massal. Besarnya arus, waktu dan gaya penekanan dapat dilakukan dengan kontrol otomatis, sehingga menghasilkan produksi yang kontinyu dan seragam. Kualitas pengelasan titik tergantung pada kedisiplinan melaksanakan prosedur yang ditetapkan. Pengelasan titik menghasilkan lasan yang lebih rapi dan presisi serta lebih murah dibanding dengan proses pengelasan lainnya.

2.3.1.2 Siklus Pengelasan

Siklus pengelasan dari las titik berisi 4 fase pokok yang meliputi:

1. *Squeeze time* adalah selang waktu dimana elektroda menekan benda kerja sebelum arus mengalir.
2. *Weld time* adalah selang waktu selama arus mengalir.
3. *Hold time* adalah selang waktu pendingin dimana elektroda masih menekan tetapi arus sudah tidak mengalir.
4. *Off time* adalah selang waktu setelah elektroda diangkat sampai siklus pengelasan berikutnya.

Perhatikan **gambar 2.4** berikut:



Gambar 2.4 Siklus Dasar Pengelasan Titik
 Sumber: Principles of Welding, Process, Physics, Chemistry, and Metallurgy
 (Messler Robert W., Jr.)

2.3.1.3 Energi Panas

Besarnya energi panas tergantung atas tiga faktor yaitu, arus, tahanan listrik, dan waktu selama arus mengalir. Besarnya energi panas berbanding lurus dengan kuadrat arus yang mengalir, berbanding lurus dengan waktu pengelasan dan tahanannya seperti ditunjukkan pada persamaan berikut ini:

$$Q = I^2 \times R \times T \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dan pada persamaan resistensi ada panas yang hilang ke logam induk, sehingga persamaan menjadi:

$$Q = I^2 \times R \times T \times K \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

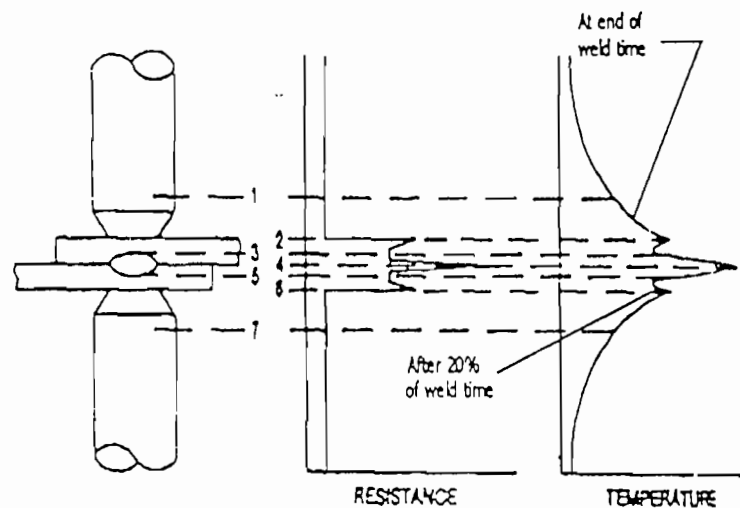
Q = Energi panas (Joule).

I = Arus listrik (Ampere).

R = Tahanan listrik (Ohm).

T = Waktu selama arus mengalir (Detik, cycles).

K = Panas yang hilang melalui konduksi, konveksi, dan radiasi.



Gambar 2.5 Distribusi Temperatur pada Pengelasan Titik
 Sumber: Principles of Welding, Process, Physics, Chemistry, and Metallurgy
 (Messler Robert W., Jr)

Karakteristik terpenting dari resistensi adalah distribusi suhu yang akan dihasilkan selama pengelasan berlangsung. Distribusi suhu dari panas yang dibangkitkan dan kenaikan temperatur setelah 20% dan 100% dari *weld time* pada elektroda, logam induk dan *nugget* selama proses pengelasan titik, seperti gambar 2.5

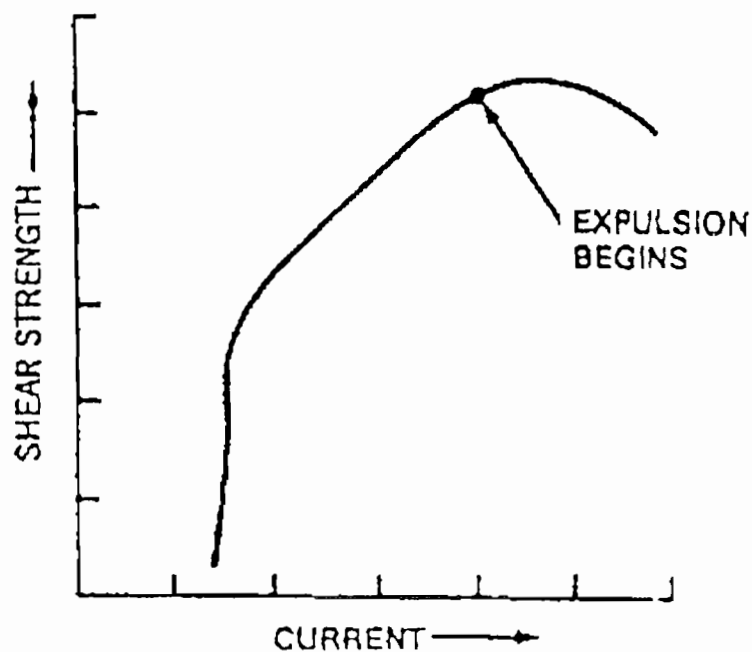
Dari gambar tampak bahwa ada 7 titik tahanan kontak pada pengelasan titik 2 plat, yaitu:

1. 1 dan 7 adalah tahanan dari bahan elektroda.
2. 2 dan 6 adalah tahanan kontak antara elektroda dan logam induk. Besarnya tahanan tergantung dari kondisi permukaan elektroda, ukuran dan bentuk elektroda serta tekanan dari elektroda. Walaupun pada titik ini panas yang dihasilkan tinggi, permukaan dari logam induk tetap tidak mencair karena pada elektroda ada sirkulasi air pendingin (cooling).
3. 3 dan 5 adalah total tahanan yang berasal dari logam induk, yang besarnya berbanding lurus dengan hambatan jenis dan ketebalannya dan berbanding terbalik dengan luas daerah yang dilalui arus listrik.
4. 4 adalah *interface* dari kedua logam induk. Plat memiliki tahanan kontak yang paling besar dan menyebabkan panas yang paling besar pula sehingga mengakibatkan kedua logam menyatu.

2.3.1.4 Pengaruh Arus Listrik

Arus listrik memiliki pengaruh yang lebih besar untuk membangkitkan energi panas, jika dibandingkan dengan tahanan dan waktu. Hal ini terlihat jelas pada persamaan $Q = I^2 \times R \times T$. Panas yang terjadi berbanding lurus dengan kuadrat arusnya. Kerapatan arus yang mengalir untuk waktu yang terbatas diperlukan untuk menyatukan bidang *interface* logam induk. Panas yang besar diperlukan untuk mengatasi panas yang hilang ke logam dasar atau elektroda.

Arus yang berlebih akan menyebabkan panas yang berlebih pula pada logam, dan hal ini menyebabkan indentasi yang besar dan elektroda akan cepat rusak. **Gambar 2.6** adalah fungsi arus terhadap kekuatan geser:

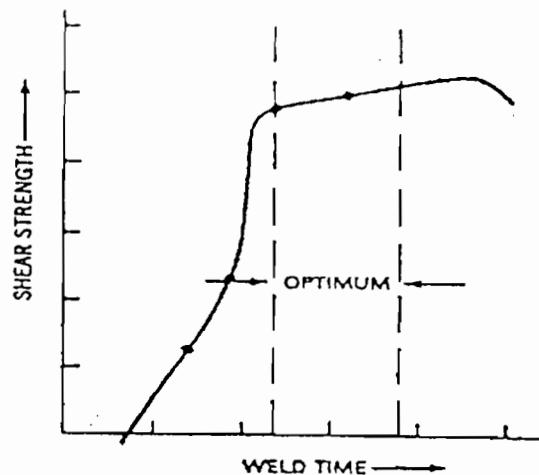


Gambar 2.6 Fungsi Arus Terhadap Kekuatan Geser
Sumber: Principles of Welding, Process, Physics, Chemistry, and Metallurgy
(Messler Robert W., Jr)

2.3.1.5 Pengaruh Waktu Pengelasan

Total panas yang dihasilkan bertambah sesuai dengan waktu pengelasan. Jika arus mengalir terus menerus, suhu pada titik 4 (**gambar 2.5**) akan melampaui suhu cair dari logam. Hal ini menyebabkan tekanan internal yang dapat mengeluarkan logam las dari sambungan dan gas yang timbul atau uap logam akan menyebabkan ledakan partikel-partikel logam atau yang disebut *spitting*.

Jika *weld time* terlalu lama, dapat menyebabkan arus berlebih pada logam dasar, elektroda dan *HAZ (Heat Effected Zone)* akan terlalu jauh meluas masuk ke logam dasar. Pada banyak kasus, panas yang hilang ke beberapa titik selama selang waktu pengelasan berlangsung akan sama dengan panas yang keluar, sehingga suhu akan stabil. **Gambar 2.7** berikut menunjukkan hubungan antara *weld time* dengan kekuatan geser pada kondisi konstan.



Gambar 2.7 Hubungan Antara Weld Time dan Kekuatan Geser
Sumber: Principles of Welding, Process, Physics, Chemistry, and Metallurgy
(Messler Robert W., Jr)

2.3.1.6 Pengaruh Elektroda

Elektroda harus memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan memiliki tahanan kontak yang rendah sehingga dapat meminimalisasikan pemanasan pada elektroda. Disamping itu, elektroda juga harus memiliki konduktivitas panas yang tinggi untuk menyalurkan panas dari permukaan elektroda ke udara luar sehingga

temperatur antara elektroda dan logam induk tidak terlalu tinggi. Elektroda juga harus cukup kuat untuk menahan perubahan bentuk atau *mushrooming*. Fungsi dari elektroda adalah:

1. Menghantar arus dan menentukan kerapatan arus pada daerah las.
2. Meneruskan gaya ke benda kerja.
3. Menyebarkan panas dari daerah las.
4. Mempertahankan posisi benda kerja tetap lurus.

Penggunaan elektroda yang berulang dapat mengakibatkan perubahan bentuk pada permukaan elektroda hingga menjadi lebih besar dan menyebabkan menurunnya kerapatan arus dan tekanan pada elektroda, sehingga mutu dari lasan menurun juga. Bentuk dari elektroda sangat penting, karena arus harus dibatasi untuk mencapai kerapatan arus yang layak sesuai dengan ukuran dan komposisi logam las.

2.3.1.7 Pengaruh Gaya Elektroda

Tahanan pada persamaan panas dipengaruhi gaya tekan dari elektroda. Sistem penekanan pada mesin las titik kebanyakan dengan menggunakan sistem pneumatik atau hidroulik, sehingga gaya tekan dapat diatur sesuai kebutuhan pengelasan. Dengan sistem ini, kemungkinan terjadi kerenggangan antar kedua logam saat pengelasan sangat kecil, sehingga pengaruh tahanan kontak *interface* dapat diminimalkan.

Fungsi dari gaya elektroda antara lain:

1. Menghilangkan jarak *interface*.

2. Menurunkan tahanan kontak.
3. Menahan ledakan dari cairan logam las pada sambungan.
4. Memperkuat nugget las.

2.3.1.8 Pengaruh Komposisi Logam

Resistensi listrik dari logam berpengaruh langsung pada tahanan listrik selama berlangsungnya proses pengelasan. Jika logam memiliki konduktivitas panas tinggi, memerlukan panas yang lebih besar karena panas yang terjadi akan cepat merambat ke logam.

Komposisi dari logam sangat menentukan panas spesifik, titik cair, panas laten dan konduktivitas panas. Sifat-sifat tersebut digunakan untuk menentukan jumlah panas yang diperlukan untuk mencairkan logam dan menghasilkan sebuah lasan yang bagus.

2.3.1.8 Pengaruh Kondisi Permukaan

Kondisi permukaan dari logam yang akan dilas harus sangat diperhatikan. Hasil dari las yang tidak baik salah satunya disebabkan oleh kondisi permukaan yang tidak baik. Debu, minyak, terak dan unsur lainnya pada permukaan logam, merupakan faktor-faktor penentu, disamping ketidakrataan permukaan logam. Faktor-faktor tersebut juga mempercepat kerusakan elektroda.

2.4 Produksi Baja

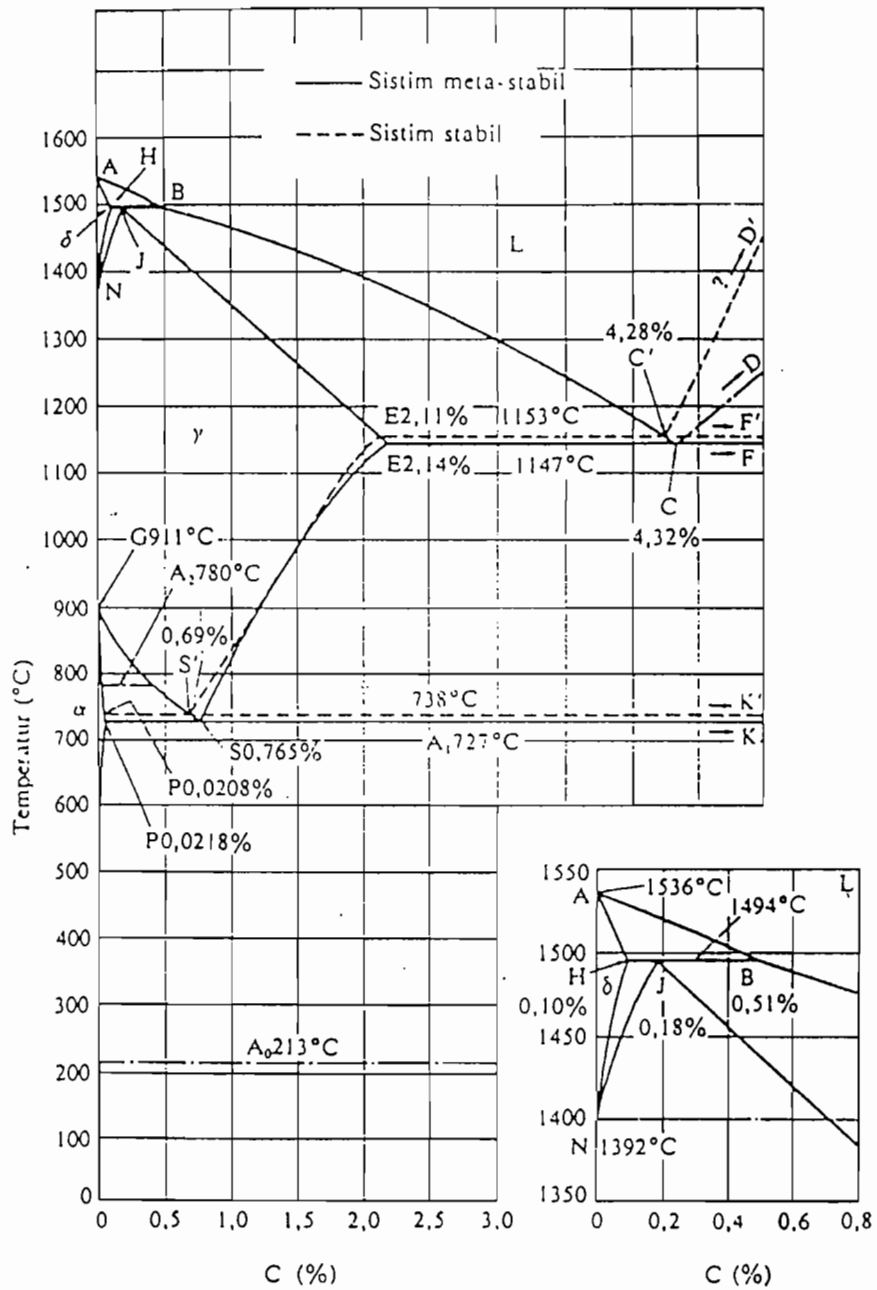
Dalam dunia permesinan, baja banyak digunakan karena sifatnya yang bervariasi yang diperoleh melalui pepaduan dan penerapan proses perlakuan panas. Baja mempunyai sifat lunak, keras bahkan sampai yang paling tajam dapat dibuat. Baja juga memiliki mampu bentuk yang baik. Baja sendiri merupakan paduan dari besi dan karbon (zat arang). Besi (Fe) adalah paduan metal dan karbon (C) yang dapat kita peroleh melalui bijih besi hasil dari penambangan dan dileburkan didalam dapur tinggi. Pembuatan baja dapat diartikan sebagai proses yang bertujuan untuk mengurangi unsur C, Mn, Si, S, dan unsur P yang terdapat pada besi mentah.

Produksi besi mengandung kadar karbon berkisar 1,7% dan secara teknik dinyatakan sebagai baja karbon *carbon steel*. Besi murni tidak mengandung karbon dan memiliki sifat yang liat dan lunak serta mampu tempa. Besi murni yang ditambah dengan unsur karbon antara $\pm 0,05\% - 1,7\%$ akan menghasilkan baja. Unsur karbon merupakan salah satu unsur terpenting dalam baja, karena unsur tersebut dapat meningkatkan kekerasan dan menaikkan kekuatan baja. Disisi lain karbon sendiri berpengaruh kurang baik pada baja karena dapat menurunkan keuletan.

2.4.1 Diagram Fasa Besi-Karbon

Gambar 2.8 menunjukkan diagram keseimbangan besi karbon sebagai dasar bahan yang berupa besi baja.

Besi Dan Baja



Gambar 2.8 Diagram keseimbangan Besi-karbon
Sumber: Pengetahuan Bahan Teknik (Surdia, T)

Selain karbon besi dan baja terkandung kira-kira 0,25% Si, 0,3-1,5% Mn, dan unsur pengotor lain seperti P, S, dan sebagainya. Karena unsur-unsur ini tidak memberikan pengaruh utama kepada diagram fasa tersebut, maka diagram fasa tersebut dapat dipergunakan tanpa menghiraukan unsur-unsur tersebut.

Titik-titik penting pada diagram ini adalah:

- A: Titik cair besi.
- B: Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi *peritektik*.
- H: Larutan pada δ yang ada hubungan dengan reaksi *peritektik*, kelarutan maksimum adalah 0,10%
- J: Titik *peritektik* selama pendinginan *austenit* pada komposisi J, fasa γ terbentuk larutan pada δ pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.
- N: Titik transformasi dari besi δ dan ke besi γ , titik transformasi A_4 dari besi murni.
- C: Titik *eutektik*, selama pendinginan fasa γ dengan komposisi E dan *sementit* pada posisi F (6,67% C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fasa *eutektik* ini disebut *ledeburit*.
- E: Titik yang menyatakan fasa γ , ada hubungan dengan fasa *eutektik*. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Paduan besi karbon sampai komposisi ini disebut baja.
- G: Titik transformasi besi γ dari dan ke besi α . Titik transformasi A_3 untuk besi.

- P: Titik yang menyatakan ferit, fasa α , ada hubungan dengan reaksi *eutektoid*. Kelarutan maksimum dari karbon kira-kira 0,02%
- S: Titik *eutektoid*. Selama pendinginan, ferit pada komposisi P dan sementit pada komposisi K terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. Reaksi *eutektoid* ini dinamakan reaksi A_1 dan fasa *eutektoid* ini disebut perlit.
- GS: Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dengan komposisi, dimana mulai terbentuk ferit dari austenit. Garis ini disebut A_3 .
- ES: garis yang menyatakan dengan hubungan temperatur dengan komposisi, mulai dari terbentuk sementit dari austenit, dinamakan garis A_{cm} .
- A_2 : Titik transformasi *magnetik* untuk besi atau ferit.
- A_0 : Titik transformasi *magnetik* untuk sementit.

2.4.2 Transformasi Fasa Pada Baja.

Proses perlakuan panas dapat mengubah struktur mikro suatu bahan.

Struktur yang terdapat pada baja adalah:

1. **Austenit** yang memiliki sel satuan kubus pusat badan atau *face centered cubic (fcc)*, menunjukkan titik mulur yang jelas tanpa kegetasan pada keadaan dingin.
2. **Martensit** yang merupakan fasa larutan padat lewat jenuh dari karbon dalam sel satuan tetragonal pusat badan atau *body centered tetragonal (bct)*. Makin tinggi kejenuhan karbon maka makin keras dan getas.

3. **Sementit** merupakan struktur yang keras dan getas, kekuatan tarik rendah tetapi kekuatan tekan tinggi. Struktur ini merupakan struktur paling keras pada baja.
4. **Ledeburit** merupakan campuran eutektik antara austenit dan sementit, mengandung 4,3 % C dan terbentuk pada suhu 1130^oC.
5. **Ferit** mempunyai sel satuan kubus pusat badan atau *body centered cubic (bcc)*. Ferit menjadi getas pada temperatur rendah, dan merupakan struktur terluak pada baja.
6. **Perlit** adalah campuran yang sangat tidak stabil dari ferit dan sementit.

2.4.3 Klasifikasi Baja.

Secara umum, baja diklasifikasikan dalam empat jenis yaitu:

1. Baja karbon yaitu baja yang sifat-sifatnya hanya dipengaruhi oleh kandungan karbon. Unsur lain yang terkandung dalam baja jumlahnya relatif sedikit sehingga pengaruhnya dapat diabaikan.
2. Baja paduan yaitu baja yang memiliki sifat lebih baik dari baja karbon karena adanya pengaruh dari unsur lain yang besar.
3. Baja kuat paduan yaitu baja yang memiliki komposisi kimia yang khusus.
4. Baja stainless yaitu baja paduan tinggi.

Disini penulis hanya akan membahas tentang baja karbon yang berhubungan dengan penelitian ini.

2.5 Baja Karbon

Yang dimaksud dengan baja karbon adalah baja yang hanya terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C) saja, tanpa ada bahan-bahan pemadu yang lain. Beberapa unsur yang lain kadang-kadang terdapat pada baja karbon tetapi dengan kadar atau prosentase yang sangat kecil. Misalnya Si, Mn, S, dan P. Biasanya keikutsertaan material tersebut didalam baja karbon dinamakan *impurities*. Pada umumnya baja karbon dikelompokkan berdasarkan kandungan karbonnya, yaitu :

1. Baja karbon rendah ($\leq 0,30\% \text{C}$).
2. Baja karbon sedang (0,3–0,45 %C).
3. Baja karbon tinggi (0,45–1,7 %C).

2.5.1 Klasifikasi Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah memiliki kekerasan rendah, keuletan yang tinggi dan mampu bentuk las yang baik. Pada umumnya produksi baja karbon rendah berupa strip atau sheet. Secara umum, baja karbon rendah terbagi menjadi 2 kategori :

1. Baja dengan kemampuan dibentuk dingin, didapat dari baja karbon rendah yang dianil dengan komposisi karbon maksimum 0,1 dan Mn 0,3-0,4 %. Baja ini banyak digunakan dalam industri karoseri.
2. Baja yang mempunyai kekuatan tinggi tapi kemampuan dibentuk dingin terbatas.

Kadar karbon yang rendah dimaksud untuk mendapatkan kemampuan dibentuk cukup baik.

2.5.2 Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Baja Karbon Rendah

Secara umum struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginan suhu pada daerah austenit pada suhu kamar. Perubahan struktur ini berakibat pula pada perubahan sifat-sifat mekanik baja. Unsur pembentuk dari baja karbon rendah adalah paduan besi dan karbon dengan sedikit Mn, P, S, Cu, atau Al. Sifat dari baja karbon rendah sangat tergantung pada kadar karbonnya. Baja karbon rendah juga disebut baja lunak. Tabel 2.1 berikut menunjukkan klasifikasi dari baja karbon:

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon
Sumber: Teknologi Pengelasan Logam (Wiryosumarto, H)

Jenis dan Kelas	Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm^2)	Kekuatan Tarik (kg/mm^2)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan	
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Plat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang kawat
	Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum
	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-45	32-22	112-145	
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat mesin
	Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	Perkakas
	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	Rel pegas, kawat piano

Baja lunak memiliki kekuatan tarik antara 30-50 kg/mm² dan umumnya dalam bentuk rolan. Baja ini memiliki sifat pengerjaan dan kekuatan yang sangat baik. Baja lunak dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

1. Baja rol panas untuk konstruksi umum.
2. Baja rol panas untuk konstruksi las.



2.5.3 Pengaruh Unsur-Unsur Paduan

Selain karbon, ada beberapa macam unsur paduan lain dalam baja yang kadarnya tergantung kebutuhan. Hal ini dimaksud untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang sesuai. Beberapa unsur yang sering terdapat dalam baja antara lain:

1. Carbon (C).

Unsur karbon sangat besar pengaruhnya pada diagram keseimbangan baja-karbon. Kandungan karbon pada baja menaikkan kekerasan dan menambah kekuatan tarik, selain itu unsur karbon dapat menurunkan keuletan dan sifat mampu las dari baja.

2. Silikon.

Si dan Mn adalah unsur-unsur yang selalu ada pada baja. Keberadaan Si pada baja maksimum 0,35%. Si menaikkan kekerasan dan elastisitas tetapi menurunkan kekuatan tarik dan keuletannya.

3. Mangan.

Unsur ini senantiasa ada pada seluruh jenis baja komersil. Berperan dalam meningkatkan kekuatan dan kekerasan, menurunkan laju pendinginan sehingga mampu keras baja dapat ditingkatkan. Baja

paduan mangan sangat rentan terhadap overheating karena butirannya mudah menjadi kasar.

4. Phospor.

Phospor pada baja karbon akan mengakibatkan kerapuhan dalam keadaan dingin.

5. Sulfur.

Prosentase tertinggi dari sulfur di dalam baja karbon sekitar 0,04%. Sulfur dapat mempengaruhi sifat rapuh- panas.

6. Chrom.

Cr merupakan unsur terpenting setelah C. Cr meningkatkan ketahanan korosi karena dapat membentuk lapisan oksida Cr dipermukaan baja. Meningkatkan mampu keras baja, kekuatan tarik, dan ketangguhan.

7. Nikel.

Nikel merupakan salah satu unsur paduan yang penting untuk meningkatkan kekuatan dan ketangguhan baja. Jika berada dalam jumlah yang memadai, Ni dapat memperbaiki sifat mekanik. Jika jumlah Ni relatif banyak, maka austenit pada baja akan stabil sampai temperatur kamar. Ni tidak membentuk karbida dan tidak berpengaruh terhadap kekerasan. Ni memperbaiki ketahanan korosi.

8. Molibden.

Mo sangat besar sekali pengaruhnya terhadap mampu keras dibanding dengan unsur paduan yang lain (kecuali Mn). Akibat penambahan Mo, dalamnya pengerasan dari baja meningkat karena laju

pendinginan kritisnya menjadi turun. Mo dapat membentuk karbida sehingga dapat meningkatkan ketahanan terhadap keausan, meningkatkan ketangguhan dan kekuatan pada temperatur tinggi.

9. Wolfram.

W membentuk karbida kompleks. Baja paduan W memiliki kekerasan yang tinggi, tahan abrasi, kekuatan dan kekerasan pada temperatur tinggi yang baik. W juga menyebabkan transformasi austenit ke martensit menjadi lambat dan dapat memperlambat tumbuhnya butiran.

10. Vanadium.

Vanadium dapat meningkatkan kekuatan tarik, batas mulur serta memperbaiki rasio diantara kekuatan tarik dan mulur. V merupakan unsur pembentuk karbida yang kuat dan karbida yang terbentuk sifatnya sangat stabil.

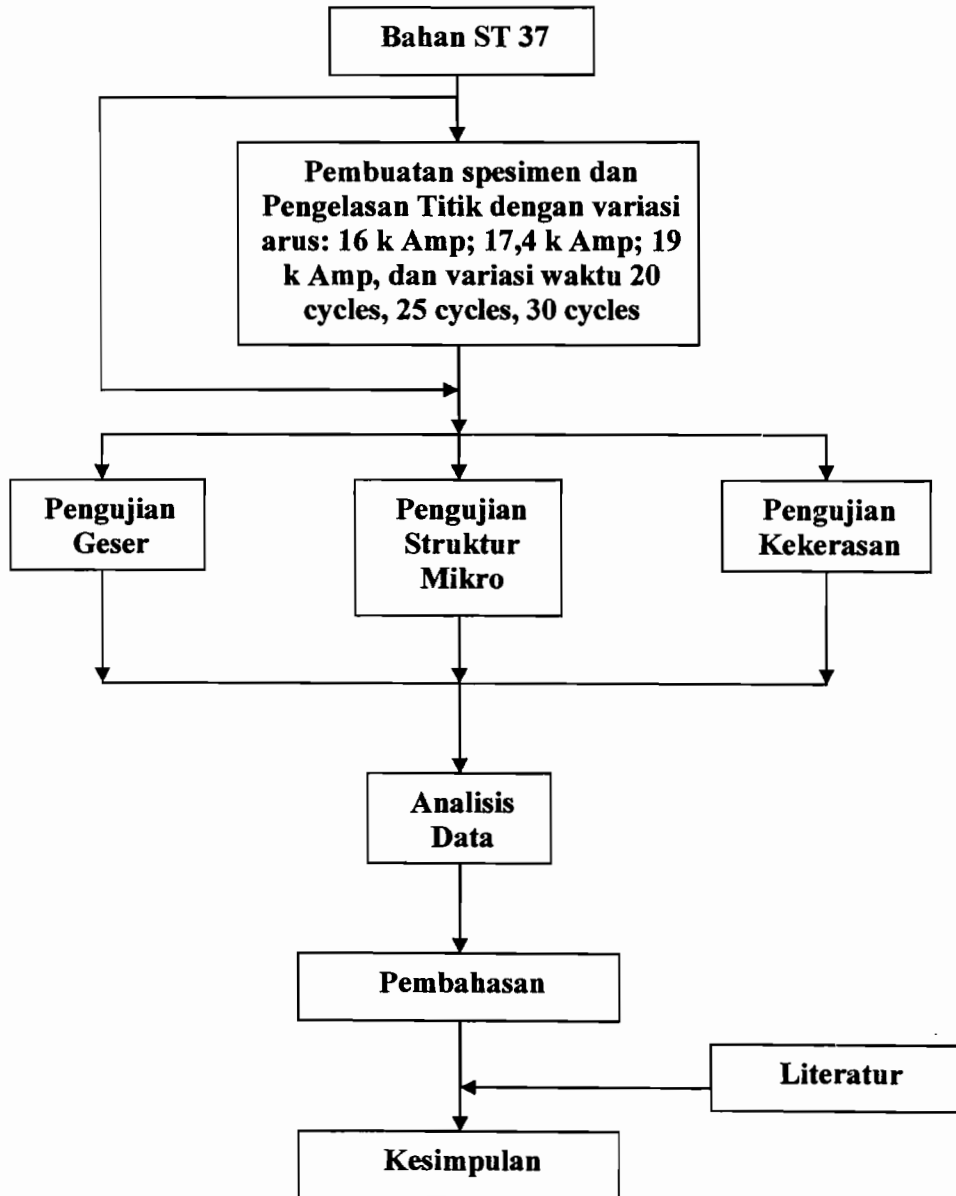
2.5.4 Sifat Mampu Las Baja Karbon Rendah

Faktor yang sangat berpengaruh terhadap sifat mampu las baja adalah kekuatan takik dan kepekaan terhadap terhadap retak las. Kekuatan takik pada baja dapat dipertinggi dengan menurunkan kadar karbon dan menaikkan unsur mangan dalam baja.

Baja karbon rendah memiliki kepekaan retak las yang cukup rendah. Hal ini karena unsur karbon yang terdapat dalam baja sedikit. Pada pengelasan plat tebal, atau pada kadar belerang bebas yang tinggi, retak las dapat mudah terjadi.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Skema Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah ST 27, dengan dimensi plat $120 \times 30 \times 3$ mm.

3.3 Kriteria Pengelasan

Kriteria pengelasan untuk tiap variasi lasan:

Variasi 1: I = 16 k Amp, P = 6 bar t = 20 cycles

t = 25 cycles

t = 30 cycles

Variasi 2: I = 17,4 k Amp, P = 6 bar t = 20 cycles

t = 25 cycles

t = 30 cycles

Variasi 3: I = 19 k Amp, P = 6 bar t = 20 cycles

t = 25 cycles

t = 30 cycles

Setiap variasi dibuat 4 macam spesimen.

3.4 Proses Pembuatan Benda Uji

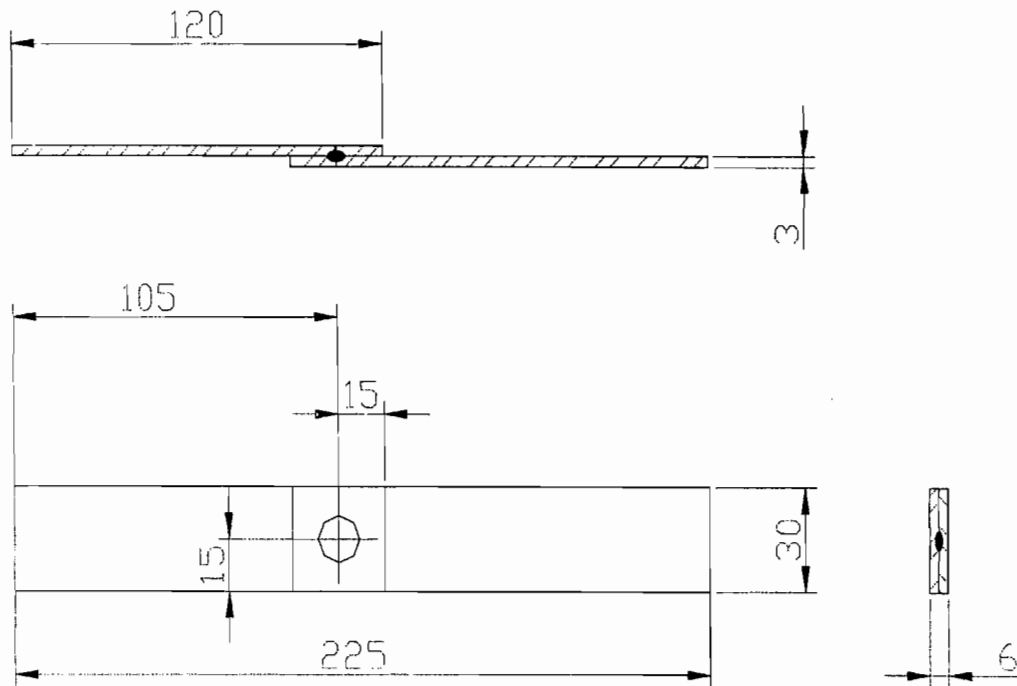
Benda uji yang akan diuji, harus dipersiapkan terlebih dahulu. Langkah-langkah persiapan sebagai berikut:

1. Persiapan permukaan.

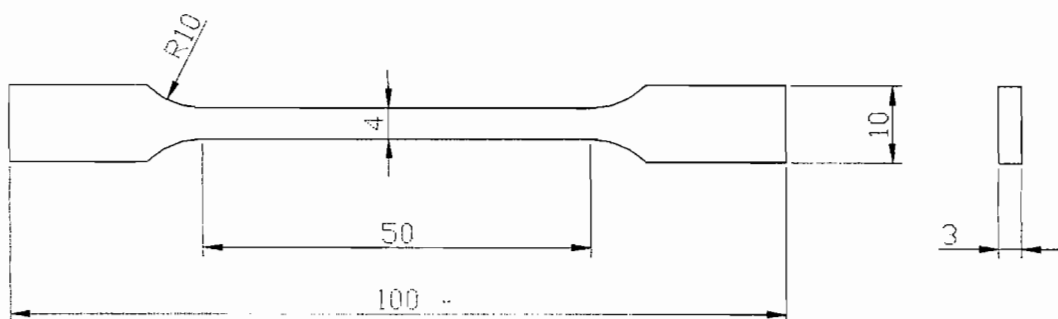
Bagian permukaan yang akan dilas, harus dibersihkan dari debu, minyak, oli dan kotoran lainnya.

2. Bentuk dan dimensi spesimen.

Sebelum pengelasan dilakukan, plat dipotong sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan, seperti pada gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Gambar Bentuk Spesimen Las



Gambar 3.3 Gambar Bentuk Spesimen Mula-mula

3.5 Proses Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan pada spesimen yang telah dibersihkan dari oli, kotoran dan sebagainya supaya tidak terjadi hambatan pada permukaan sentuh, baik antara benda kerja maupun elektroda. Setelah itu pengelasan dapat dilakukan sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan

3.6 Pengujian Bahan

Pengujian-pengujian yang diperlakukan terhadap bahan ini adalah: pengujian tarik, analisis mikro, dan pengujian kekerasan Brinell.

3.6.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik pada penelitian ini bekerja gaya geser. Hal ini ditandai dengan langsung lepasnya kedua logam tepat pada nugget. Pada pengujian ini yang diamati adalah kekuatan gesernya. Pembebanan yang terjadi pada pengujian ini dilakukan dengan cara menambahkan beban secara terus menerus sampai benda uji putus. Untuk mengetahui tegangan geser maksimum dari sambungan adalah dengan membagi gaya geser maksimum dengan luas nugget maksimum yang terjadi, yaitu:

$$\sigma_{\max} = F_{\max} / A_{\max}$$

Dimana, σ_{\max} = Tegangan geser maksimum (kg /mm²)

F_{\max} = Gaya geser maksimum (kg)

A_{\max} = Luas nugget maksimum (mm²)

3.6.2 Pengamatan Struktur Mikro

Pada analisis struktur mikro digunakan mikroskop yang khusus dipakai untuk melihat struktur mikro logam.

Langkah penelitian

a. Mempersiapkan bahan uji

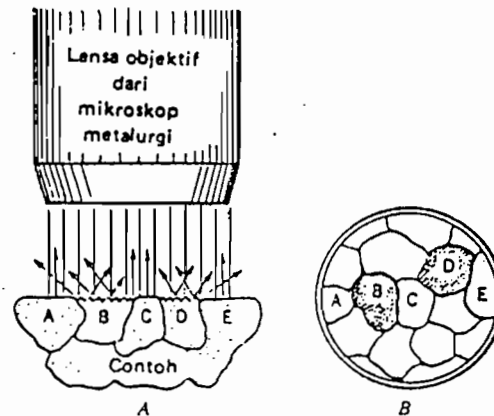
Bahan uji dibersihkan pada permukaannya sampai bersih, kemudian diampas dengan menggunakan ampas ukuran 800 dan 1500. setelah itu digosok dengan autosol dengan kain bersih hingga permukaannya menjadi mengkilap. Untuk mengetahui struktur dan bercak pada baja yang akan difoto mikro terlebih dahulu baja dimasukkan dalam larutan alkohol dan HNO_3 dalam beberapa menit. Ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan permukaan baja setelah digosok dengan autosol atau batu hijau sehingga baja tidak mengkilap.

b. Pelaksanaan penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma. Dengan menggunakan mikroskop kita dapat meneliti permukaan logam yang telah dipolis. Apabila benda uji belum dapat dilihat bahan tersebut perlu digosok lagi dengan autosol.

Pada gambar dibawah ini akan tampak arah pemantulan cahaya akibat etsa. Bila cahaya yang dipantulkan masuk kedalam lensa mikroskop, permukaan tampak dengan jelas. Bila berkas yang dipantulkan dan tidak mengenai lensa, daerah itu akan tampak hitam. Batas butir tampak seperti alur mengelilingi setiap butir dan cahaya tidak dipantulkan

kedalam lensa, jadi batas butir tampak seperti garis-garis hitam.



Gambar 3.4 Arah Pemantulan Cahaya

c. Tujuan analisis struktur mikro

Analisis struktur mikro ini bertujuan untuk:

1. Memeriksa struktur logam.
2. Mengetahui perubahan struktur mikro pada daerah *nugget*, *HAZ*, dan material induk karena pengaruh sifat fisis selama proses pengelasan.

3.6.3 Pengujian Kekerasan Brinell

Pengujian kekerasan Brinell dilakukan dengan menggunakan penjejak bola baja dengan diameter yang telah ditentukan sesuai dengan tebal dari benda uji. Penekanan dilakukan pada permukaan benda uji yang telah dihaluskan dan dibersihkan permukaannya. Hasil penekanan dicatat diameternya dan kekerasan

(HB) dihitung dari perbandingan antara gaya P dan luas A dari segmen bola penekanan.

Besar beban yang bekerja pada penetrator tergantung pada:

1. Diameter penetrator
2. Jenis logam benda uji

Langkah penelitian uji kekerasan Brinell

- a. Alat uji yang digunakan

Type = 100 MR

Buatan = Italy

- b. Mempersiapkan bahan uji

Bahan uji dibersihkan sampai halus menggunakan amplas hingga permukaan jadi rata. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 2 titik pada tiap daerah, yaitu pada daerah *nugget*, *HAZ*, dan logam induk pada setiap variasi.

- c. Pelaksanaan pengujian

Pengujian dilakukan di laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma. Benda yang telah siap diletakan pada alat uji, kemudian ditekan dengan gaya 62,5 kg oleh bola baja sebagai penetrator dengan diameter bola 2,5 mm dan dibiarkan sampai kurang lebih 30 detik. Setelah mendapat beban injakan kita gunakan lup mikrometer untuk meneliti besar injakan dari bola baja tersebut, kemudian besar injakan tersebut dicatat.

Hasil pengujian ini kurang maksimal jika:

1. Bola baja kurang keras.

2. Bola baja sudah tidak bulat dan diameternya berubah.
3. Disekitar bekas injakan terjadi kenaikan permukaan benda uji sehingga mengurangi ketelitian pengukuran bekas injakan.

Tujuan dari pengujian kekerasan ini adalah untuk mengetahui dan membandingkan kekerasan pada daerah nugget, daerah las dan material induk.

BAB IV

DATA PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Pengujian Tarik

Dari Pengujian tarik ini adalah untuk mengetahui beban maksimum (*maximum load*) yang dihasilkan oleh mesin uji tarik untuk setiap spesimen. Data-data yang diambil dalam penelitian ini adalah data beban maksimum, sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Tarik Material Awal

No	Material Awal	Spesimen	Max Load (kg)	Penampang (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Kekuatan Tarik Rata-rata (kg/mm ²)
1	ST 37	1	435	4 × 3	12	36,25	36,31
		2	440	4 × 3	12	36,75	
		3	431	4 × 3	12	35,92	

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Tiap Kombinasi Las

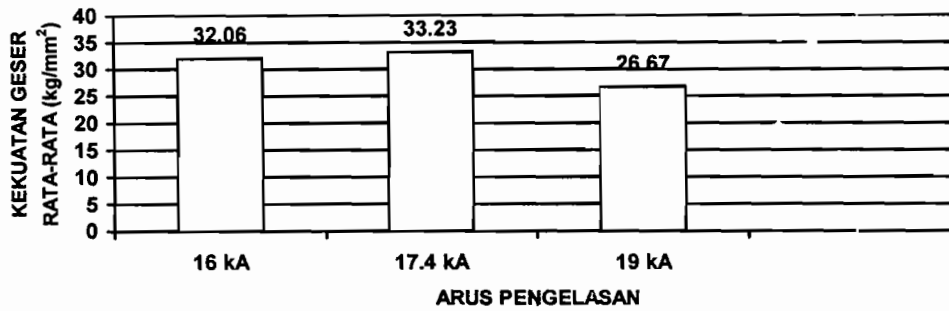
No	Kombinasi Spesimen	Spesimen	Max Load (kg)	Ø nugget (mm)	Luas Nugget (mm ²)	Kekuatan geser (kg/mm ²)	Kekuatan Geser Rata-rata (kg/mm ²)
1	16 KA 20 cycle 6 bar	A1	1724	8,15	52,17	33,04	32,06
		A2	1723	8,20	52,81	32,62	
		A3	1652	8,30	54,11	30,53	
2	16 KA 25 cycle 6 bar	B1	1718	8,80	60,80	28,26	31,04
		B2	1792	8,65	58,76	30,49	
		B3	1950	8,50	56,75	34,36	
3	16 KA 30 cycle 6 bar	C1	2105	9,10	65,04	32,36	30,66
		C2	1846	9,00	63,62	29,01	
		C3	2066	9,10	65,04	31,76	
4	17,4 KA 20 cycle 6 bar	D1	1755	8,20	52,80	33,23	33,23
		D2	1742	8,50	56,70	30,72	
		D3	1933	8,30	54,10	35,73	

No	Kombinasi Spesimen	Spesimen	Max Load (kg)	Ø nugget (mm)	Luas Nugget (mm ²)	Kekuatan geser (kg/mm ²)	Kekuatan Geser Rata-rata (kg/mm ²)
5	17,4 KA 25 cycle 6 bar	E1	2142	9,10	65,10	32,95	33,15
		E2	2139	9,00	63,62	33,62	
		E3	2093	9,00	63,62	32,90	
6	17,4 KA 30 cycle 6 bar	F1	2283	9,90	77,00	29,64	29,68
		F2	2303	9,65	73,10	31,50	
		F3	2104	9,80	75,40	27,90	
7	19 KA 20 cycle 6 bar	G1	2110	9,90	77,00	27,40	26,67
		G2	2085	9,95	77,76	26,81	
		G3	2026	10,00	78,54	25,79	
8	19 KA 25 cycle 6 bar	H1	2009	10,10	80,10	25,08	25,72
		H2	2165	10,15	80,90	26,75	
		H3	2111	10,30	83,30	25,34	
9	19 KA 30 cycle 6 bar	I1	2239	10,30	83,30	26,87	27,71
		I2	2395	10,35	84,13	28,46	
		I3	2339	10,35	84,13	27,80	

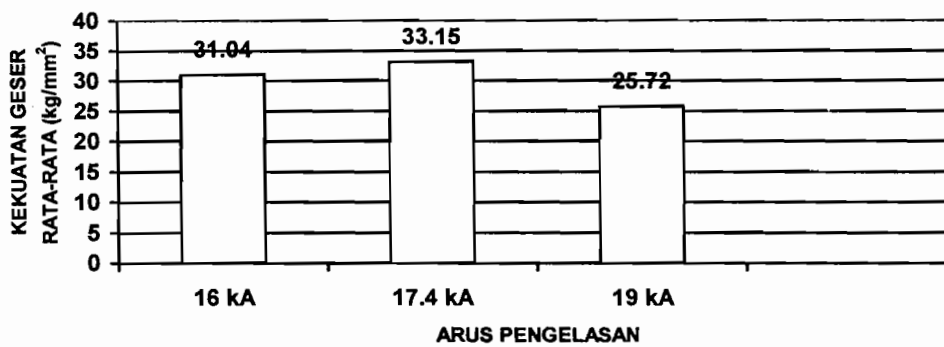
Dengan meningkatnya arus dan waktu yang digunakan, beban maksimum meningkat, juga diikuti dengan meningkatnya luas nugget tetapi hal ini tidak diikuti oleh kenaikan tegangan gesernya. Dari rumus dasar $\tau_{\max} = F_{\max} / A_{\max}$ diketahui: tegangan geser berbanding lurus dengan beban maksimum dan berbanding terbalik dengan luas nugget, sehingga dapat disimpulkan, luas nugget sangat mempengaruhi kenaikan Tegangan Geser.

Besar arus pengelasan dan waktu pengelasan sangat mempengaruhi beban maksimum yang mampu ditahan oleh lasan tersebut, hal ini disebabkan karena pembangkitan panas yang dihasilkan lebih besar. Secara teoritis, dalam rumus dasar diketahui: $Q = I^2 \times R \times T$, faktor kuadrat dari arus akan melipat gandakan pembangkit panas. Panas yang tinggi akan memperluas daerah cair, dan memperluas *nugget* yang terbentuk sehingga mempertinggi beban maksimum.

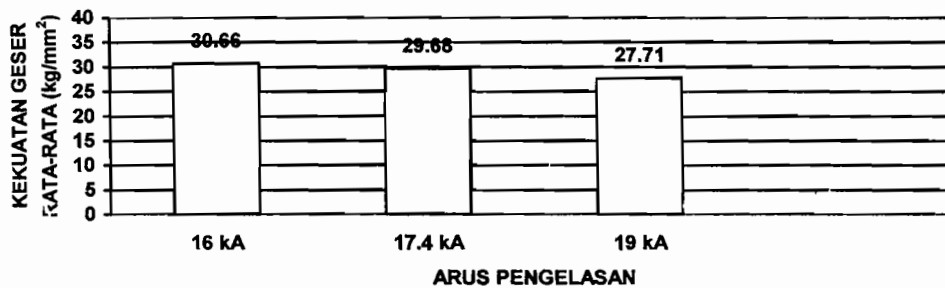
Diagram Uji Tarik



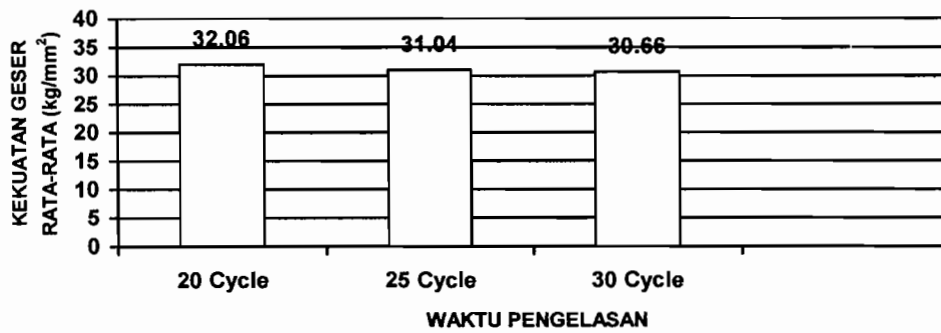
Gambar 4.1a Diagram Pengaruh Arus pada Tegangan Geser (Weld Time 20 Cycle)



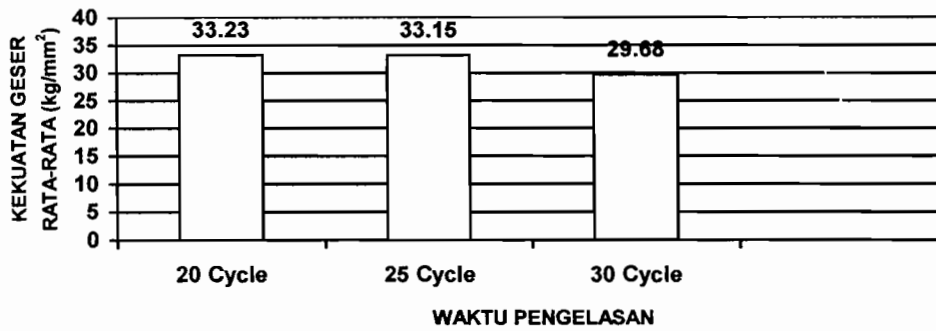
Gambar 4.1b Diagram Pengaruh Arus pada Tegangan Geser (Weld Time 25 Cycle)



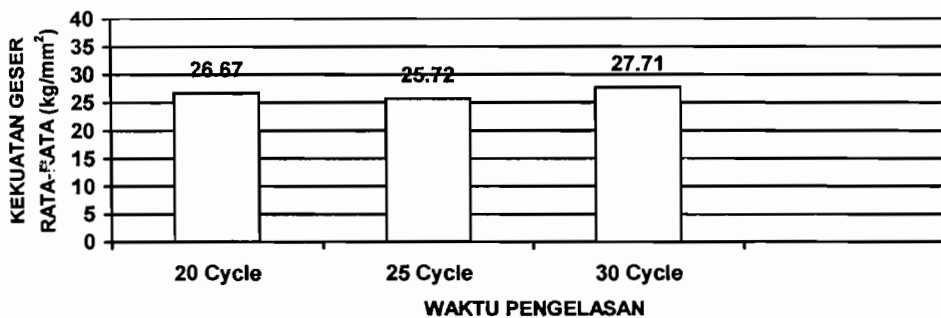
Gambar 4.1c Diagram Pengaruh Arus pada Tegangan Geser (Weld Time 30 Cycle)



Gambar 4.2a Diagram Pengaruh Weld Time pada Tegangan Geser (Arus 16 kA)



Gambar 4.2b Diagram Pengaruh Weld Time pada Tegangan Geser (Arus 17,4 kA)

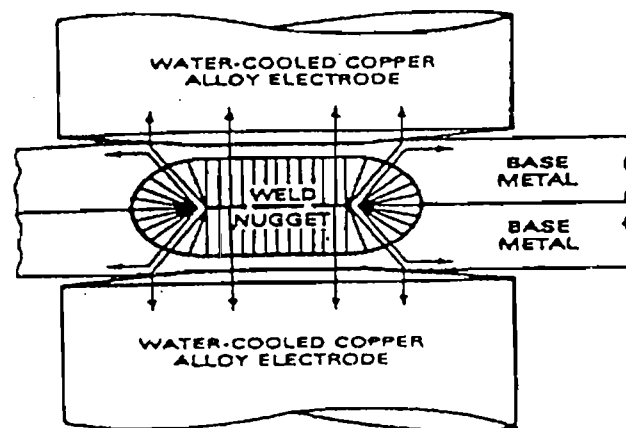


Gambar 4.2c Diagram Pengaruh Weld Time pada Tegangan Geser (Arus 19 kA)

Dari pengamatan diatas didapat: penggunaan arus pengelasan yang kecil, kekuatan geser yang terjadi rendah, arus pengelasan dinaikkan, kekuatan gesernya ikut naik, dan akhirnya pada arus pengelasan yang lebih besar lagi, kekuatan gesernya kembali turun.

Pada saat arus mengalir, arus terfokus melewati permukaan plat yang tertekan dibawah elektroda, sehingga panas yang timbul akan terjadi tepat pada daerah dibawah elektroda. Hal ini menyebabkan perbedaan distribusi panas pada daerah tersebut, yang pada akhirnya menimbulkan terjadinya perubahan bentuk yang bersifat *stress raiser*, karena akumulasi tegangan disekitar tepi batas las dengan daerah sekitar las.

Untuk menjelaskan fenomena dari distribusi panas pada pengelasan titik ini dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut:

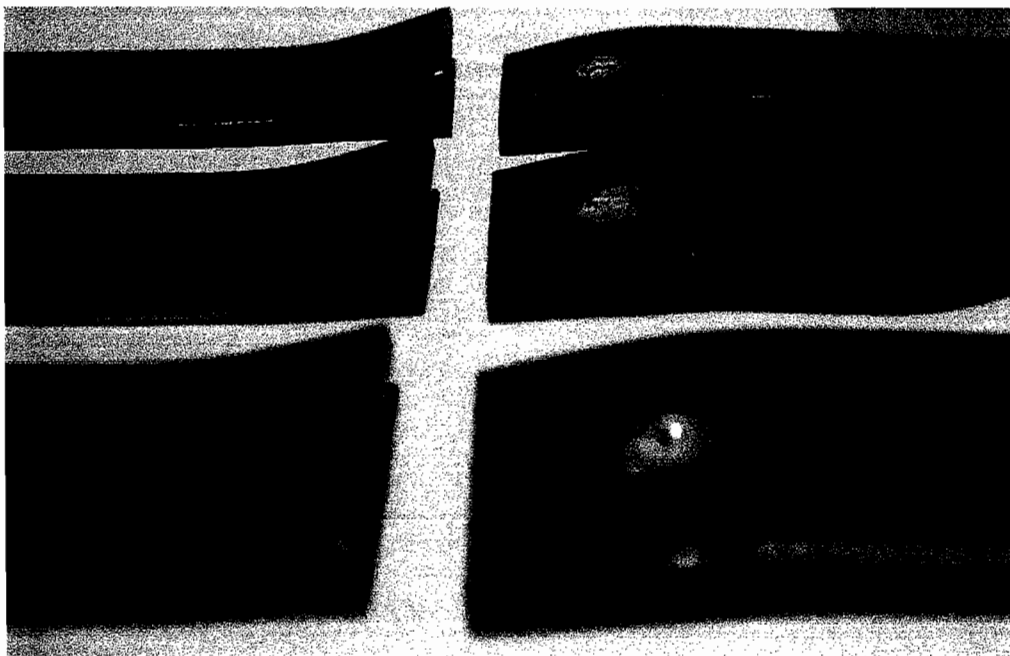


Gambar 4.3 Distribusi Panas pada Pengelasan Titik
Principles of Welding, Process, Physics, Chemistry and Metallurgy.
(Messler Robert W. Jr.)

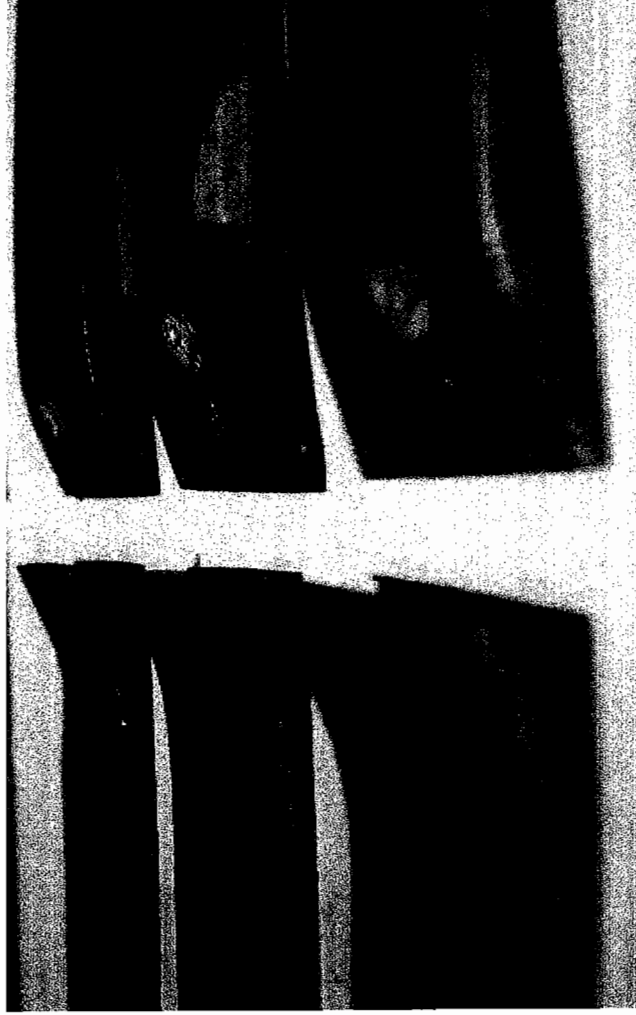
Gambar Hasil Uji Tarik



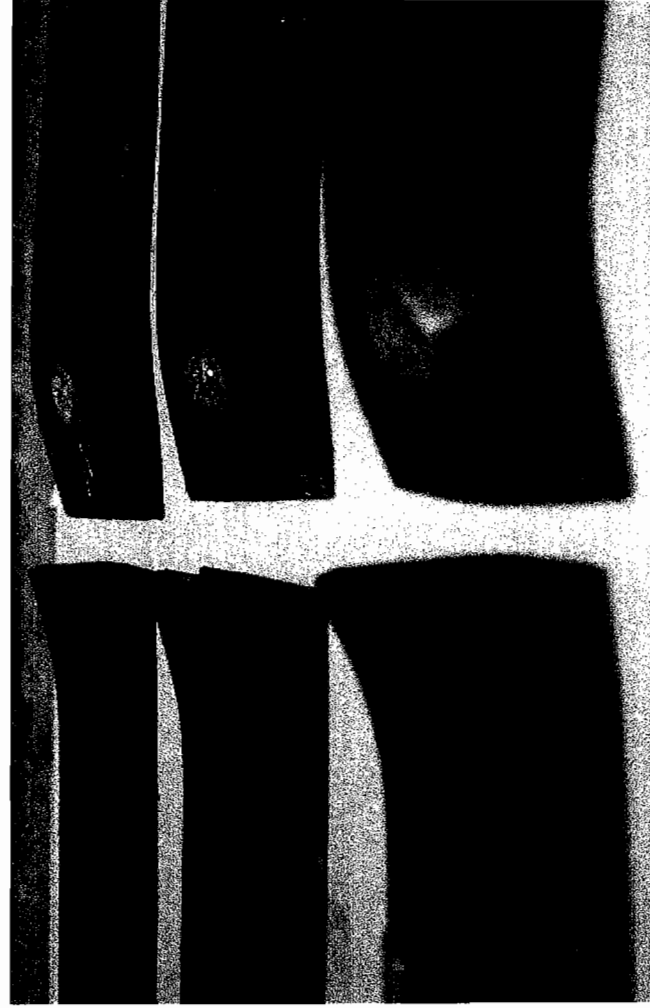
Gambar 4.4 Hasil Pengujian Tarik Material Awal



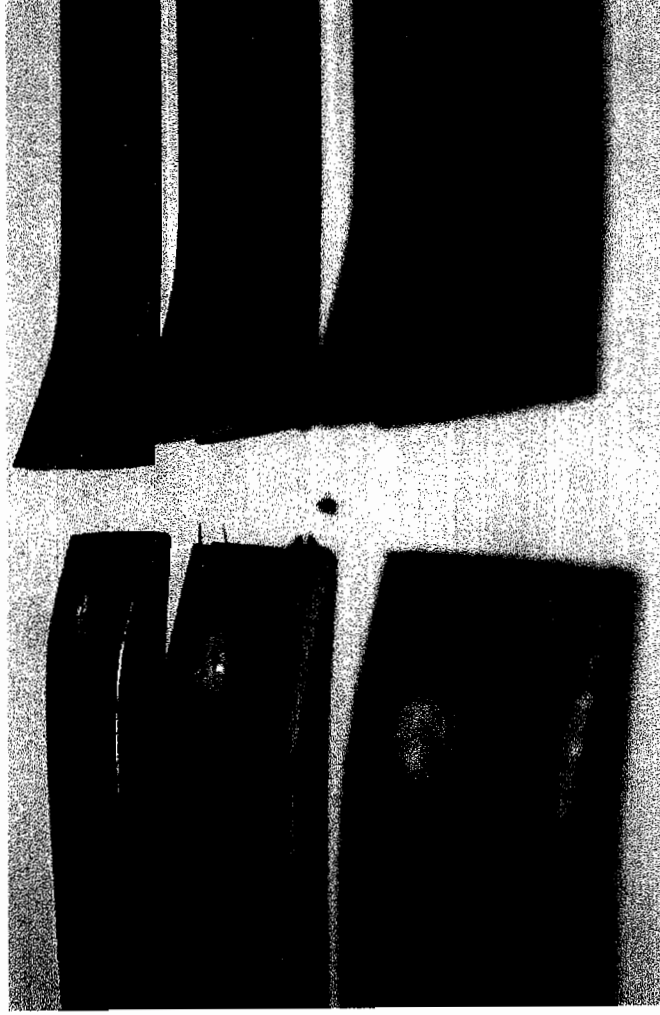
Gambar 4.5a Foto Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan 16 kA 20 Cycle



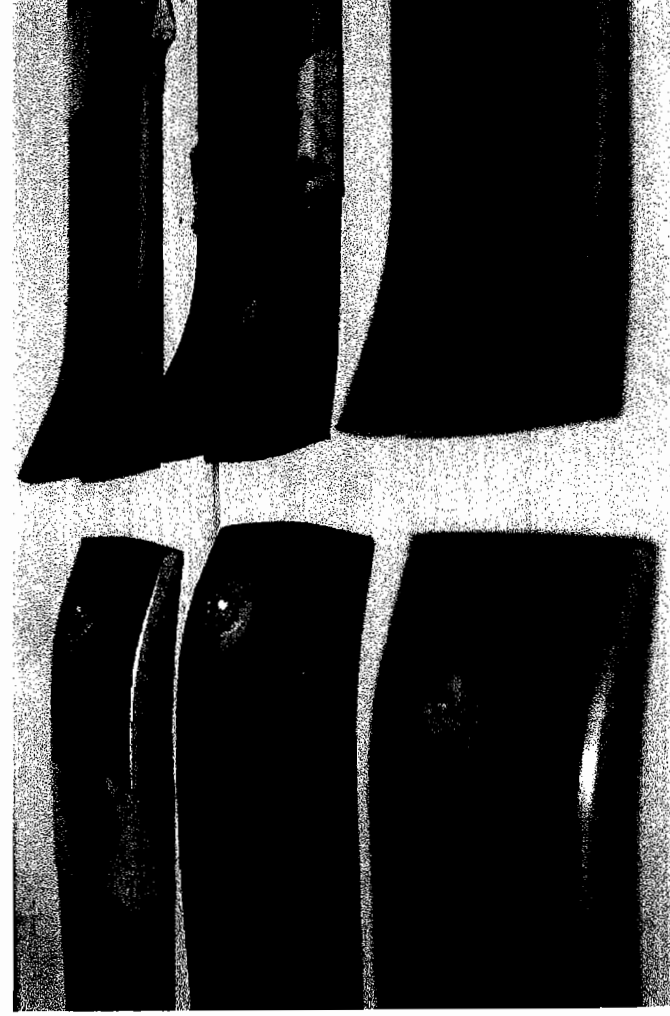
Gambar 4.5b Foto Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan 16 kA 25 Cycle



Gambar 4.5c Foto Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan 16 kA 30 Cycle



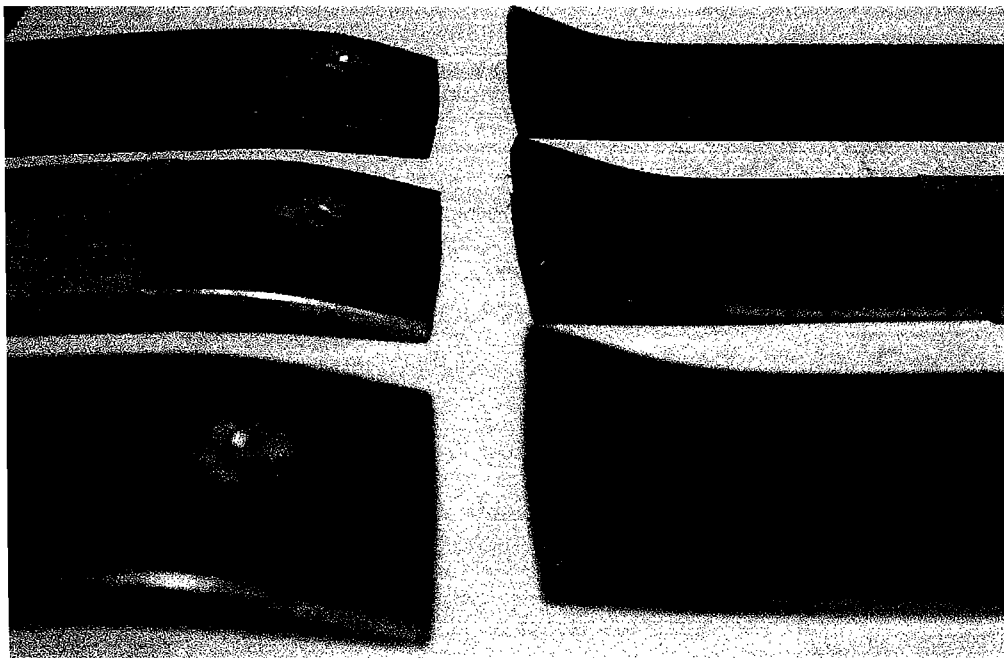
Gambar 4.5d Foto Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan 17,4 kA 20 Cycle



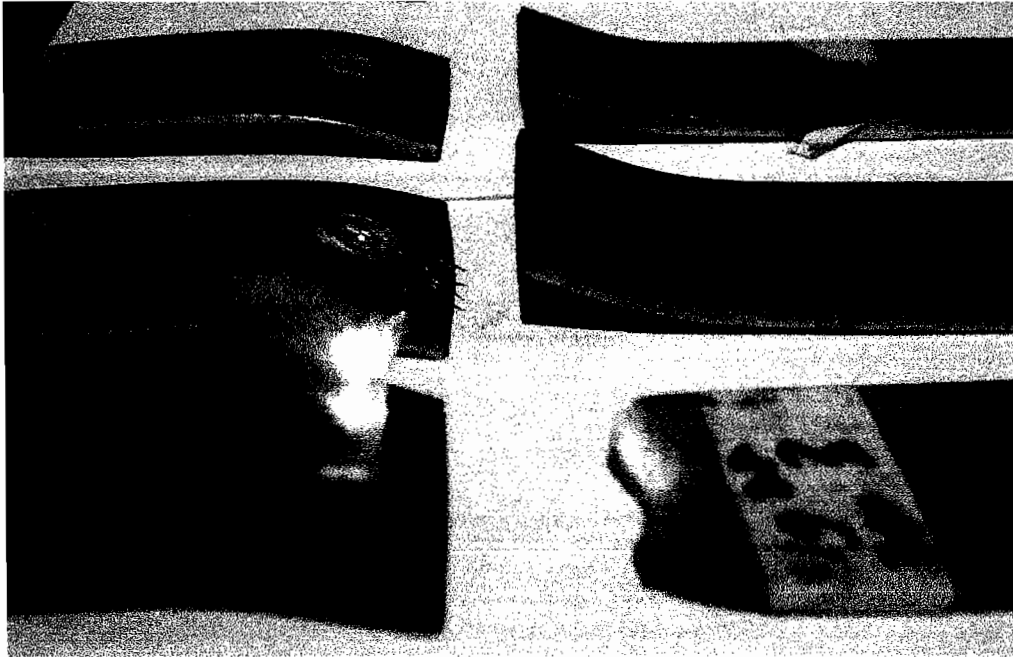
Gambar 4.5e Foto Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan 17,4 kA 25 Cycle



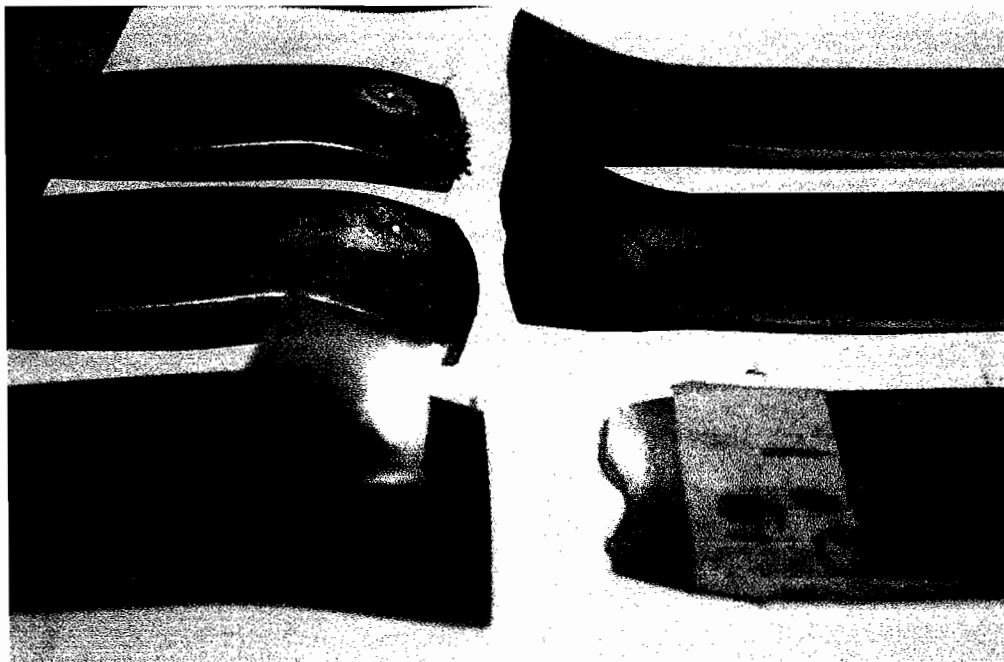
Gambar 4.5f Foto Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan 17,4 kA 30 Cycle



Gambar 4.5g Foto Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan 19 kA 20 Cycle



Gambar 4.5h Foto Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan 19 kA 25 Cycle



Gambar 4.5i Foto Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan 19 kA 30 Cycle

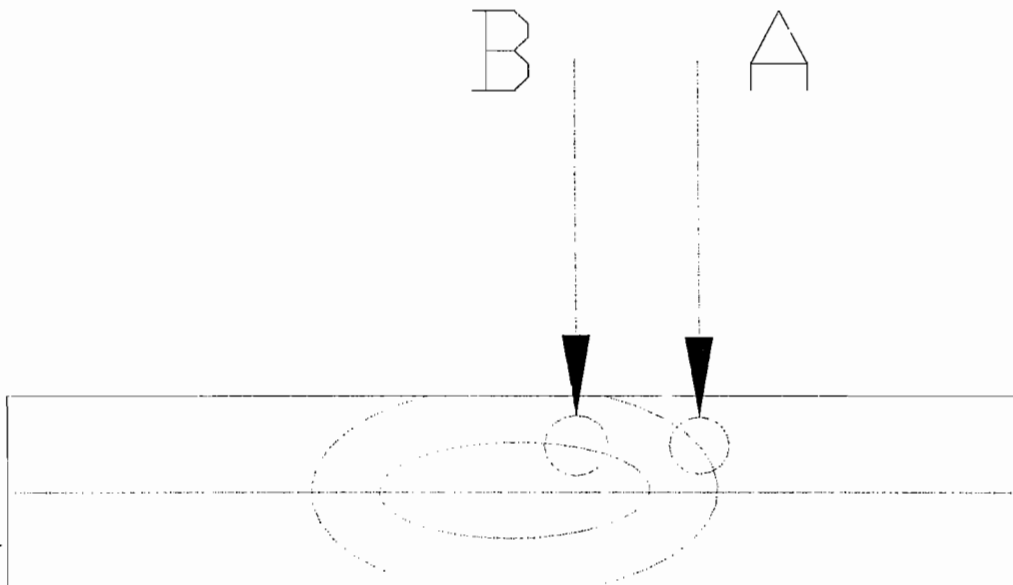
4.2 Analisis Data Struktur Mikro

Pada pengujian ini material las yang telah memenuhi kriteria pemotretan, difoto dengan pembesaran 100 kali. Dari hasil pengujian ini dapat dibandingkan struktur yang terjadi selama proses pengelasan.

Berikut ini adalah daerah pengambilan gambar dari pengujian struktur mikro berdasarkan daerah A, B, Dengan:

A: adalah daerah pengambilan gambar struktur mikro Material induk dan *HAZ*

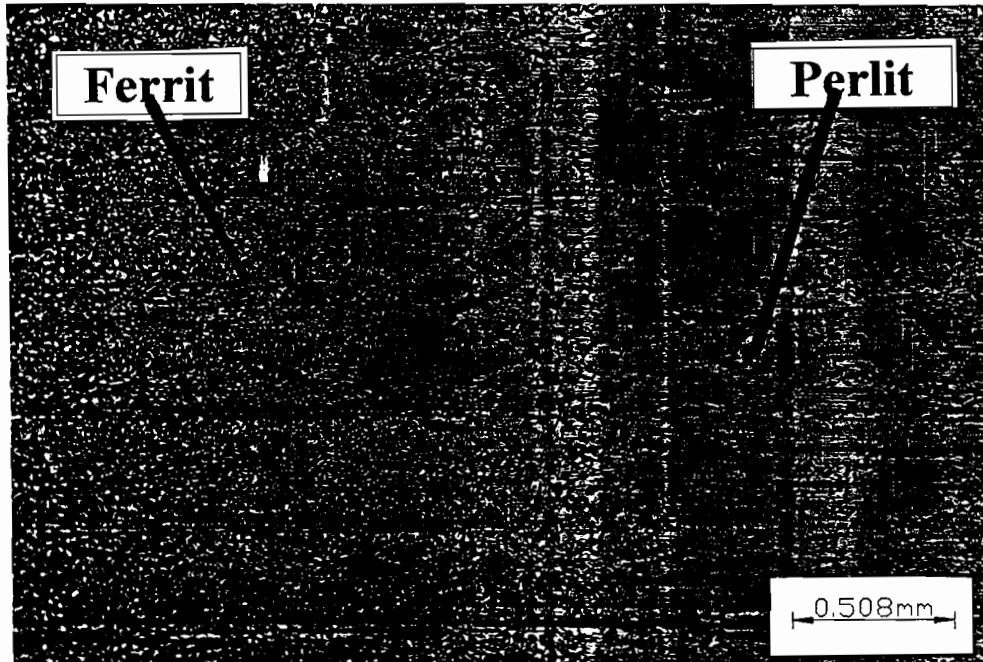
B: adalah daerah pengambilan gambar struktur mikro *HAZ* dan *nugget*



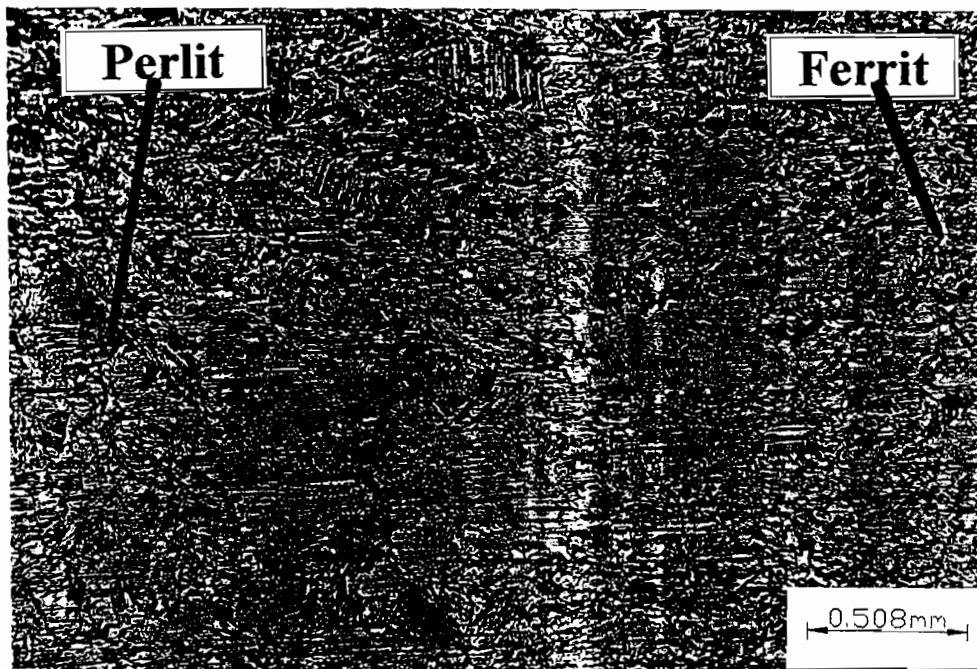
Gambar 4.6 Daerah Pemotretan Mikro

Setelah menentukan daerah mana yang akan diamati, langkah selanjutnya adalah pengambilan gambar sesuai yang telah disarankan. Gambar 4.7a sampai dengan gambar 4.15b adalah hasil pengamatan uji mikro mulai dari daerah A, B.

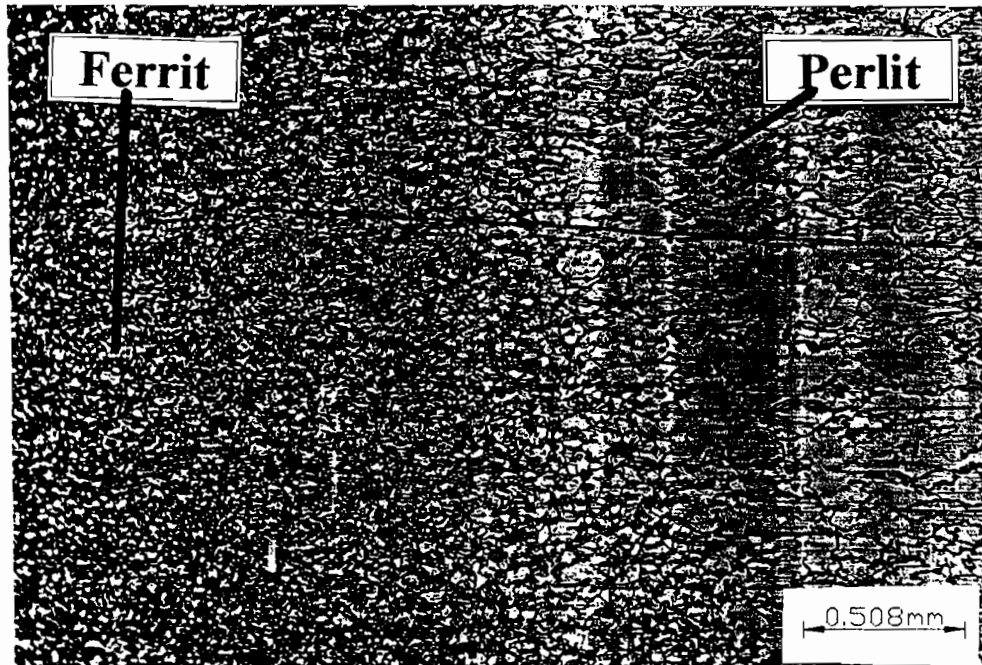
Foto Struktur Mikro



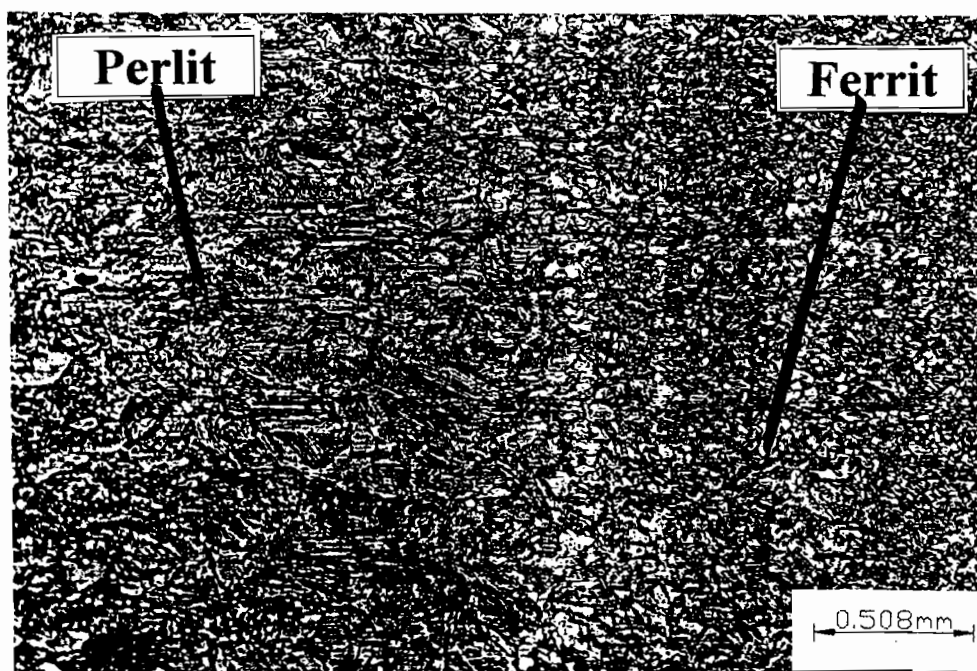
Gambar 4.7a Struktur Mikro Daerah A, pada Spesimen 16 kA, 20 Cycle



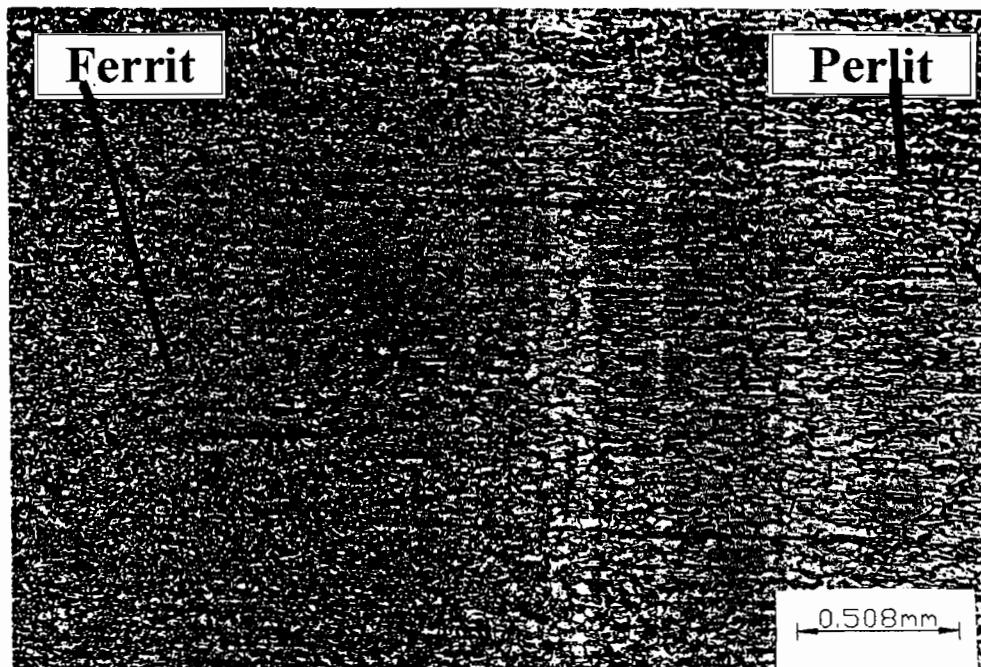
Gambar 4.7b Struktur Mikro Daerah B, pada Spesimen 16 kA, 20 Cycle



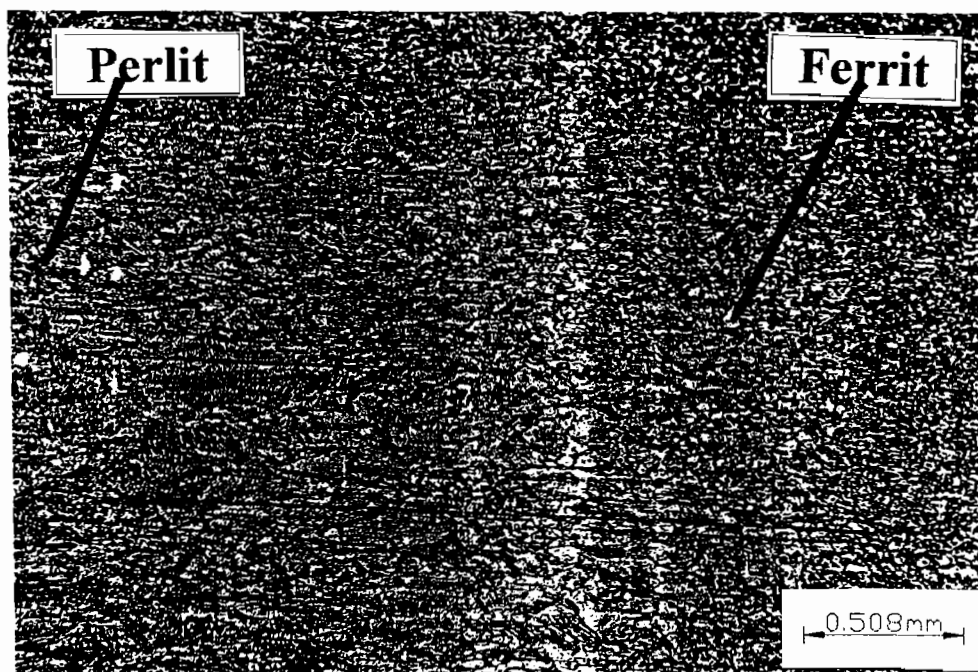
Gambar 4.8a Struktur Mikro Daerah A, pada Spesimen 16 kA, 25 Cycle



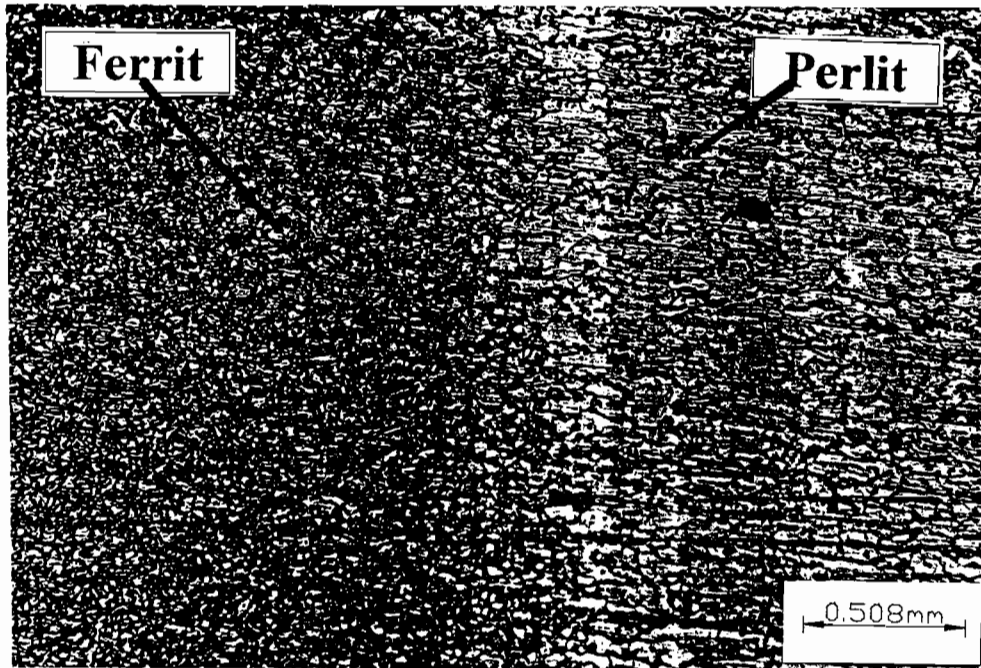
Gambar 4.8b Struktur Mikro Daerah B, pada Spesimen 16 kA, 25 Cycle



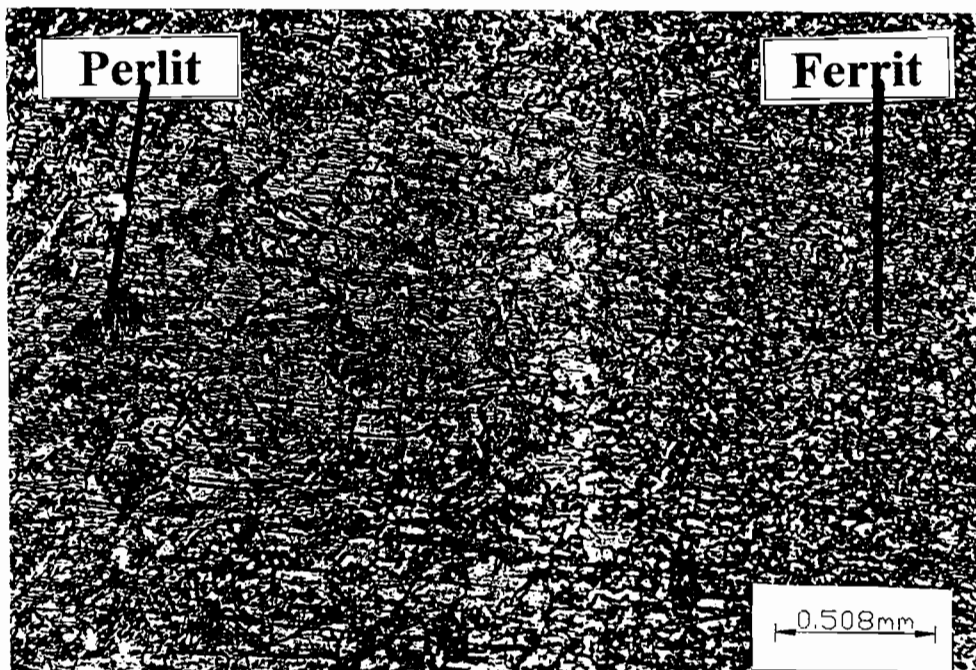
Gambar 4.9a Struktur Mikro Daerah A, pada Spesimen 16 kA, 30 Cycle



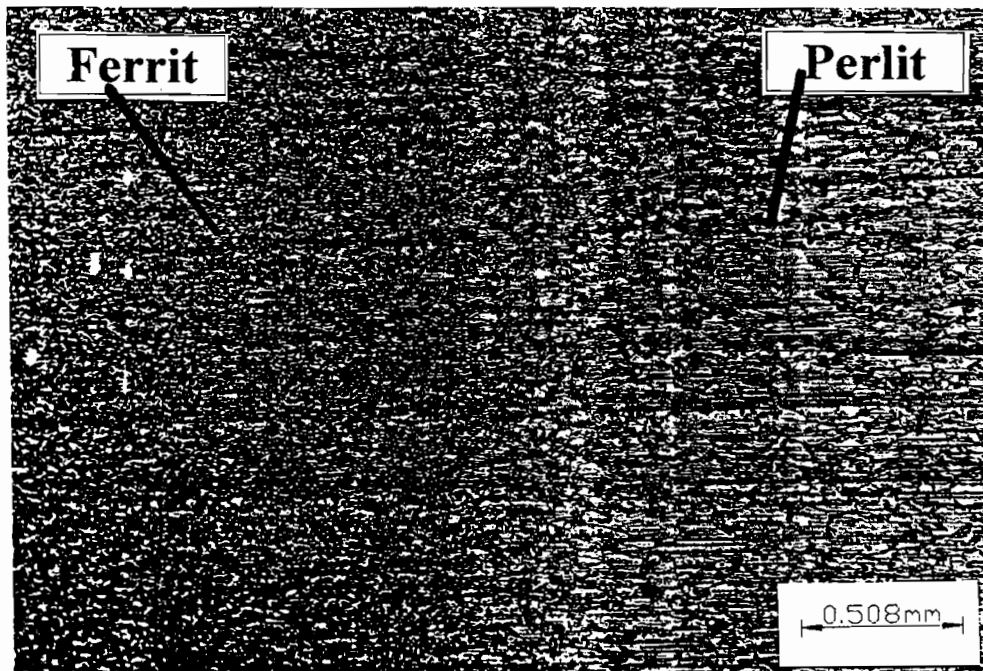
Gambar 4.9b Struktur Mikro Daerah B, pada Spesimen 16 kA, 30 Cycle



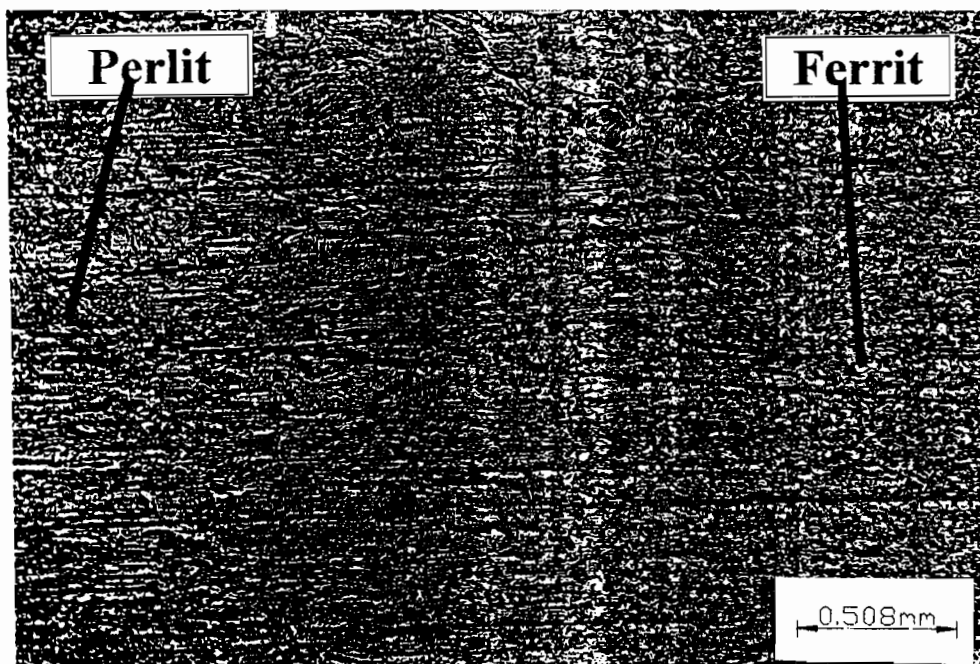
Gambar 4.10a Struktur Mikro Daerah A, pada Spesimen 17,4 kA, 20 Cycle



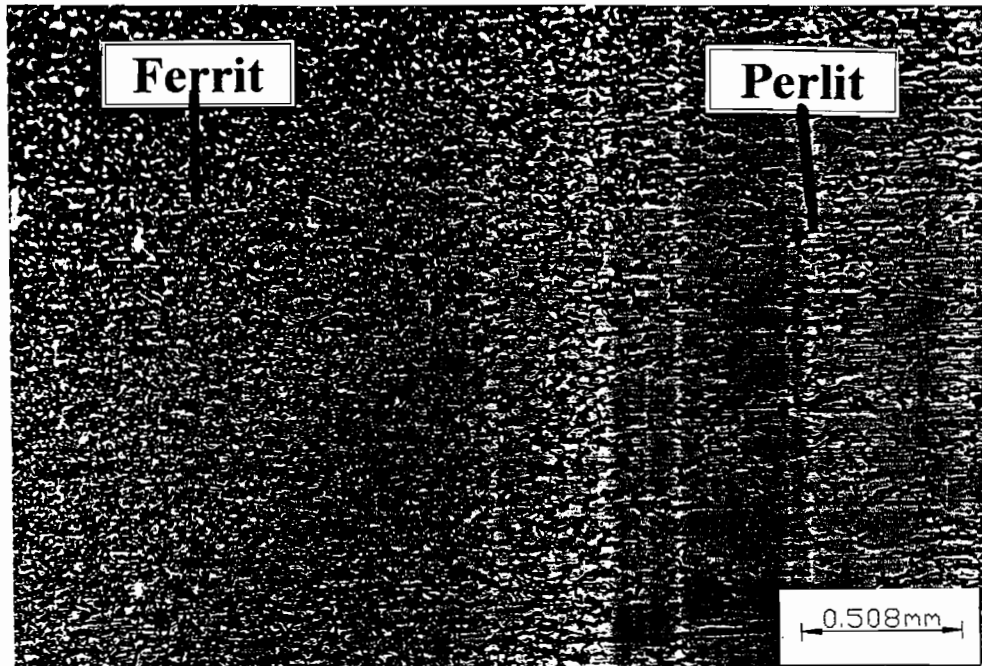
Gambar 4.10b Struktur Mikro Daerah B, pada Spesimen 17,4 kA, 20 Cycle



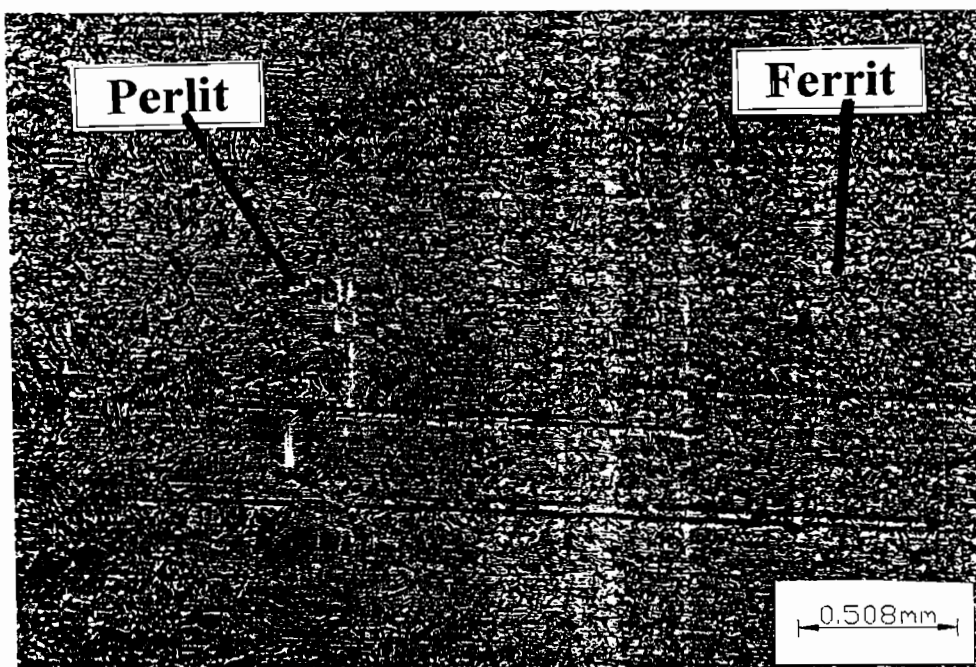
Gambar 4.11a Struktur Mikro Daerah A, pada Spesimen 17,4 kA, 25 Cycle



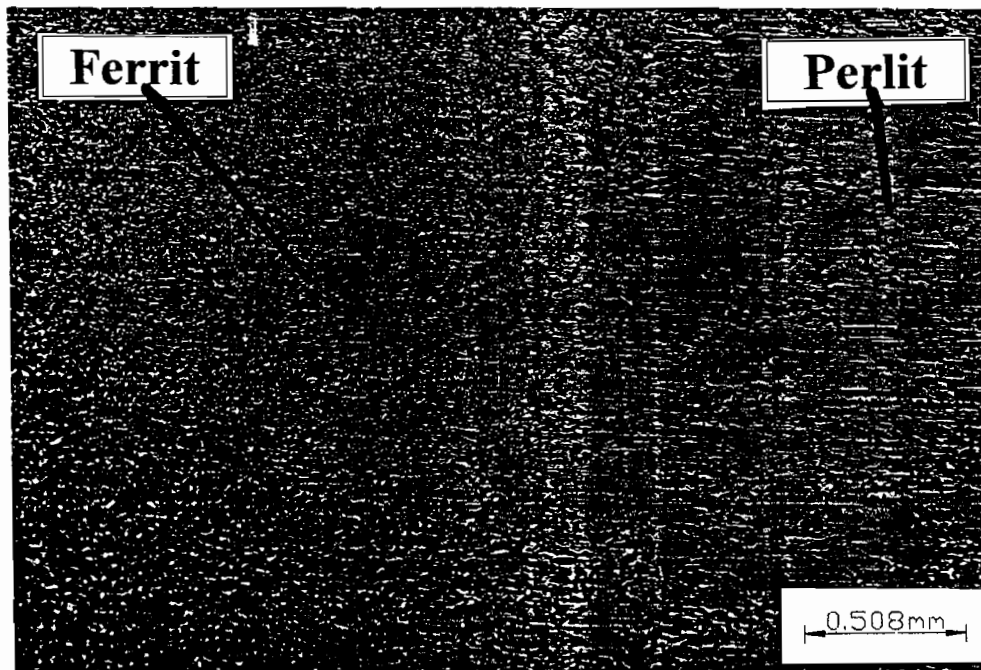
Gambar 4.11b Struktur Mikro Daerah B, pada Spesimen 17,4 kA, 25 Cycle



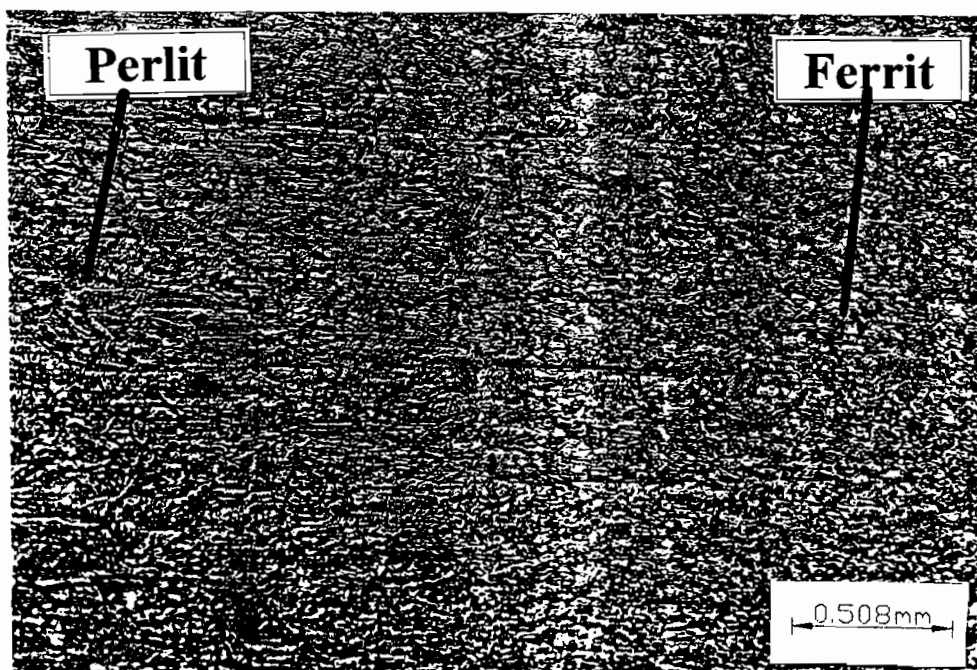
Gambar 4.12a Struktur Mikro Daerah A, pada Spesimen 17,4 kA, 30 Cycle



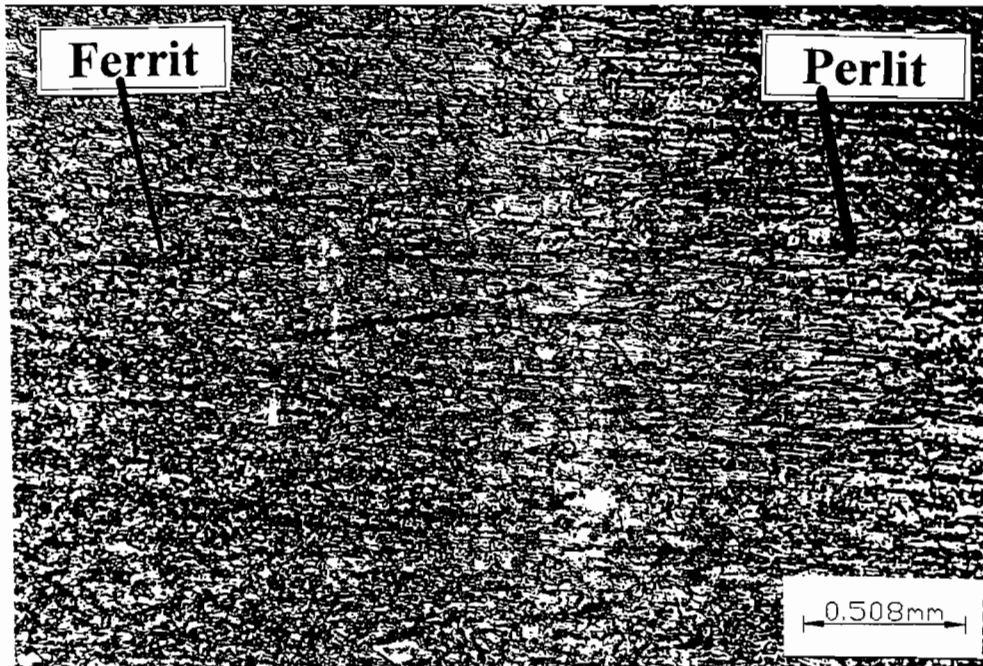
Gambar 4.12b Struktur Mikro Daerah B, pada Spesimen 17,4 kA, 30 Cycle



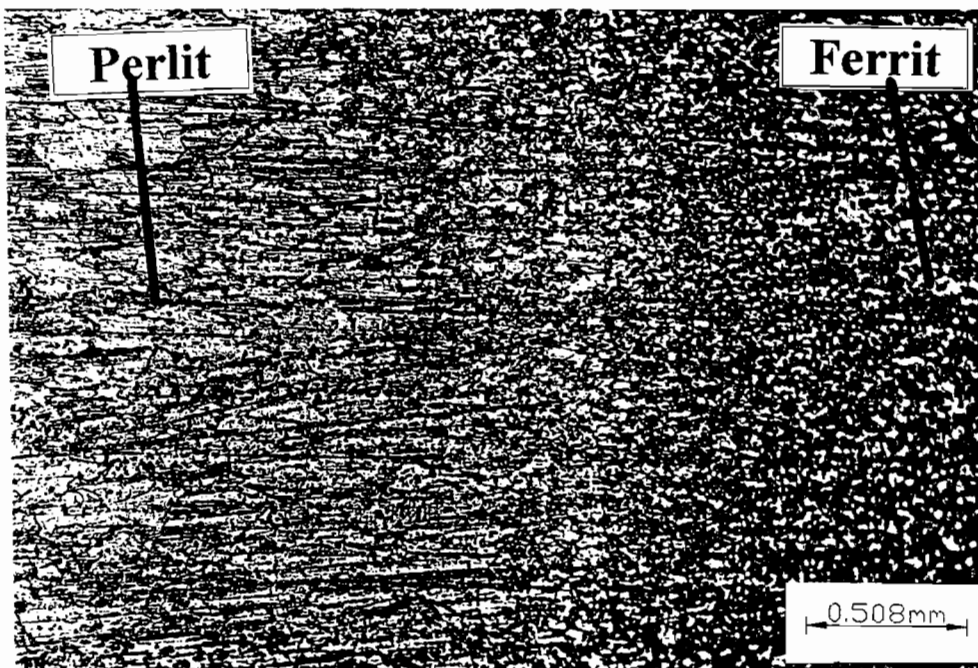
Gambar 4.13a Struktur Mikro Daerah A, pada Spesimen 19 kA, 20 Cycle



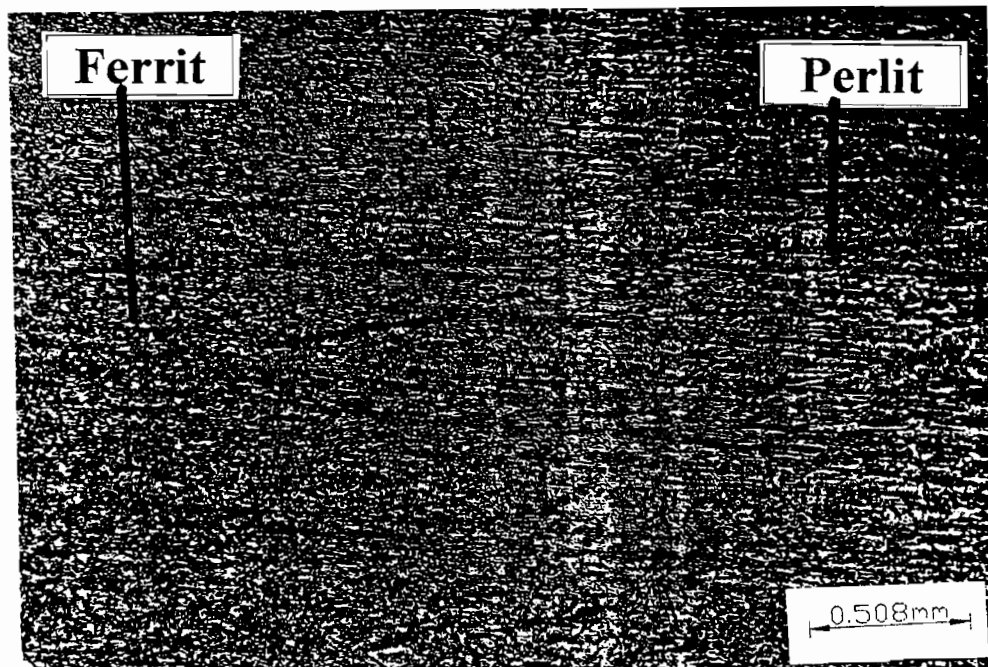
Gambar 4.13b Struktur Mikro Daerah B, pada Spesimen 19 kA, 20 Cycle



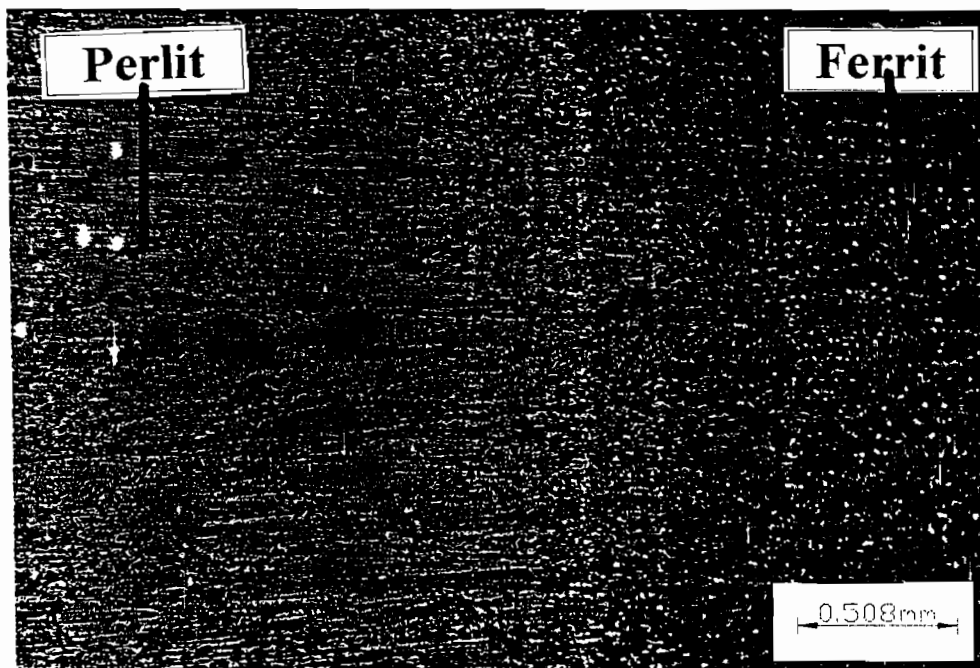
Gambar 4.14a Struktur Mikro Daerah A, pada Spesimen 19 kA, 25 Cycle



Gambar 4.14b Struktur Mikro Daerah B, pada Spesimen 19 kA, 25 Cycle



Gambar 4.15a Struktur Mikro Daerah A, pada Spesimen 19 kA, 30 Cycle



Gambar 4.15b Struktur Mikro Daerah B, pada Spesimen 19 kA, 30 Cycle

Dari data pengujian diperoleh:

Struktur mikro yang terbentuk pada pusat las (*nugget*) berupa butiran yang besar, Hal ini disebabkan temperatur pada saat pengelasan mencapai titik cair, sedangkan pendinginannya cepat, mengingat daerah *nugget* berada ditengah-tengah daerah las dan didinginkan oleh elektroda. Pada daerah ini, struktur yang terbentuk martensit, ferrit dan sedikit perlit.

Pada daerah *HAZ*, struktur mikro yang terbentuk berupa butiran-butiran yang kecil, hal ini disebabkan karena temperatur akibat pengelasan pada daerah *HAZ* lebih rendah dibanding daerah *nugget* dan belum mencapai titik cair, sehingga pendinginan lebih lambat, dan struktur yang terbentuk adalah perlit dan ferrit.

Untuk logam induk strukturnya akan tetap seperti material awal. Hal ini disebabkan karena jarak yang jauh dari pusat las, sehingga temperatur akibat pengelasan tidak mampu merubah struktur mikronya. Pada daerah ini struktur mikronya adalah didominasi ferrit dan sedikit perlit.

4.3 Pengujian Kekerasan Brinell

Tujuan dari pengujian kekerasan ini adalah untuk mengetahui kekerasan antara *nugget*, *HAZ*, dan material induk setelah mengalami proses pengelasan titik. Pengujian kekerasan benda uji menggunakan metode Brinell. Benda uji ditekan pada bagian permukaan yang telah dibersihkan terlebih dahulu, dengan menggunakan sebuah bola baja yang dikeraskan dengan diameter (D) = 2,5 mm, dengan gaya penekanan (P) = 62,5 kg. Hasil penekanan dicatat berupa diameter

bekas injakannya, dan kekerasan (BHN) dihitung sebagai berikut:

$$\text{BHN} = \frac{P}{\frac{\pi \times D}{2} \times \left(D - \left(\sqrt{D^2 - d^2} \right) \right)}$$

Dengan:

P = Beban yang diterapkan (kg)

D = Diameter bola penetrator (mm)

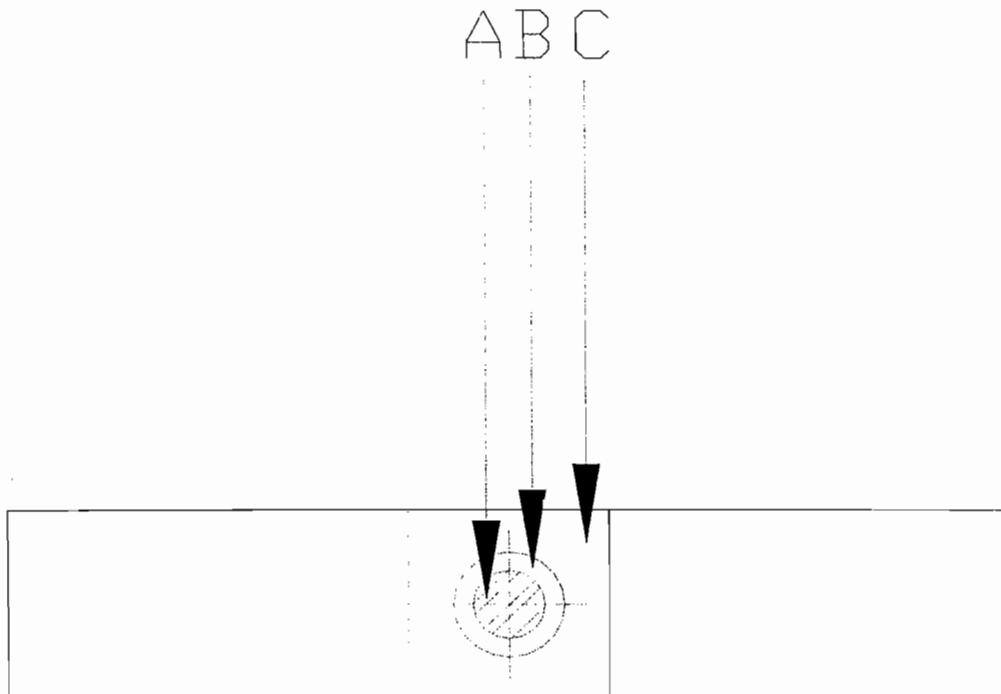
d = Diameter bekas injakan atau penekanan (mm).

Pada gambar 4.16 berikut adalah letak pengujian kekerasan, berdasarkan daerah (A→C) Dengan:

A: adalah daerah *nugget*

B: adalah daerah *HAZ*

C: adalah daerah logam induk



Gambar 4.16 Daerah Pengujian Kekerasan

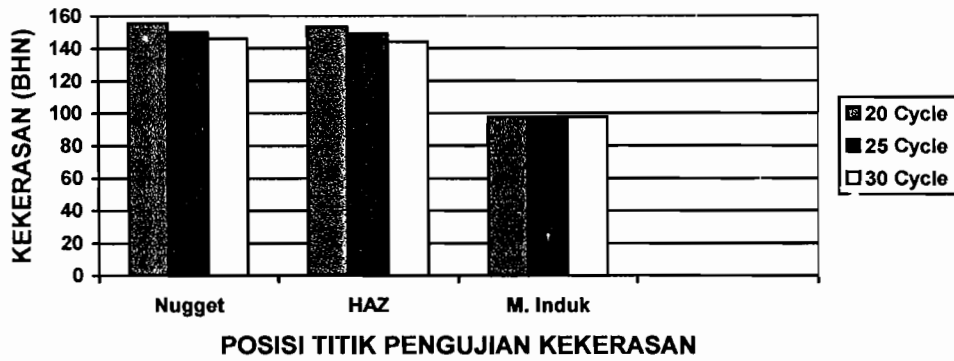
Setelah dilakukan pengujian pada masing-masing benda uji maka akan didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Pengujian Kekerasan

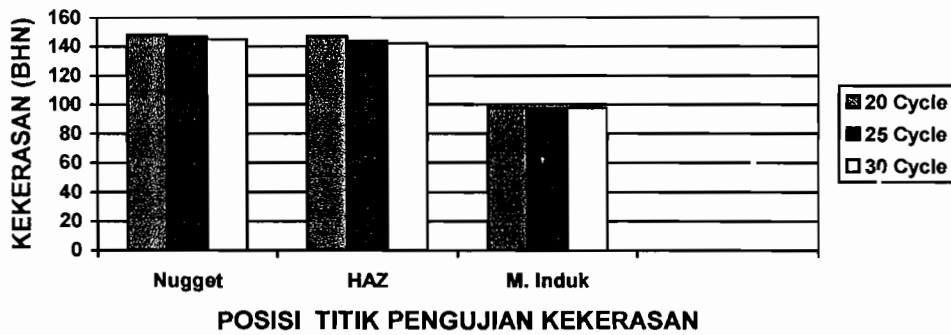
No	Spesimen	Daerah	d (mm)	d rata-rata	Kekerasan Brinell (BHN)
1	16 k Amp, 20 Cycle	Nugget	0,710	0,7075	155,729
			0,705		
		HAZ	0,715	0,7125	153,504
			0,710		
		Material Induk	0,885	0,8875	97,674
			0,890		
2	16 k Amp, 25 Cycle	Nugget	0,725	0,7200	150,254
			0,715		
		HAZ	0,725	0,7225	149,193
			0,720		
		Material Induk	0,885	0,8875	97,674
			0,890		
3	16 k Amp, 30 Cycle	Nugget	0,730	0,7300	146,075
			0,730		
		HAZ	0,740	0,7350	144,049
			0,730		
		Material Induk	0,885	0,8875	97,674
			0,890		
4	17,4 k Amp, 20 Cycle	Nugget	0,720	0,7250	148,143
			0,730		
		HAZ	0,725	0,7275	147,104
			0,730		
		Material Induk	0,885	0,8875	97,674
			0,890		
5	17,4 k Amp, 25 Cycle	Nugget	0,725	0,7275	147,104
			0,730		
		HAZ	0,730	0,7350	144,049
			0,740		
		Material Induk	0,885	0,8875	97,674
			0,890		
6	17,4 k Amp, 30 Cycle	Nugget	0,730	0,7325	145,057
			0,735		
		HAZ	0,740	0,7400	142,063
			0,740		
		Material Induk	0,885	0,8875	97,674
			0,890		

No	Spesimen	Daerah	d (mm)	d rata-rata	Kekerasan Brinell (BHN)
7	19 k Amp, 20 Cycle	Nugget	0,730	0,7300	146,075
			0,730		
		HAZ	0,740	0,7400	142,063
			0,740		
		Material Induk	0,885	0,8875	97,674
			0,890		
8	19 k Amp, 25 Cycle	Nugget	0,730	0,7325	145,057
			0,735		
		HAZ	0,740	0,7425	141,087
			0,745		
		Material Induk	0,885	0,8875	97,674
			0,890		
9	19 k Amp, 30 Cycle	Nugget	0,735	0,7375	143,052
			0,740		
		HAZ	0,790	0,8000	121,070
			0,810		
		Material Induk	0,885	0,8875	97,674
			0,890		

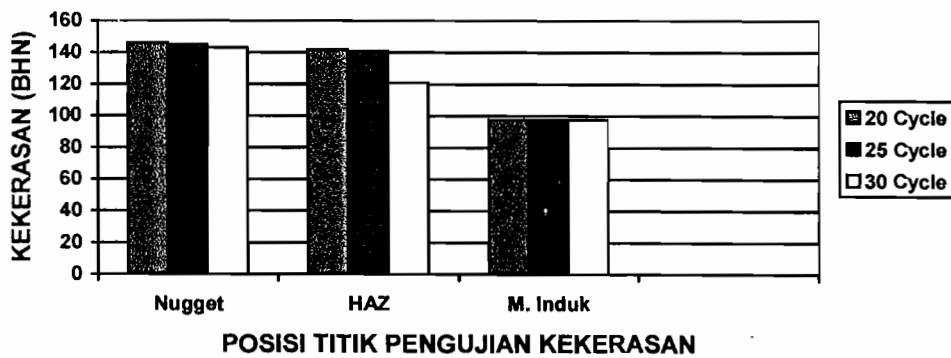
Dari data-data yang telah didapat, kemudian disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar 4.17a – 4.18c berikut:



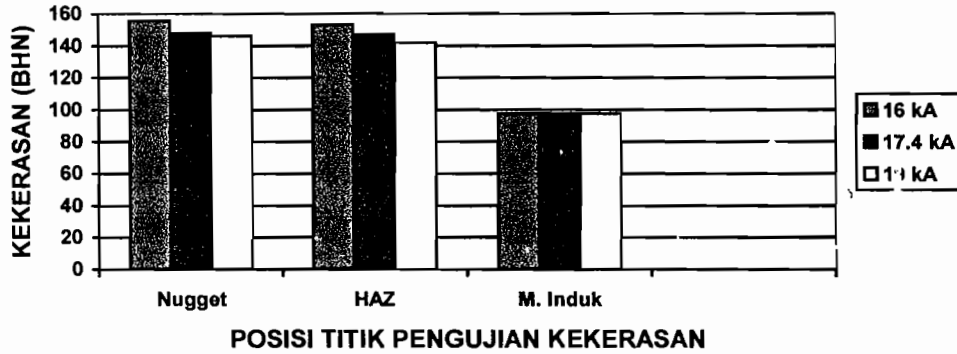
Gambar 4.17a Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Arus 16 kA)



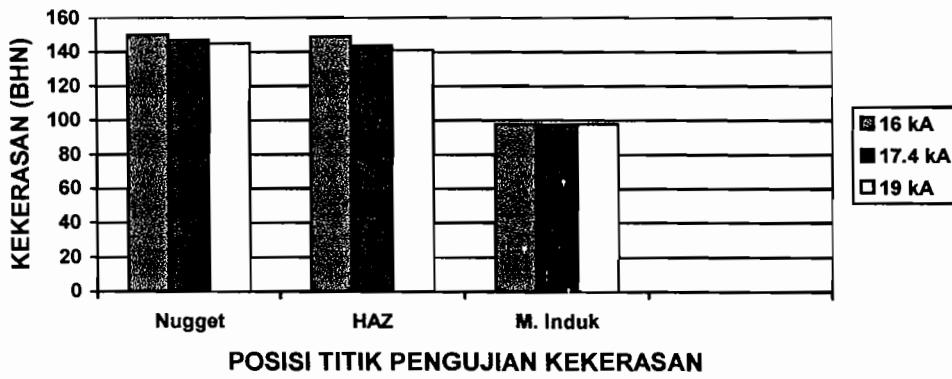
Gambar 4.17b Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Arus 17,4 kA)



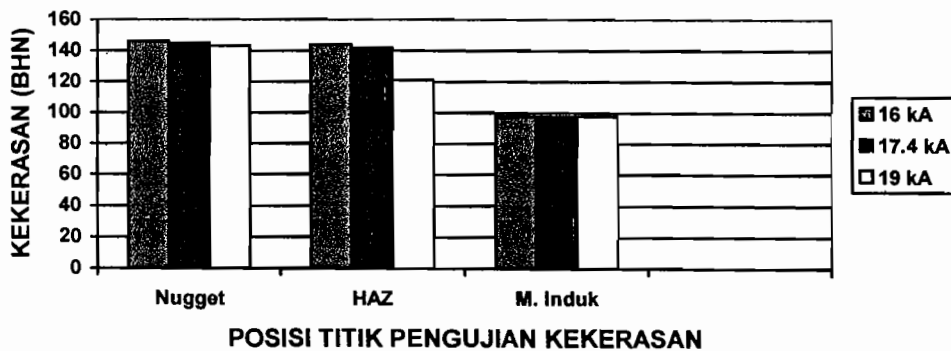
Gambar 4.17c Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Arus 19 kA)



Gambar 4.18a Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Weld Time 20 Cycle)



Gambar 4.18b Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Weld Time 25 Cycle)



Gambar 4.18c Grafik Pengujian Kekerasan Brinell Berdasarkan Daerah (Weld Time 30 Cycle)

Berdasarkan diagram kekerasan diatas didapat bahwa pada:

Daerah *nugget*: Pengelasan pada spesimen dengan variasi arus kecil memiliki kekerasan yang lebih tinggi. Pengelasan pada spesimen dengan waktu yang lebih singkat memiliki kekerasan yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena temperatur pengelasan yang terjadi rendah dan waktu pendinginannya cepat.

Daerah *HAZ*: Temperatur pengelasan yang terjadi tidak mencapai temperatur perubahan struktur (kekerasan) secara maksimal, sehingga secara keseluruhan kekerasan pada daerah *HAZ* lebih lunak dibanding daerah *nugget*.

BAB V

KESIMPULAN DAN PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, pengujian dan analisis di laboratorium Ilmu logam jurusan TM-FT Universitas Sanata Dharma dan laboratorium ilmu Bahan jurusan TM-FT IST AKPRIND, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari pengujian tarik, disimpulkan bahwa pada rentang arus 16 k amp – 19 k amp, terjadi fenomena kekuatan geser seperti parabola (bagian tengah memiliki kekuatan geser paling tinggi). Kekuatan geser tertinggi terjadi pada arus 17,4 k Amp, 20 Cycle.
2. Dari analisis struktur mikro, Struktur mikro yang terbentuk pada *nugget* berupa butiran yang besar dan struktur yang terbentuk martensit dan ferrit. Pada daerah *HAZ*, struktur mikro yang terbentuk berupa butiran-butiran yang kecil, dan struktur yang terbentuk adalah perlit dan ferrit.
3. Untuk pengujian kekerasan didapat bahwa makin besar arus pengelasan yang dipakai, kekerasan yang terjadi makin rendah. Kekerasan tertinggi terjadi pada arus 16 k Amp, 20 Cycle dengan kekerasan kurang lebih 156 BHN

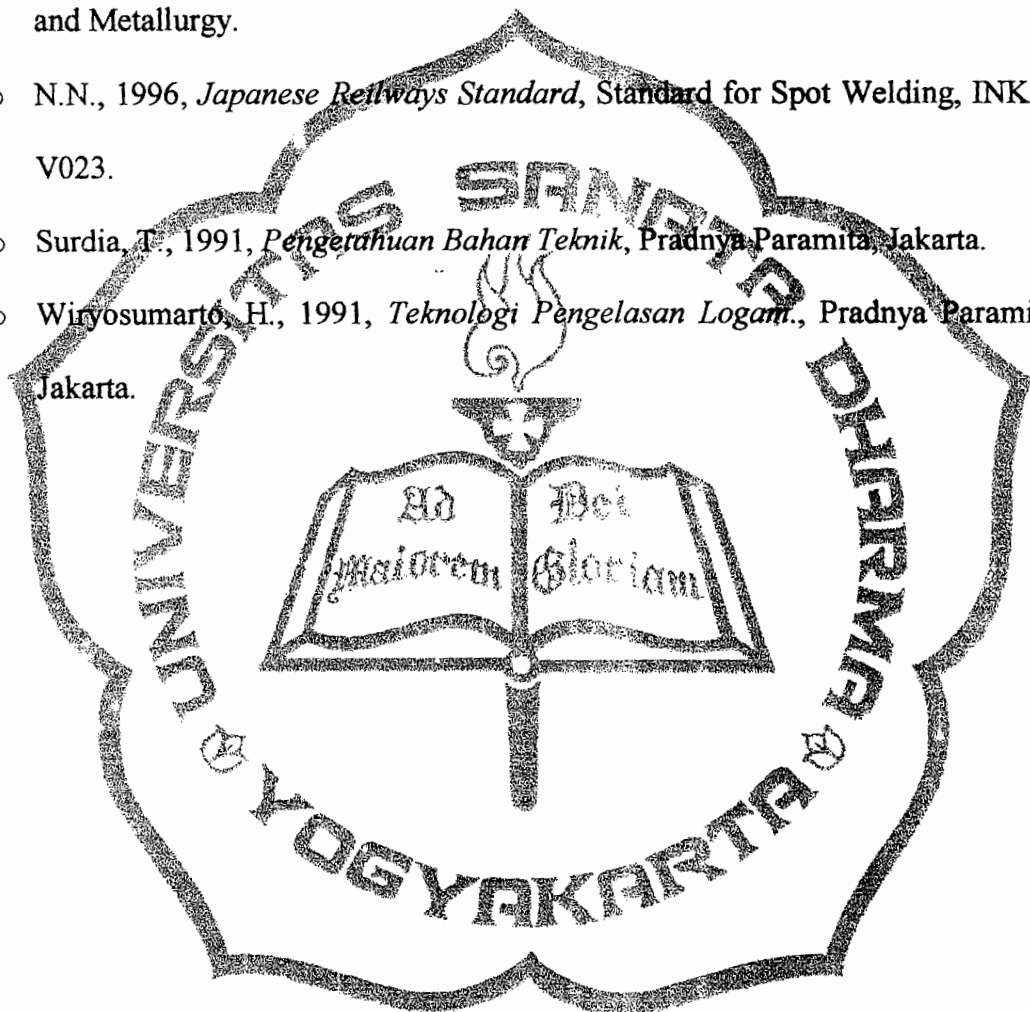
5.2 Penutup

Saat ini Pengelasan titik (spot welding) sangat diperlukan dalam industri, khususnya untuk pengerjaan massal. Pada penelitian Pengaruh Arus Pengelasan dan Waktu Pengelasan pada Pengelasan Titik Baja Karbon Rendah ini, diharapkan dapat membantu semua pihak dalam memahami proses pengelasan yang baik dan efisien.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Bila terjadi ketidak akuratan data, disebabkan keterbatasan dana, peralatan dan ketelitian dalam pengamatan. Kritik dan saran untuk kemajuan sangat penulis harapkan, sehingga ini dapat berguna bagi semua pihak.

Daftar Pustaka

- Alexander, L., & Co., *Resistance Spot Welding Process*, htm, Image: (<http://www.google.com>).
- Messler Robert w., Jr., *Principles of Welding, Process, Physics, Chemistry, and Metallurgy*.
- N.N., 1996, *Japanese Railways Standard, Standard for Spot Welding*, INKA-V023.
- Surdia, T., 1991, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wiryosumarto, H., 1991, *Teknologi Pengelasan Logam.*, Pradnya Paramita, Jakarta.







JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA
Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta
Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email : teknik@staff.usd.ac.id

BERITA ACARA SEMINAR TGA / SKRIPSI

Telah diselenggarakan Seminar TGA / Skripsi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Nama : Heru Maryanto

N I M : 995214087

Jurusan : Jurusan Teknik Mesin

Fakultas : Teknik Univ. Sanata Dharma
Yogyakarta


Judul :
The Effect of Electric Current and Weld Time on Spot Welding Ofn Low Carbon Steel

Hari / Tgl : Senin, 28 Februari 2005

Tempat : K. 4.13

Pukul : 13.00WIB

Pemb I Budi Setyahandana, S.T., M.T.


Tanda Tangan 

Pemb II -

Tanda Tangan _____

Dihadiri Dosen

1 Budi Setyahandana

Tanda Tangan 

2 _____

Tanda Tangan _____

3 _____

Tanda Tangan _____

4 _____

Tanda Tangan _____

5 _____

Tanda Tangan _____



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA
Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta
Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email : teknik@staff.usd.ac.id

DAFTAR HADIR SEMINAR TGA / SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK USD

Nama : Heru Maryanto
NIM : 995214087
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
Judul :
The Effect of Electric Current and Weld Time on Spot Welding Oin Low Carbon Steel
Pembim I : Budi Setyahandana, S.T., M.T.
Pembim II : -
Hari / Tgl : Senin, 28 Februari 2005
Tempat : K. 4.13 Pukul : 13.00 WIB

No	NIM	Nama	Tanda Tangan
1	995214104	Yosep	1
2	015214064	TOMI WIJAYA	2
3	015214073	HERDY FIRMANA - H.R.	3
4	025214087	Iga Sunu Gunawanto	4
5	025214116	V. Hana Eka Restiningsih	5
6	995214020	Wahjudi	6
7	995214074	Crippen Apriyanto	7
8	995214154	YUNATAN DH.	8
9	015214112	Widho H.	9
10	995214107	JUDI. S.	10
11	995214130	AGUS WIJAYA UH	11
12	995214088	P. ADUNG S.	12
13			13
14			14
15			15
16			16
17			17
18			18
19			19
20			20



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA
Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman - Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 883968, 886530; Fax. (0274) 886529; Email : teknik@staff.usd.ac.id

UJIAN PENDADARAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI
TANGGAL : 12 Maret 2005

NAMA Mhs. : HERU MARYANTO

NIM : 995214087

JUDUL : *welding*
The Effect of Electric Current and Holding Time on Spot Welding on Low Carbon Steel.

Pembimbing Utama : Budi Setyahandana, S.T., M.T.

Pembimbing Kedua :

USULAN REVISI DARI DOSEN PENGUJI

1. 1 lembar untuk mahasiswa
2. 1 lembar untuk dosen pembimbing

Revisi Judul. "The effect of welding Current and Welding Time on Low Carbon steel spot welding"
Waktu pengelasan atau siklus pengelasan? dicek kembali

Doddy
hal 58. KA dirubah menjadi kAmp.

ketua
hal 36. Tegangan diganti dengan kekuatan
hal 38. " "

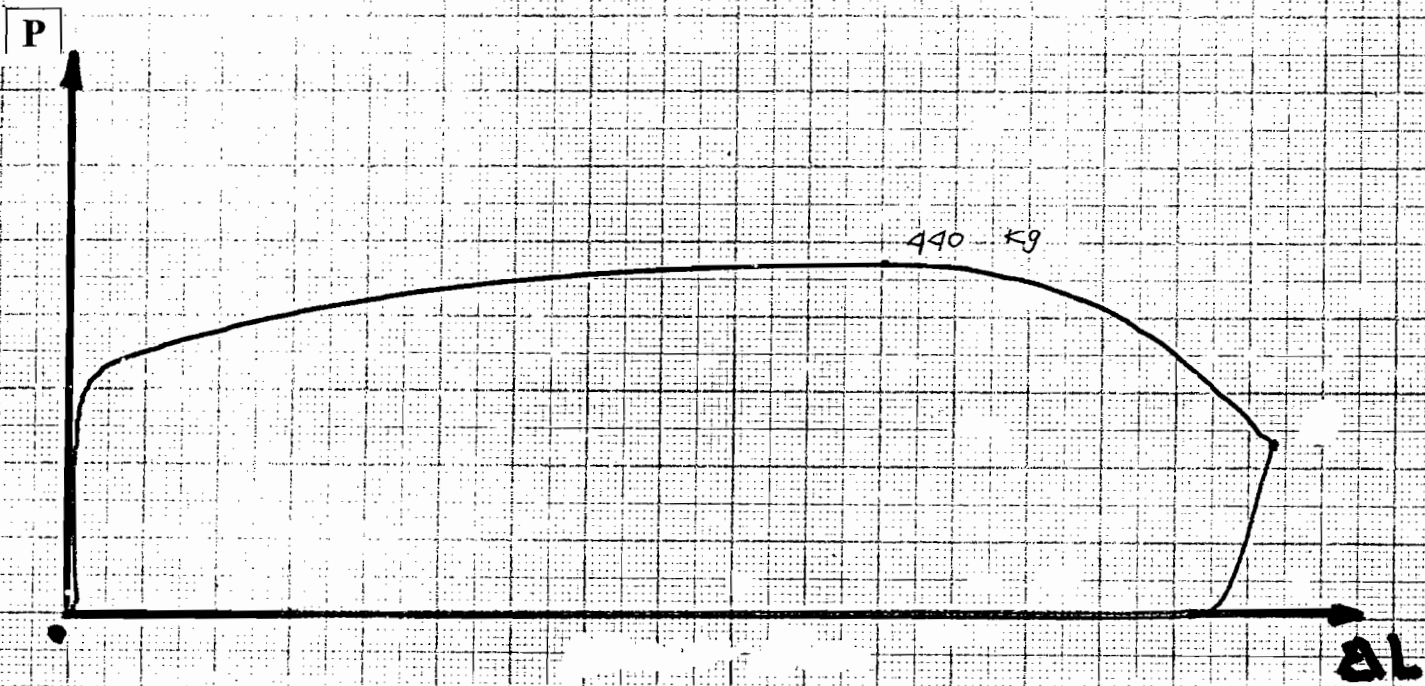
ampiran diberi keterangan pada salib sumbu dan judul untuk grafik.

hal 61. A+B+C di tambah keterangan.

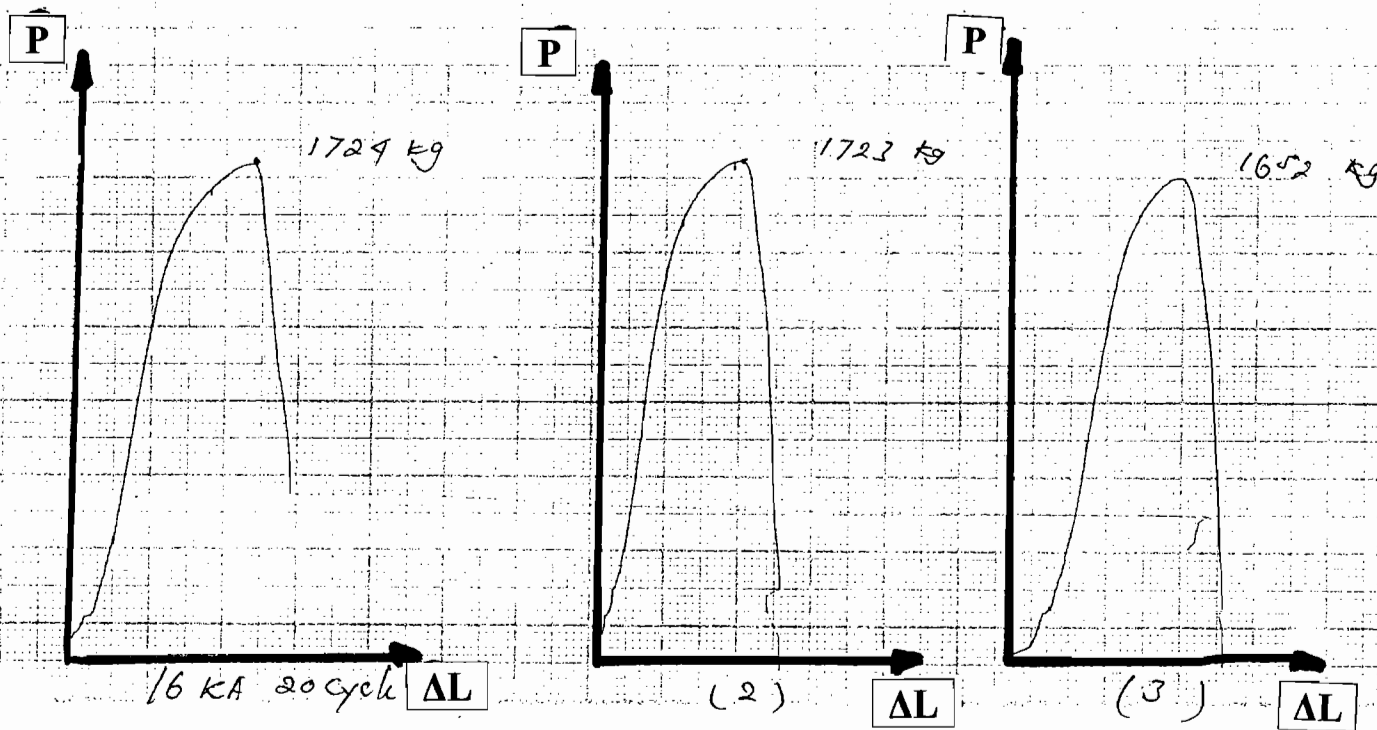
kesimpulan no 1. perlu di perbaiki.

Acc 16-5-03
85

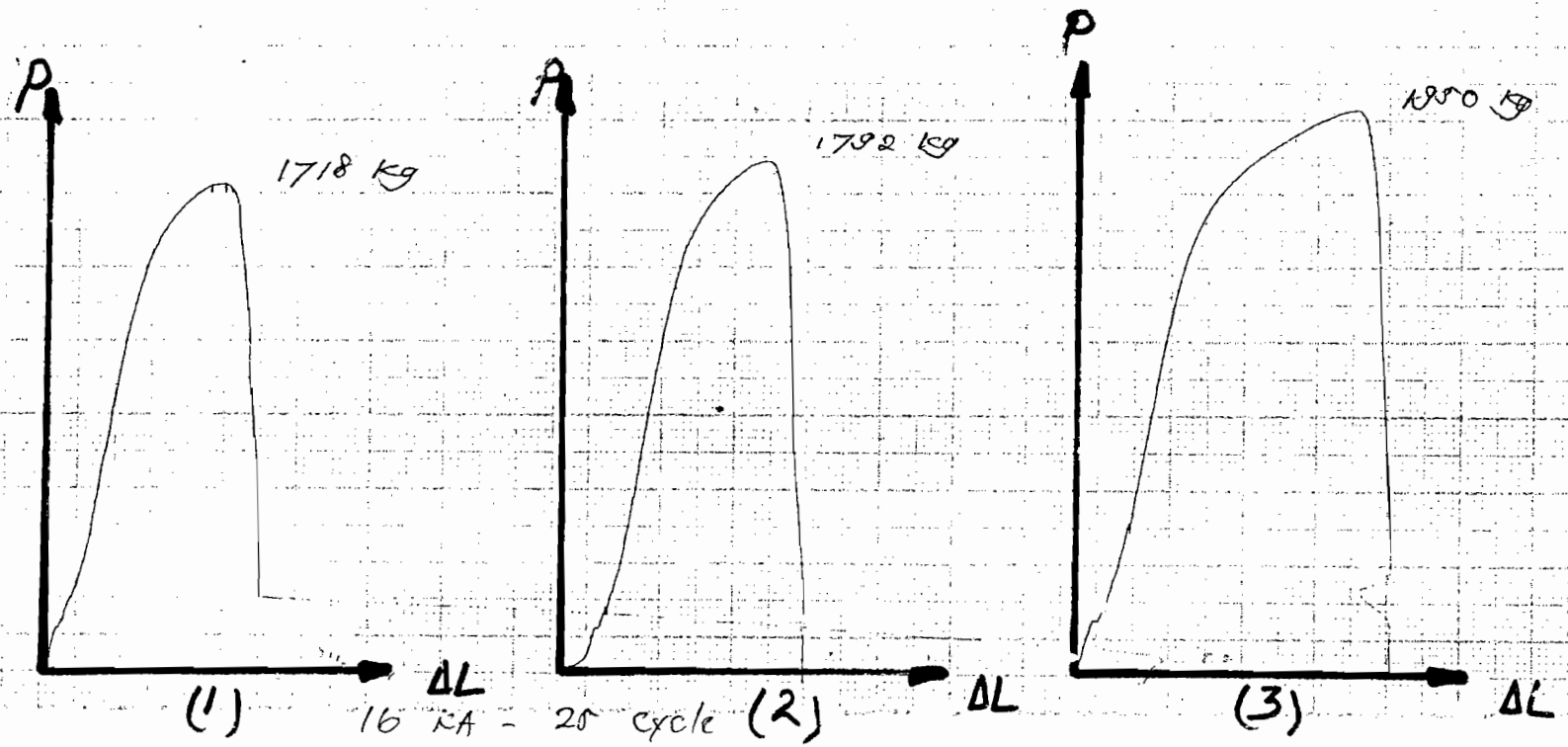
Grafik Pengujian Tarik, Material Awal



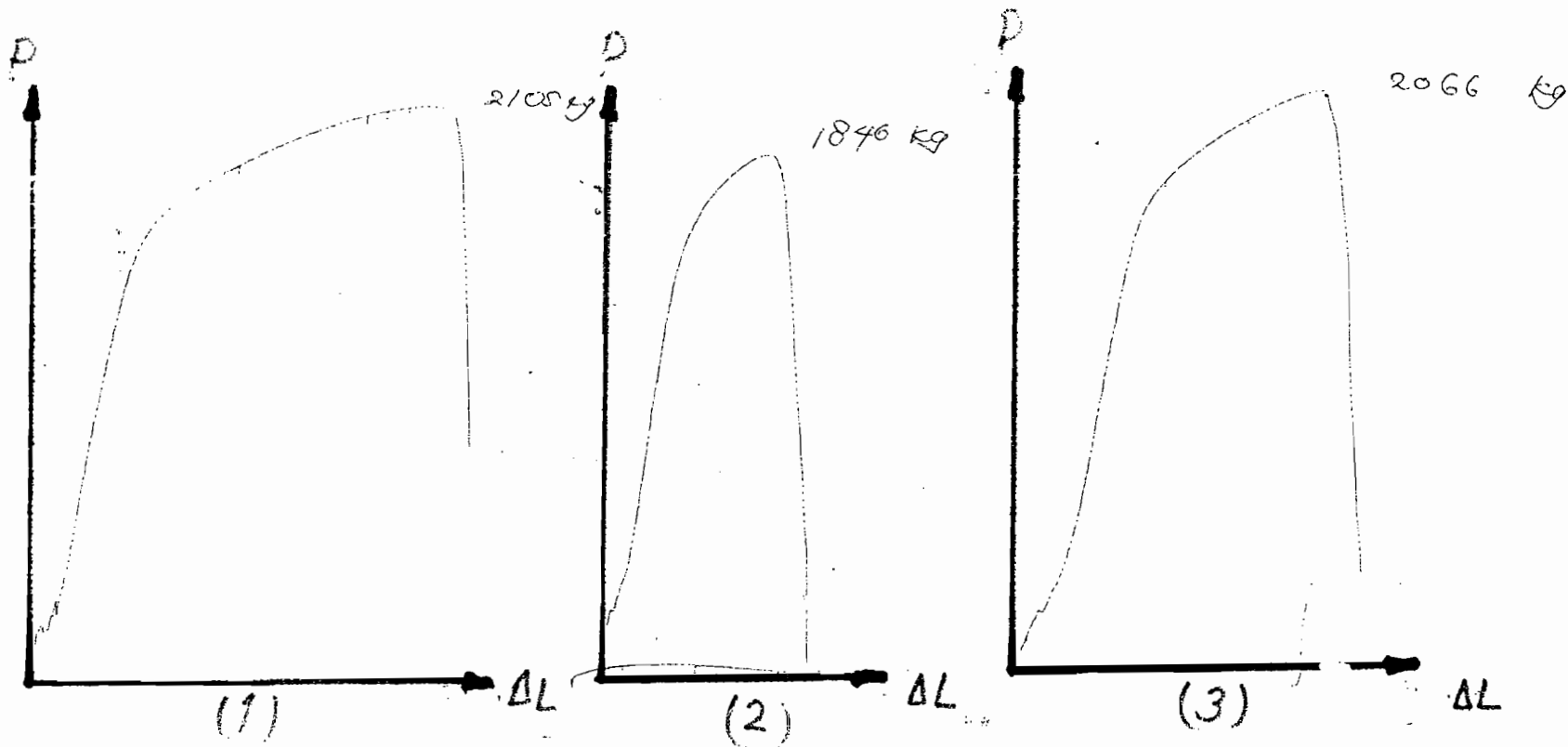
Grafik Pengujian Geser, Pengelasan Arus 16 k Amp, 20 Cycle



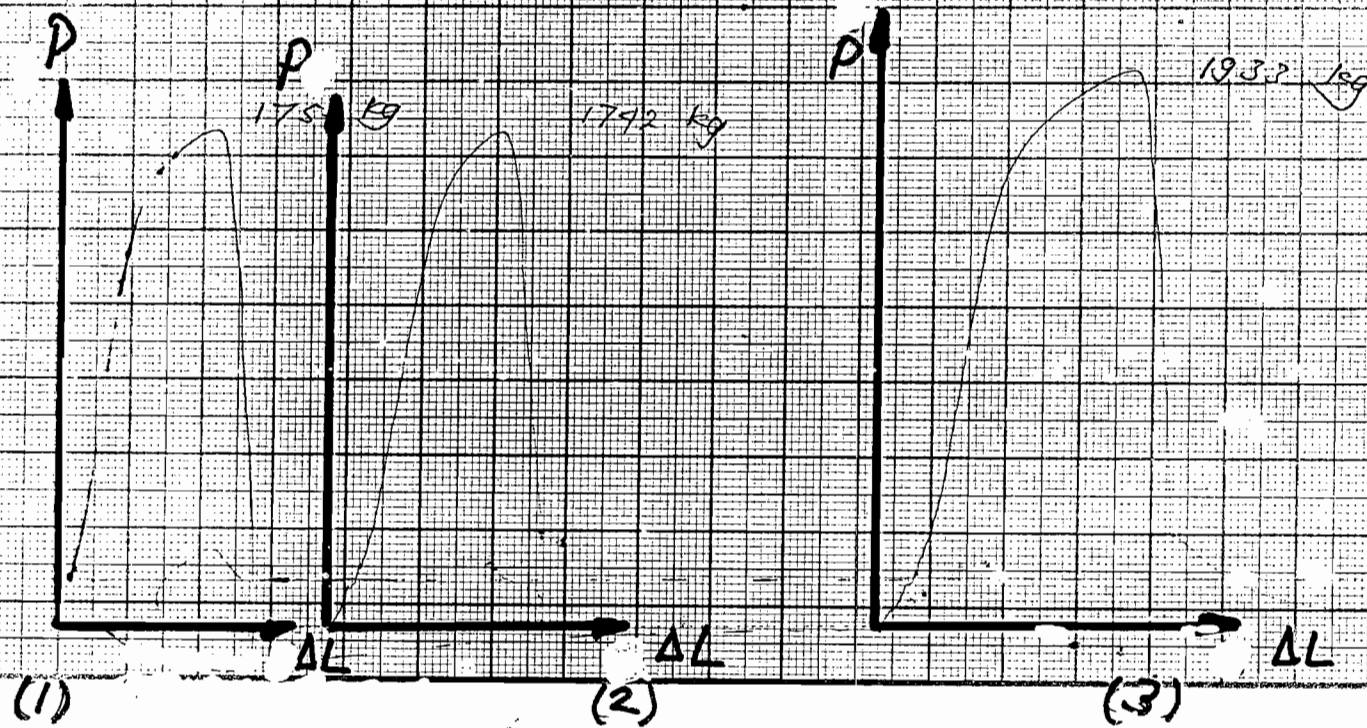
Grafik Pengujian Geser, Pengelasan Arus 16 k Amp, 25 Cycle



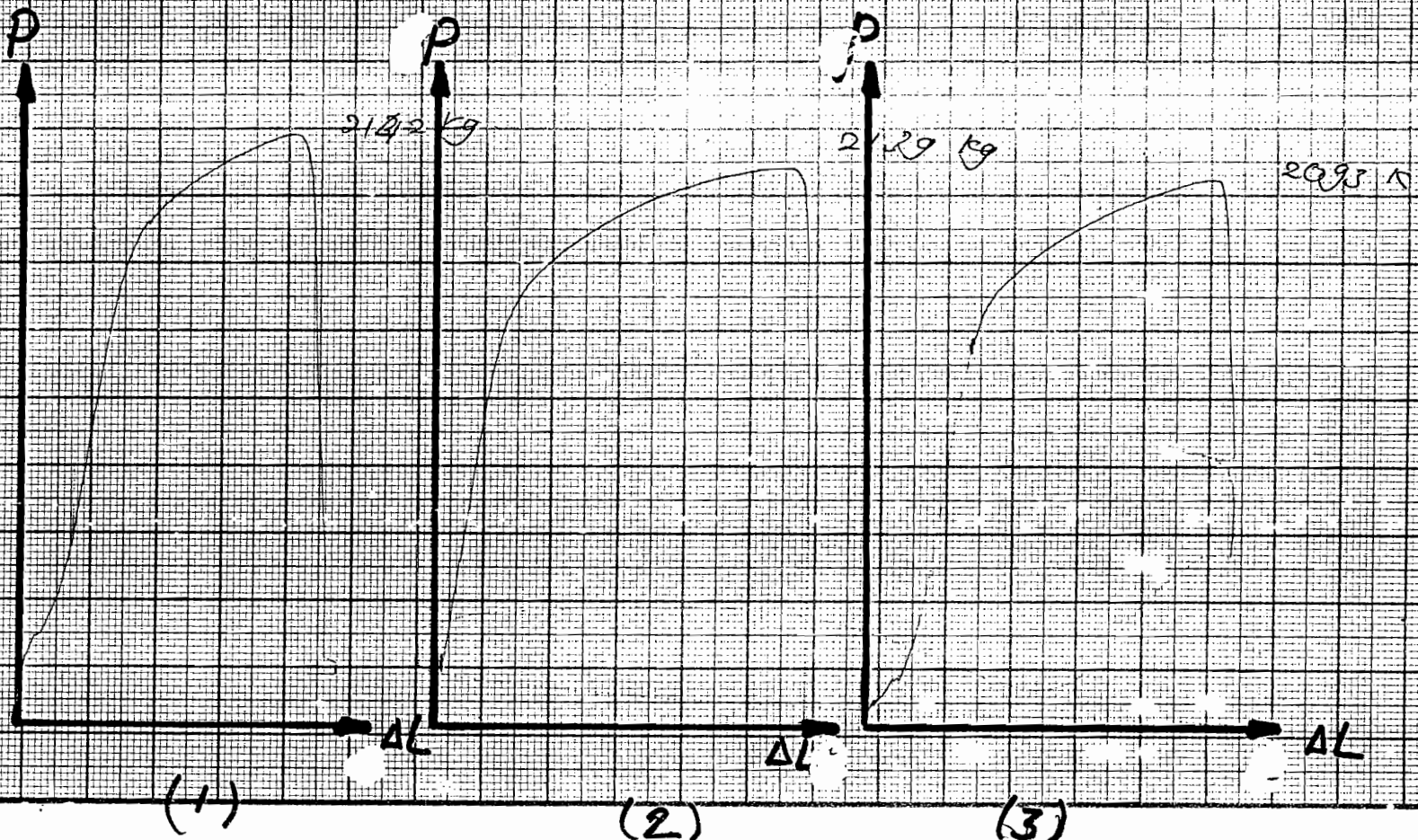
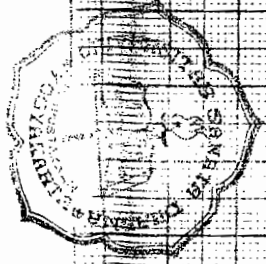
Grafik Pengujian Geser, Pengelasan Arus 16 k Amp, 30 Cycle



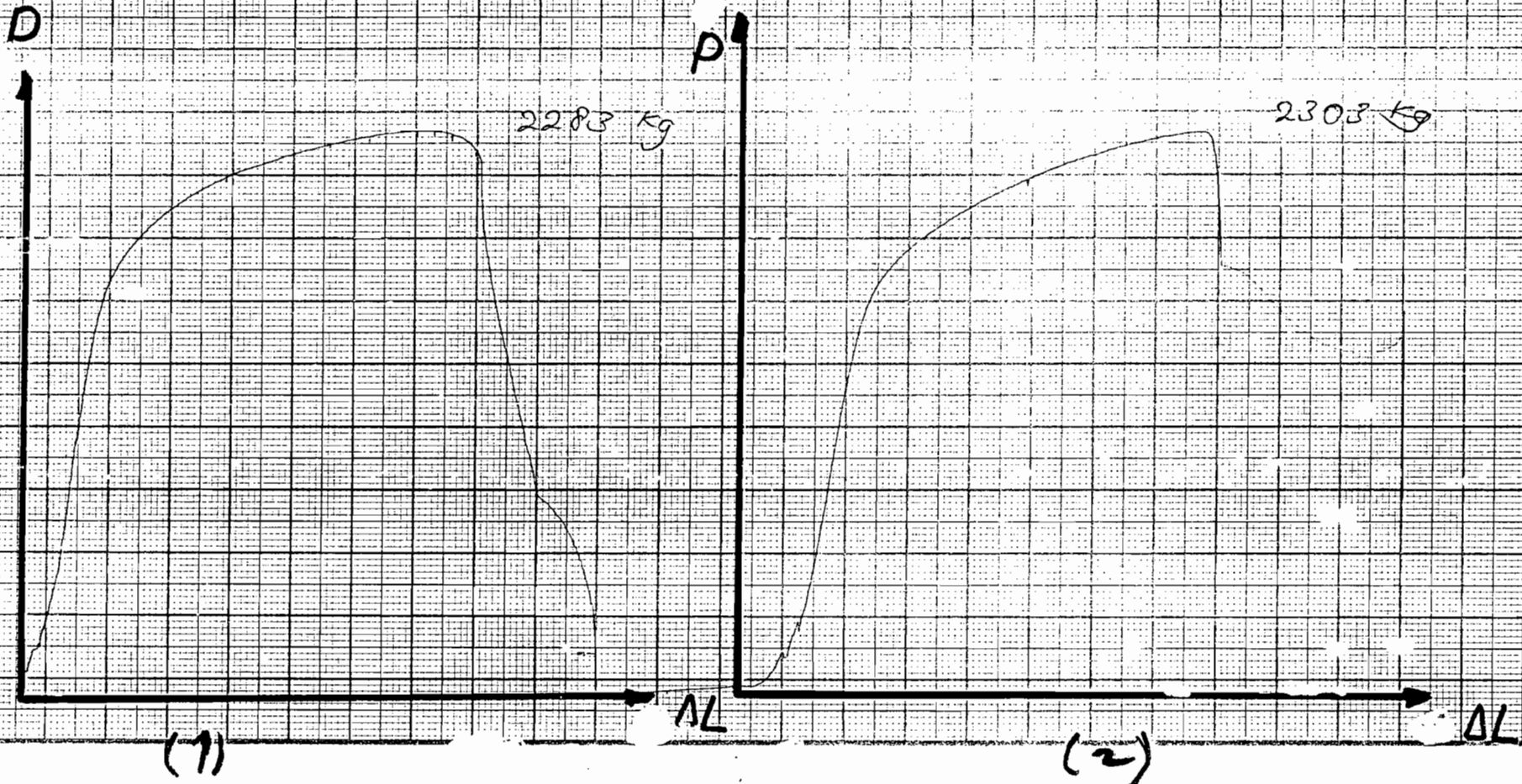
Grafik Pengujian Geser, Pengelasan Arus 17,4 k Amp, 20 Cycle



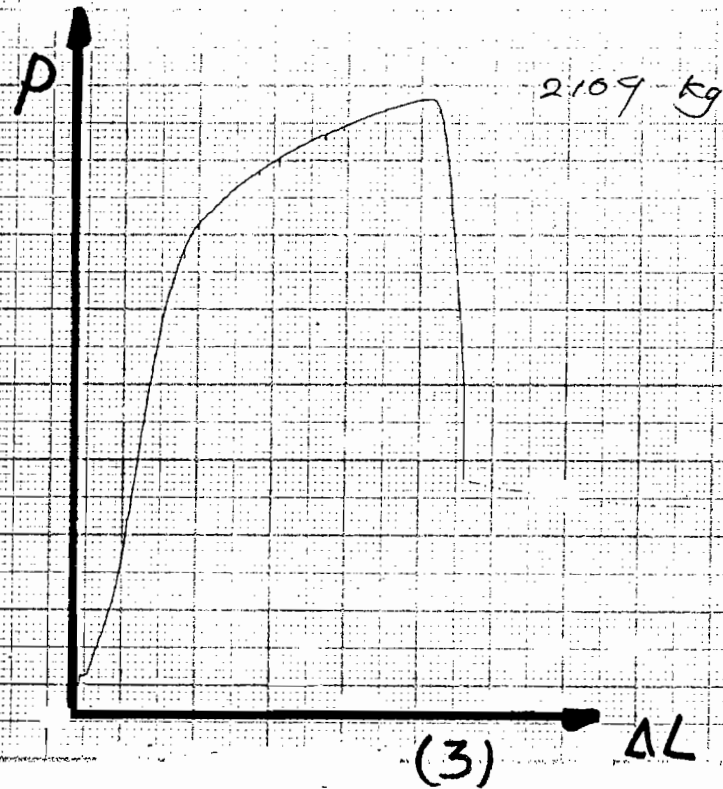
Grafik Pengujian Geser, Pengalasan Arus 17,4 k Amp, 25 Cycle



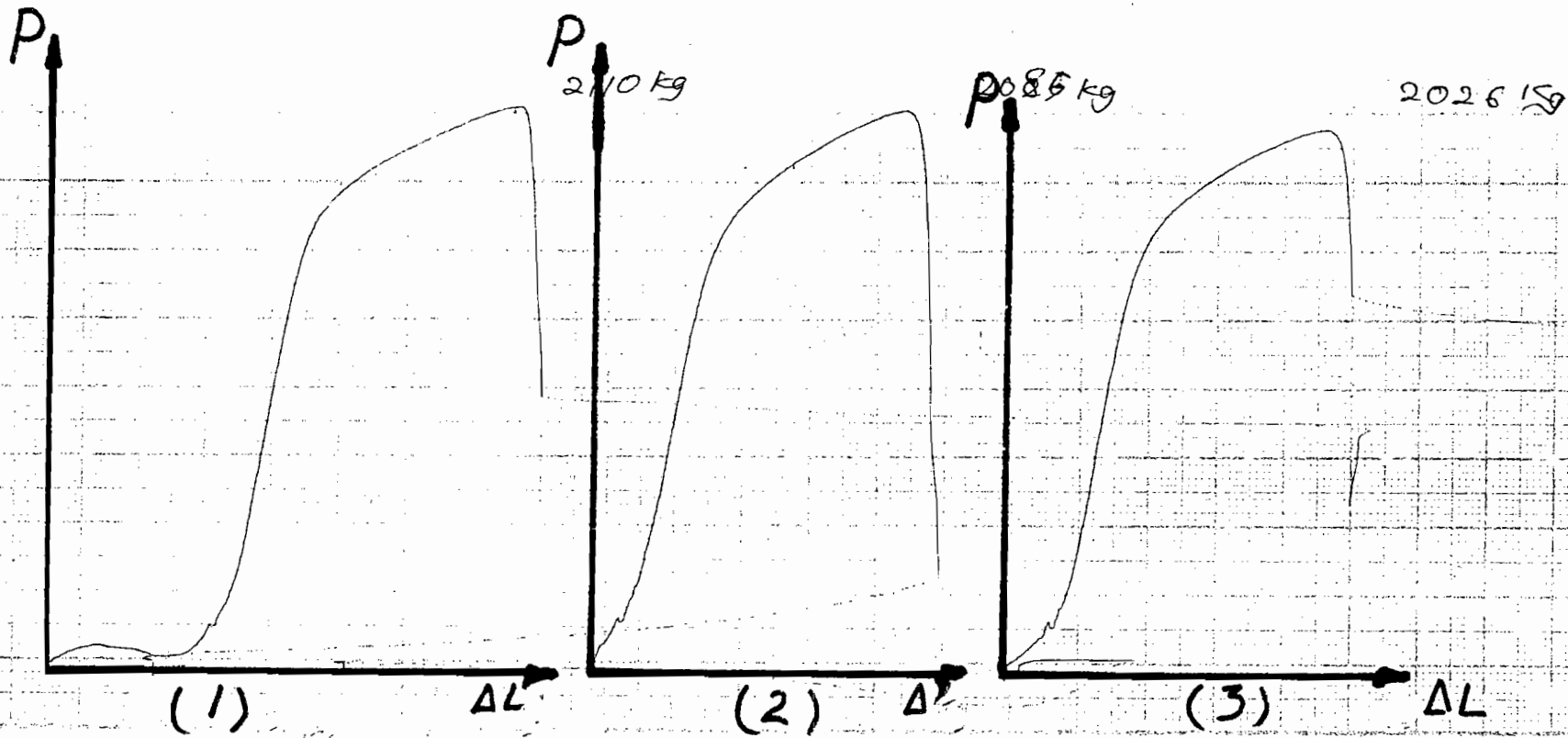
Grafik Pengujian Geser, Pengelasan Arus 17,4 k Amp, 30 Cycle



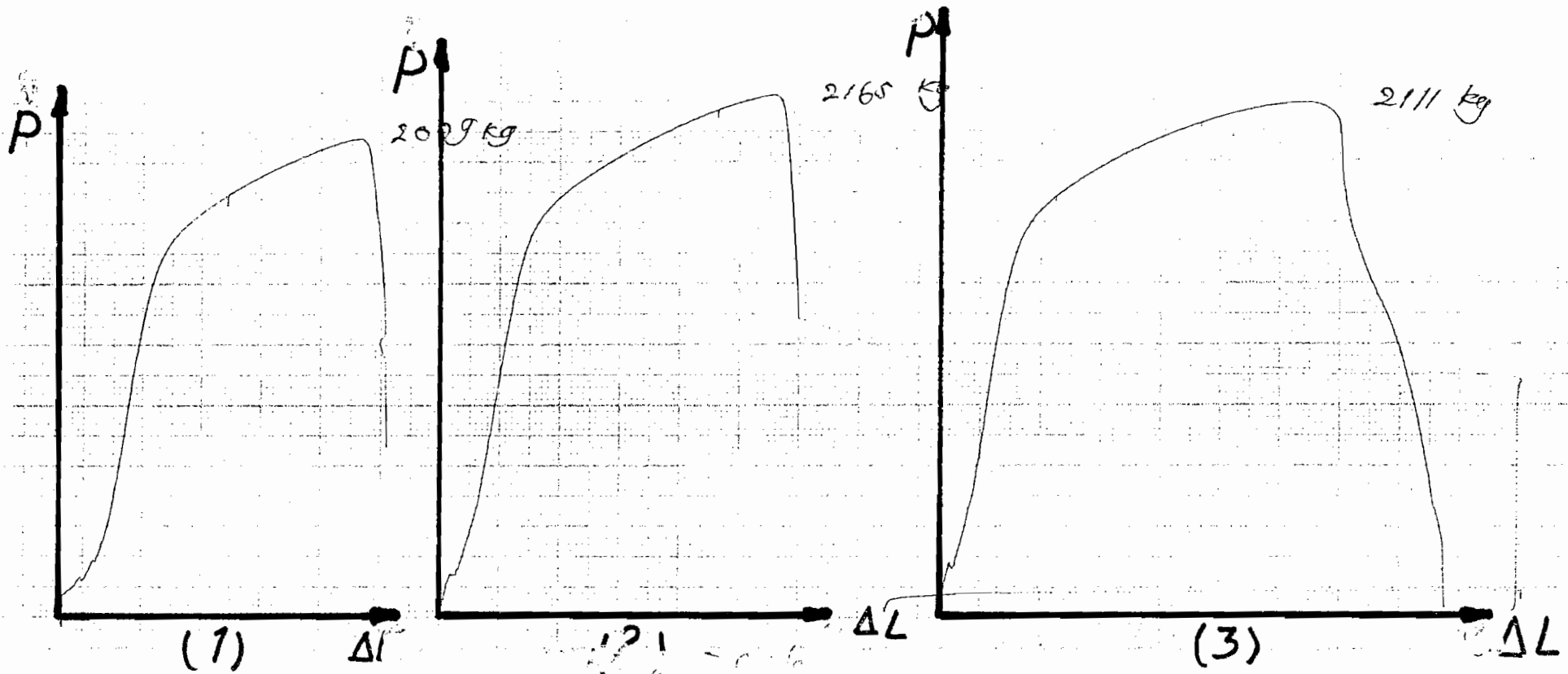
Grafik Pengujian Geser, Pengelasan Arus 17,4 k Amp, 30 Cycle



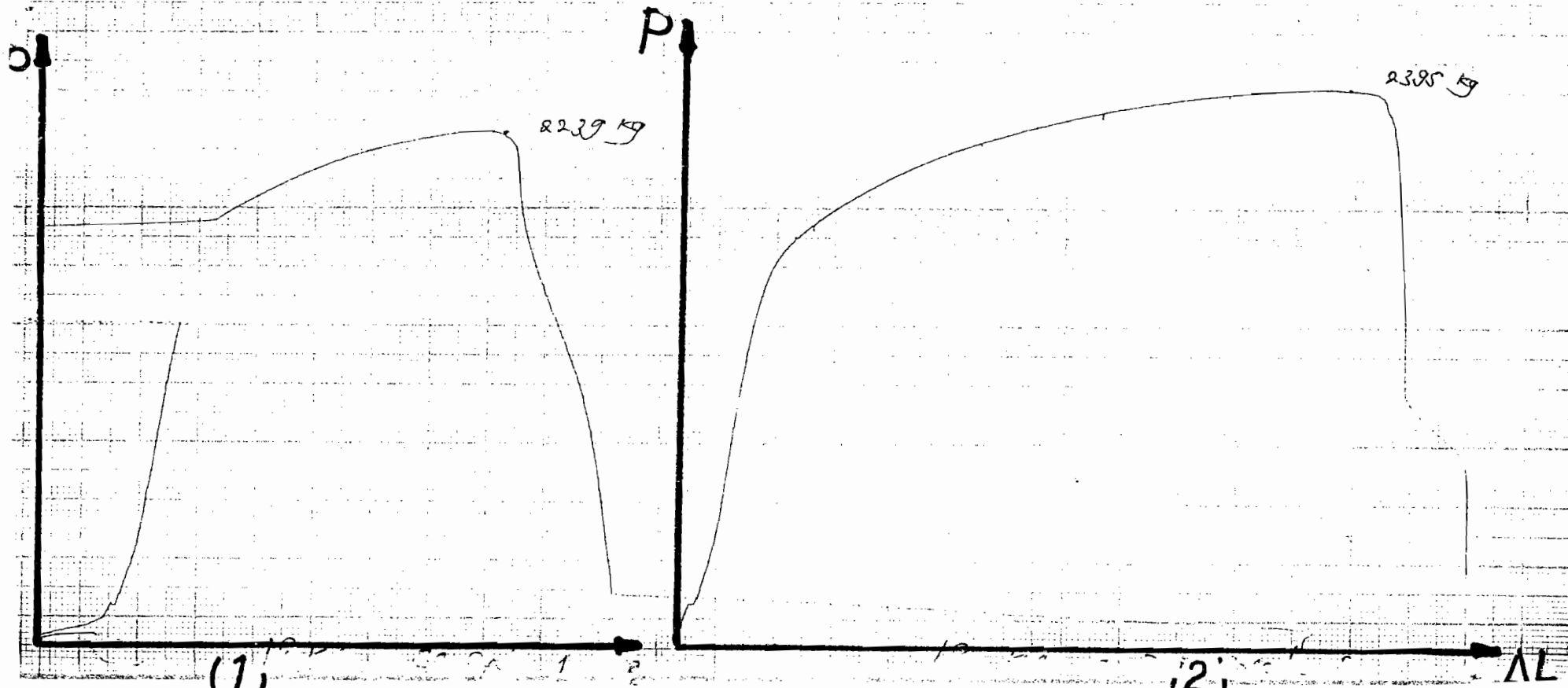
Grafik Pengujian Geser, Pengelasan Arus 19 k Amp, 20 Cycle



Grafik Pengujian Geser, Pengelasan Arus 19 k Amp, 25 Cycle



Grafik Pengujian Geser, Pengelasan Arus 19 k Amp, 30 Cycle



Grafik Pengujian Geser, Pengelasan Arus 19 k Amp, 30 Cycle

