

THE EFFECT OF WELDING ON METAL A-287

TUGAS AKHIR

Nomor Soal : 227 / FT.USD / TM / April / 2002

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Mesin



Oleh :

Y.M.G. SIGIT PRASETYA BUDI

NIM : 995214013

NIRM : 990051123109120013

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANATA DHARMA

YOGYAKARTA

2003

TUGAS AKHIR

THE EFFECT OF WELDING ON METAL A-287

oleh :

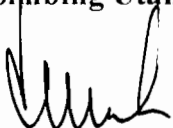
Y.M.G. SIGIT PRASETYA BUDI

NIM : 995214013

NIRM : 990051123109120013

Telah disetujui oleh :

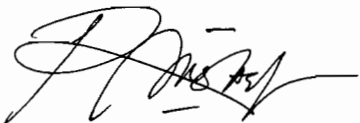
Pembimbing Utama :



(Dr.Ir. Viktor Malau, DEA)

Tanggal : 8 Juli 2003

Pembimbing Kedua :



(Ir. Rines, M.T.)

Tanggal : 8 Juli 2003

HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
THE EFFECT OF WELDING ON METAL A-287

oleh :

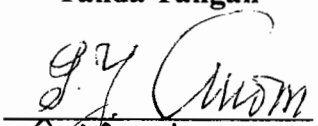
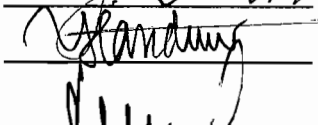
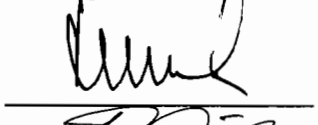
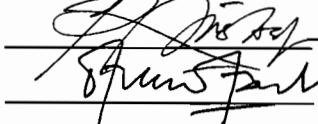

Y.M.G. SIGIT PRASETYA BUDI

NIM : 995214013

NIRM : 990051123109120013

Telah Dipertahankan Di Depan Panitia Penguji
Pada Tanggal 29 Juli 2003
Dan Dinyatakan Memenuhi Syarat


Susunan Panitia Penguji

Nama	Tanda Tangan
Ketua : Ir. P.J. Soedarjana	
Sekretaris : Budi Setyahandana, S.T, M.T.	
Anggota :	
1. Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.	
2. Ir. Rines, M.T.	
3. D. Doddy Purwadianto, S.T., M.T.	

Yogyakarta, Agustus 2003

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma Yogyakarta


Ir. G. Harjanto



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman – Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 886530; Fax. (0274) 886529; Email: teknik@usd.ac.id

TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN

Nomor : 227 / FT.USD / TM / April / 2002

Diberikan kepada :
Nama Mahasiswa : YMG. Sigit Prasetya Budi
Nomor Mahasiswa : 995214013
NIRM : 990051123109120013
Jurusan : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Mata kuliah : Bahan Teknik Manufaktur
Judul / naskah soal :
Sifat pengelasan baja A-287 sebagai fungsi perlakuan panas. (Pengaruh Pengelasan pada Baja A-287)
Tanggal dimulai : 4 Maret 2002

Dosen Pembimbing Kedua

(Ir. M. Rines Atapan, M.T.)

Yogyakarta, 15 April 2002

Dosen Pembimbing Utama

(Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.)

Persembahan

Tugas Akhir ini kupersembahkan kepada:

1. Bapak dan Ibu Tercinta, yang telah senantiasa memberikan dukungan baik secara moral maupun finansial.
2. Adikku Gati atas segala dukungannya.
3. My sweat friend : Nugroho "Gogon", Yan "Boy", Thomas Tutut, Sambodo, Hana dan Ayu (TM 2002), terimakasih atas bantuannya. (Without You, I Will be Nothing)

MOTTO

*“Menunda Adalah Awal Dari
Kegagalan Dan Disiplin Diri Adalah
Awal Dari Kesuksesan”*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang selalu berkenan menyertai dan memberikan kasihnya kepada penulis sehingga berhasil menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Pengaruh pengelasan pada baja A-287 merupakan tema yang diambil penulis dalam penyusunan tugas akhir ini berdasarkan minat penulis dan dengan harapan dapat menjadi bekal di dalam memasuki dunia kerja.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, untuk itu penulis mengundang saran dan kritik yang membangun sebagai pedoman untuk lebih baik lagi dimasa mendatang.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang membantu penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini, antara lain :

1. Bapak Ir. G. Harjanto, selaku Dekan Fakultas Teknik USD.
2. Bapak Dr.Ir.Viktor Malau, DEA., selaku Dosen Pembimbing I atas waktu, perhatian dan kesabarannya dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Rines, M.T., selaku Dosen Pembimbing II atas segala saran, pemikiran dan bimbingan yang sangat penulis butuhkan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.

5. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah Yang Maha Kuasa melimpahkan rahmat dan kasih-Nya kepada mereka, atas segala kebaikan yang telah mereka berikan kepada penulis.

Akhir kata semoga tugas akhir ini bisa bermanfaat bagi semua pihak khususnya bagi yang berminat dibidang manufaktur.

Yogyakarta, Juli 2003

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL -----	i
HALAMAN PERSETUJUAN-----	ii
HALAMAN PENGESAHAN -----	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN-----	iv
MOTTO HIDUP-----	v
KATA PENGANTAR-----	vi
DAFTAR ISI-----	viii
DAFTAR GAMBAR -----	xii
DAFTAR TABEL-----	xv
INTISARI-----	xvi
ABSTRAK-----	xvii
BAB I PENDAHULUAN-----	1
1. 1. Latar Belakang Masalah -----	1
1. 2. Tujuan Penelitian-----	2
1. 3. Permasalahan-----	2
1. 4. Batasan Masalah-----	2
1. 5. Metodologi Penelitian -----	3
BAB II LANDASAN TEORI -----	4
2. 1. Baja -----	4
2. 1. 1. Klasifikasi Baja Karbon -----	5
2. 1. 2. Pengaruh Unsur Paduan Dalam Baja-----	7

2. 1. 3. Pengelasan Pada Baja Karbon Rendah-----	79
2. 2. Las Elektroda Terbungkus-----	19
2. 3. Elektroda dan Efeknya Terhadap Las -----	20
2. 4. Siklus Thermal Daerah Lasan-----	22
2. 5. Efek Metalurgi pada Pengelasan -----	23
2. 6. Perubahan Susunan Kristal Daerah Las-lasan -----	26
2. 7. Heat Affected Zone -----	27
2. 8. Weldability -----	28
2. 9. Efek Mekanis-----	29
2. 10. Ketangguhan dan Pengetasan Bahan Las -----	30
2. 11. Retak Las -----	32
2. 11. 1. Retak Dingin-----	32
2. 11. 2. Retak Panas -----	33
2. 11. 3. Usaha Menghindari Retak Las -----	33
2. 12. Perlakuan Panas pada Logam Las -----	34
BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN-----	36
3. 1. Diagram Alir Penelitian-----	36
3. 2. Penyediaan Bahan-----	37
3. 3. Pelaksanaan Penelitian -----	38
3. 3. 1. Komposisi-----	38
3. 3. 2. Proses Pengelasan -----	38
3. 3. 3. Prosedur Uji Tarik-----	40
3. 3. 4. Prosedur Uji Struktur Mikro -----	44

3. 3. 5. Prosedur Uji Kekerasan -----	45
BAB IV HASIL PENELITIAN-----	49
4. 1. Pengujian Tarik-----	49
4. 1. 1. Raw Material -----	49
4. 1. 2. Spesimen Sambungan Las Tanpa Proses Annealing -----	53
4. 1. 3. Spesimen Sambungan Las dengan Proses Annealing -----	55
4. 1. 5. Pembahasan Pengujian Tarik -----	59
4. 2. Pengujian Struktur Mikro-----	60
4. 2. 1. Perhitungan Skala Gambar -----	60
4. 2. 2. Hasil Pengamatan Struktur Mikro pada Raw Material-----	61
4. 2. 3. Hasil Pengamatan Struktur Mikro pada Sambungan Las Baja A-287 -----	62
4. 2. 4. Hasil Pengamatan Struktur Mikro pada Sambungan Las Baja A-287 yang Mengalami Proses Annealing -----	62
4. 2. 5. Pembahasan Struktur Mikro-----	65
4. 3. Hasil Pengujian Kekerasan -----	66
4. 3. 1. Raw Material -----	66
4. 3. 2. Spesimen Sambungan Las -----	68
4. 3. 3. Spesimen Sambungan Las dengan Proses Annealing -----	70
4. 3. 5. Pembahasan Pengujian Kekerasan -----	72
BAB V KESIMPULAN -----	74
5. 1. Kesimpulan-----	74
5. 1. 1. Pengujian Tarik-----	74

5. 1. 2. Pengujian Kekerasan-----	74
5. 1. 3. Struktur Mikro -----	74
5. 2. Penutup-----	75
DAFTAR PUSTAKA -----	76
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. : Diagram Keseimbangan Besi-Karbon-----	5
Gambar 2. 2. : Struktur Mikro Perlit-Campuran Ferit dan Fe_3C -----	6
Gambar 2. 3. : Jenis-Jenis Sambungan Dasar-----	10
Gambar 2. 4. : Alur Sambungan Las Tumpul-----	11
Gambar 2. 5. : Sambungan T -----	12
Gambar 2. 7. : Sambungan Sudut -----	13
Gambar 2. 8. : Sambungan Tumpang-----	13
Gambar 2. 9. : Sambungan Sisi-----	14
Gambar 2. 10. : Sambungan dengan Penguat-----	14
Gambar 2. 11. : Las Tumpul Alur V-----	15
Gambar 2. 12. : Las Tumpul Alur V Ganda-----	15
Gambar 2. 13. : Las Tumpul Alur Tirus Tunggal-----	16
Gambar 2. 14. : Las Tumpul Alur Tirus Ganda -----	16
Gambar 2. 15. : Las Tumpul Alur J Tunggal -----	17
Gambar 2. 16. : Las Tumpul Alur J Ganda-----	17
Gambar 2. 17. : Las Tumpul Alur U Tunggal-----	18
Gambar 2. 18. : Las Tumpul Alur U Ganda-----	18
Gambar 2. 19. : Las Elektroda Terbungkus -----	19
Gambar 2. 20. : Struktur Makro Sambungan Las -----	22
Gambar 2. 21.: Diagram CCT Hubungan antara Struktur Mikro dan Kecepatan Pendinginan -----	24
Gambar 2. 22.: Sambungan Las -----	27

Gambar 2. 23. : Skema Struktur Mikro pada Daerah HAZ -----	31
Gambar 2. 24. : Perubahan Temperatur Transisi Pada Lasan-----	31
Gambar 3. 1. : Raw Material -----	38
Gambar 3. 2. : Spesimen Uji Tarik-----	39
Gambar 3. 3. : Bentuk Sambungan V Ganda -----	39
Gambar 3. 4. : Patahan pada Batang Uji Tarik -----	40
Gambar 3. 5. : Hubungan Tegangan dan Regangan Uji Tarik Baja Lunak ----	41
Gambar 3. 7. : Pengujian Vickers -----	46
Gambar 4. 1. : Spesimen Awal -----	49
Gambar 4. 2. : Spesimen Akhir-----	49
Gambar 4. 3. : Grafik Speimen Tegangan Maksimum-----	57
Gambar 4. 4. : Grafik Spesimen Tegangan Patah -----	57
Gambar 4. 5. : Grafik Spesimen Batas Tegangan Elastis-----	58
Gambar 4. 6. : Grafik Spesimen Regangan-----	58
Gambar 4. 7. : Kawat Kalibrasi-----	60
Gambar 4. 8. : Struktur Mikro Raw Material Baja A-287-----	61
Gambar 4. 9. : Struktur Mikro Logam Induk Sambungan Las -----	62
Gambar 4. 10. : Struktur Mikro HAZ -----	62
Gambar 4. 11. : Struktur Mikro Logam Las-----	63
Gambar 4. 12. : Struktur Mikro Logam Induk Sambungan Las dengan Proses Annealing-----	63
Gambar 4. 13. : Struktur Mikro HAZ dengan Proses Annealing-----	64
Gambar 4. 14. : Struktur Mikro Logam Las dengan Proses Annealing-----	64

Gambar 4. 15. : Struktur Mikro Cacat Las -----	65
Gambar 4. 16. : Spesimen Uji Kekerasan Raw Material -----	66
Gambar 4. 17. : Spesimen Uji Kekerasan Sambungan Las -----	68
Gambar 4. 18. : Spesimen Uji Kekerasan Sambungan Annealing -----	70
Gambar 4. 19. : Grafik Nilai Kekerasan Base Metal -----	71
Gambar 4. 20. : Grafik Nilai Kekerasan HAZ -----	72
Gambar 4. 21. : Grafik Nilai Kekerasan Weld Metal-----	72

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. : Hasil Pengujian Tarik Spesimen Raw Material -----	52
Tabel 4. 2. : Hasil Pengujian Tarik Spesimen Sambungan Las Tanpa Proses Annealing-----	54
Tabel 4. 3. : Hasil Pengujian Tarik Spesimen Sambungan Las dengan Proses Annealing-----	56

INTISARI

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh sambungan las pada baja A-287. Pengujian dilakukan pada plat dengan tebal 2,8 mm yang dilas dengan tipe sambungan V ganda. Pengelasan dilakukan dengan las elektroda terbungkus menggunakan tegangan 20 volt, arus 80 A, elektroda tipe E6013 dan kecepatan pengelasan 5 mm/dt.

Pengaruh sambungan las dan sambungan las dengan proses annealing diamati pada kekuatan tarik, tegangan patah, batas tegangan elastis, kekerasan Vickers dan struktur mikro.

Dari hasil penelitian terjadi penurunan kekuatan tarik pada sambungan las sekitar 0,073% dan pada sambungan las dengan proses annealing turun sekitar 0,17%. Untuk *raw material*, ferit tampak berbentuk matrik putih dan ukurannya lebih besar dibandingkan dengan proses setelah perlakuan *annealing* terlihat susunan butiran ferit dan perlit lebih rapat. Bagian HAZ terlihat perbedaan antara batas butir dengan logam las, tetapi setelah mengalami proses *annealing* 650° C butiran logam las menjadi lebih rapat.

ABSTRACT

This research is aimed at knowing the effect of welding on metal A-287. The test is conducted on the 2,8 thick plate which is welded by type V-double joint. The welding done by shielded metal arc welding using the voltage 20 V, electric current 80 A, electrode type E6013 and welding velocity 5 mm/s.

The effect of welding and annealing process welding observed on ultimate load, breaking strength, elastic limit, hard Vickers and micro structure.

The result of the research shows that ultimate load on the welding decreases around 0,073% and on the welding annealing process decreases around 0,17%. For raw material, ferrite seems more like the white matrix and the size is bigger than the ferrite after the annealing process, the structure of the grain ferrite is dense. HAZ shows the difference of grain limit and weld metal, but after having 650⁰ C annealing process the welding metal grain became denser.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Baja bila dipanaskan pada suhu yang tinggi akan mengalami perubahan struktur, sehingga sifat-sifat mekanik dan fisis yang dimiliki berubah. Penelitian ini dilakukan melalui dua proses pemanasan yaitu panas akibat proses pengelasan dengan menggunakan las busur listrik dan proses annealing.

Penulis menggunakan material baja lunak tipe A-287 sebagai spesimen dengan kadar C-0,178 %, Si-0,01 %, Mn-0,842 %, P-0,009 %, S-0,11 %, Al-0,0042 %, N-0,0012 %, Cr-0,008 %, Ni-0,02 %, Cu-0,22 %, Nb-0,007 %, V-0,003 %, Mo-0,001 %, Ti-0,000%, Sn-0,002 % dan Fe-98,58 %. Proses pengelasan itu sendiri adalah proses penyambungan antara dua logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, karena proses ini maka logam disekitar lasan mengalami siklus thermal cepat yang menyebabkan perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan thermal. Hal-hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las, retak dan lain sebagainya yang pada umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dan konstruksi yang dilas.

Proses pemanasan annealing dilakukan pada suhu 650° C, dengan proses tersebut maka akan diketahui apakah terdapat kesamaan baik dalam struktur mikro atau sifat-sifat mekaniknya, serta dapat diketahui sampai dimana dan seberapa jauh pengaruh panas las listrik dan proses annealing terhadap baja lunak.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimal, tegangan patah, batas tegangan elastis, kekerasan serta perbedaan ataupun persamaan dalam struktur mikro dan kekerasannya, setelah baja lunak tersebut mengalami proses pengelasan dan annealing atau dapat dikatakan untuk mengetahui kompirasi siklus panas las dan annealing pada sifat mekanis baja lunak tersebut.

1.3. Permasalahan

Pengelasan yang banyak digunakan dalam proses produksi dan konstruksi yang menggunakan baja lunak adalah Las Busur Listrik Elektroda Terbungkus. Hasil penelitian diperoleh dari pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan tarik, struktur mikro untuk menganalisis pengamatan bentuk dan ukuran butir kristal logam dan pengujian kekerasan untuk analisis kekerasan pada daerah logam induk, HAZ dan logam las. Penelitian ini dilaksanakan guna menganalisis sampai dimana pengaruh panas lasan dan proses annealing.

1.4. Batasan Masalah

Analisis difokuskan dalam pengamatan uji tarik, struktur mikro dan uji kekerasan Vickers pada baja lunak baik akibat dari proses pengelasan dengan media pendingin udara maupun proses annealing. Penelitian ini menggunakan plat baja lunak dengan tebal 2,8 mm.

1.5. Metodologi Penelitian

Penyusunan penelitian ini menggunakan beberapa metode antara lain :

1. Metode observasi adalah pengamatan percobaan di laboratorium.
2. Metode studi literatur adalah penelitian melalui studi kepustakaan untuk mempelajari literatur dan referensi yang berkaitan dengan materi penelitian.
3. Metode eksperimen adalah penelitian dengan menggunakan percobaan langsung.
4. Metode dokumentasi adalah penelitian dengan mengambil data-data mengenai logam.

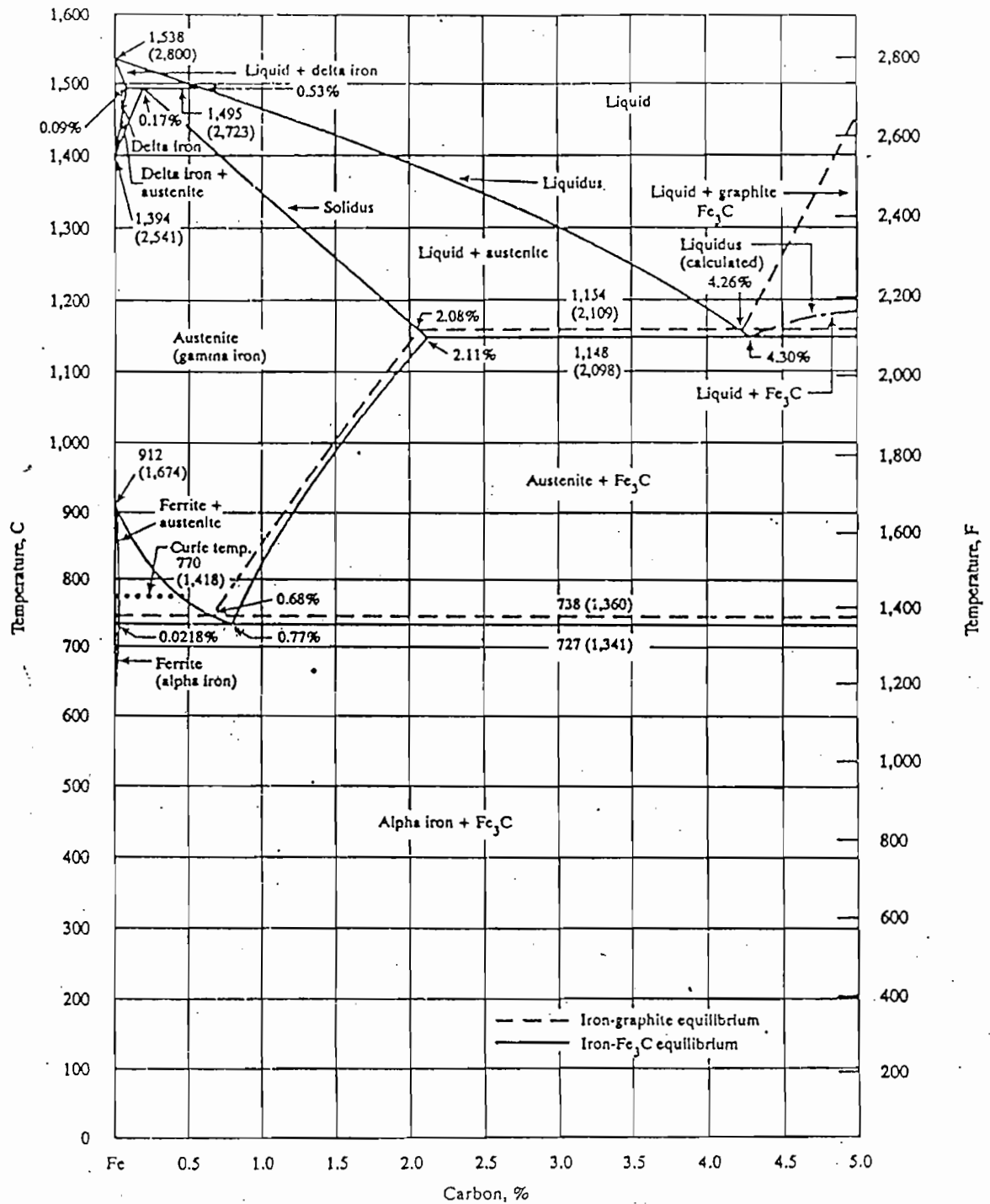
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Baja

Baja diperoleh melalui serangkaian proses pada biji besi yang merupakan hasil tambang, dilebur dalam dapur tinggi. Besi mentah hasil dapur tinggi masih mengandung unsur C, Si, Mn dan S dengan jumlah cukup besar, kandungan unsur-unsur tersebut dikurangi lewat proses oksidasi peleburan untuk memperoleh baja sesuai dengan yang diinginkan. Baja adalah paduan dari besi karbon dan unsur-unsur lainnya seperti P, Mn, Si dan S, dengan kadar karbon kurang dari 2%. Pada gambar 2.1 terlihat batas γ (austenit) larutan padat pada diagram fasa paduan besi karbon berawal dari titik 912 °C untuk besi murni hingga 727 °C untuk paduan dengan kadar karbon sebanyak 0,77%, kemudian meningkat hingga 1148 °C untuk paduan dengan kadar 2,11%.

Seandainya paduan besi-karbon yang mengandung karbon lebih dari 0,77% didinginkan hingga mencapai garis γ (austenit), Fe_3C akan mengendap dengan laju sedemikian rupa hingga pada suhu 727 °C hanya tinggal karbon sebanyak 0,77% sebagai larutan padat besi γ (austenit). Bila paduan besi karbida dengan kadar karbon kurang dari 0,77% didinginkan hingga garis batas besi- γ , maka besi α (ferit) akan memisahkan diri terlebih dahulu. Daya larut karbon dalam austenit sedemikian rupa sehingga pada suhu 727 °C dicapai lagi larutan padat karbon 0,77%.



Gambar 2.1. Diagram Keseimbangan Besi – Karbon
 Sumber: Bahan Teknik Manufaktur, Viktor Malau

Pada suhu 727 °C austenit yang mengandung karbon 0,77% bertransformasi dalam keadaan seimbang membentuk campuran dengan kadar ferit dan sementit tertentu yang disebut perlit (gambar 2.2). Jumlah perlit meningkat dari nol pada kadar karbon sangat rendah hingga 100%, yaitu bila baja mengandung karbon 0,77%. Setelah itu, ketika karbon naik mencapai 2,11%, kadar perlit turun karena kelebihan karbon hanya akan membentuk Fe₃C. Kekerasan dan kekuatan naik dan keuletan turun berbanding lurus dengan jumlah perlit.



Gambar 2.2. Struktur Mikro Perlit-Campuran Ferit dan Fe₃C
Sumber : Teknik Pengecoran Logam, Tata Surdia & Kenji Chijiwa

2.1.1 Klasifikasi Baja Karbon

Baja karbon dapat diklasifikasikan kedalam kelompok-kelompok sebagai berikut :

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah mengandung kadar karbon kurang dari 0,3%, yang dapat dikelompokkan dalam :

- a. Baja lunak khusus, yang umumnya berbentuk pelat-pelat tipis.

- b. Baja sangat lunak, yang umumnya berbentuk batang kawat.
- c. Baja lunak dan setengah lunak, biasanya digunakan pada konstruksi umum.

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang mengandung kadar karbon antara 0,3% sampai 0,45%, dapat dikelompokkan dalam :

- a. Baja setengah keras dan baja keras dimana penggunaannya pada alat-alat mesin perkakas.
- b. Baja karbon sedang ini sudah lebih kuat dan lebih keras dimana penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah yang digunakan bila diperlukan kekuatan dan kekakuan yang cukup.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang kandungan karbonnya antara 0,45% sampai 1,7%, dapat dikelompokkan dalam baja keras dan sangat keras dimana penggunaannya untuk rel, pegas dan kawat piano.

2.1.2. Pengaruh Unsur Paduan dalam Karbon

1. Sulfur (S) dan Phosfor (P)

Kadar S dalam jumlah banyak menjadikan baja rapuh pada suhu tinggi sedangkan unsur P menjadikan baja rapuh pada suhu rendah. Kadang-kadang unsur P perlu ditambahkan agar mudah dikerjakan dengan mesin perkakas dan juga untuk mendapatkan ukuran tatal lebih kecil ketika dikerjakan dengan mesin otomatis.

2. Cobalt (Co)

Pada umumnya unsur Co digunakan bersama-sama dengan unsur lainnya. Cobalt menaikkan daya tahan aus dan menghalangi pertumbuhan butir.

3. Silisium (Si)

Terkandung dalam jumlah yang kecil didalam semua besi dan dibubuhkan dalam jumlah yang lebih besar pada jenis-jenis istimewa. Meningkatkan kekuatan, kekerasan dan kemampuan di perkakas secara keseluruhan, kekenyalan, ketahanan terhadap panas dan karat, menurunkan tegangan.

4. Mangan (Mn)

Unsur mangan terkandung didalam semua bahan besi dan dibubuhkan dalam jumlah besar pada jenis-jenis istimewa. Meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan temper, ketahanan aus, penguatan pada pembentukan dingin, menurunkan kemampuan serpih.

5. Titanium (Ti)

Memiliki kekuatan yang sama seperti baja, mempertahankan sifatnya hingga 400 derajat celcius. Meningkatkan kekuatan hasil coran pada temperatur tinggi, memperhalus butir kristal dan permukaan.

6. Molibdenum (Mo)

Kebanyakan dipadu dengan baja dalam ikatan dengan Cu, Ni dan V. Meningkatkan kekuatan tarik, batas rentang, kemampuan temper menyeluruh, ketahanan panas dan batas kelelahan, menurunkan regangan dan kerapuhan pelunakan.

7. Vanadium (V)

Mempunyai dampak mirip Mo dalam baja, namun tanpa mengurangi regangan. Meningkatkan kekuatan, keuletan dan ketahanan panas.

8. Nikel (Ni)

Bila baja karbon dan nikel dipadu maka paduan ini dapat dilas, disolder dan diberikan penggarapan mengelupas serpih dengan baik serta dapat dibentuk dalam keadaan dingin dan panas. Meningkatkan keuletan, kekakuan, pengelasan menyeluruh dan ketahanan karat. Menurunkan kecepatan pendinginan dan regangan panas.

9. Krom (Cr)

Merupakan unsur terpenting untuk baja konstruksi dan perkakas, baja tahan karat dan asam. Meningkatkan kekerasan, kekakuan, ketahanan aus, ketahanan terhadap panas, karat dan asam. Menurunkan sedikit regangan.

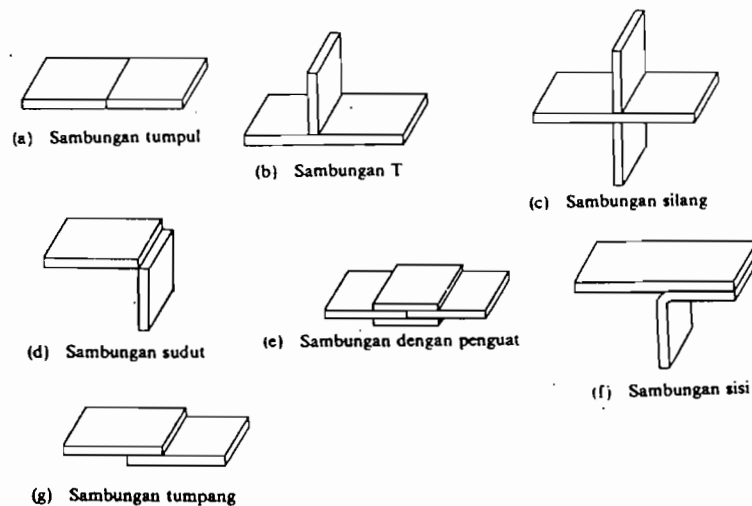
2.1.3. Pengelasan pada Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada dalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas.

Ada beberapa jenis sambungan yang biasanya digunakan dalam pengelasan diantaranya adalah :

1. Sambungan Las Dasar

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya dibagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut dan sambungan tumpang dalam pengembangannya sambungan dasar tersebut menjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi seperti Gambar 2.3



Gambar 2.3 Jenis-Jenis Sambungan Dasar

Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

2. Sambungan Tumpul

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Sambungan ini dibagi menjadi dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi sebagian seperti terlihat dalam Gambar 2.4. Sambungan penetrasi penuh dibagi menjadi sambungan tanpa pelat pembantu dan sambungan dengan pelat pembantu yang masih dibagi lagi dalam pelat pembantu yang

turut menjadi bagian dari konstruksi dan pelat pembantu yang hanya sebagai penolong pada waktu pengelasan saja.

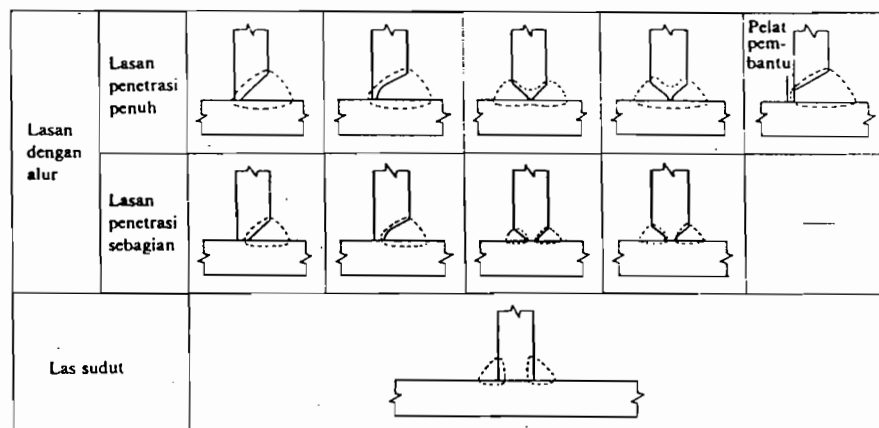
Jenis lasan Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (X)		—	
Tirus ganda (K)		—	
U ganda (H) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (DJ)		—	

Gambar 2.4 Alur Sambungan Las Tumpul

Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

3. Sambungan Bentuk T

Pada sambungan ini dibagi dalam dua jenis yaitu jenis las dengan alur dan jenis las sudut. Dalam pelaksanaan pengelasan mungkin ada bagian batang yang menghalangi hal ini dapat diatasi dengan memperbesar sudut alur.



Gambar 2.5. Sambungan T

Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

4. Sambungan Sudut

Dalam sambungan ini bila terjadi retak dapat dihindari dengan membuat alur pada pelat tegak seperti terlihat dalam Gambar 2.6. Bila pengelasan dalam tidak dapat dilakukan karena sempitnya ruang maka pelaksanaannya dapat dilakukan dengan pengelasan tembus atau pengelasan dengan pelat pembantu.

Lasan dengan alur	Lasan penetrasi penuh							
	Lasan penetrasi sebagian							
Gabungan lasan dengan alur dan las sudut								
Las sudut								

Gambar 2.7. Sambungan Sudut
 Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

5. Sambungan Tumpang

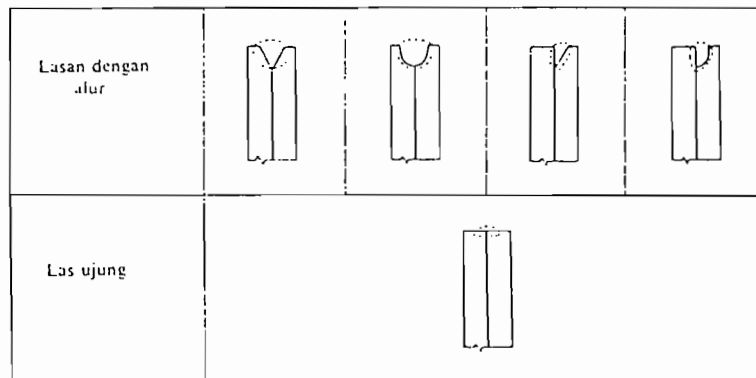
Sambungan tumpang dibagi dalam tiga jenis seperti terlihat dalam Gambar 2.8. Karena sambungan ini efisiensinya rendah, maka jarang digunakan untuk penyambungan konstruksi utama. Sambungan ini biasanya dilaksanakan dengan las sudut dan las sisi.

Las sudut	
Las sisi	

Gambar 2.8. Sambungan Tumpang
 Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

6. Sambungan Sisi

Sambungan sisi dibagi dalam sambungan las dengan alur dan sambungan las ujung seperti terlihat dalam Gambar 2.9. Untuk jenis yang pertama pelatnya harus dibuat alur, sedangkan pada jenis kedua pengelasan dilakukan pada ujung pelat tanpa ada alur.

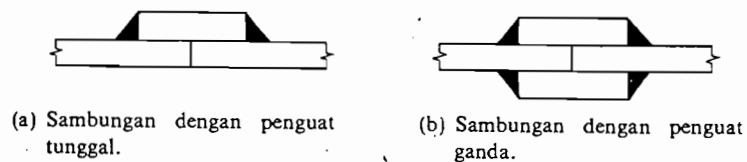


Gambar 2.9. Sambungan Sisi

Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

7. Sambungan dengan Pelat Penguat

Sambungan ini dibagi dalam dua jenis yaitu sambungan dengan pelat penguat tunggal dan sambungan dengan pelat penguat ganda seperti terlihat dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Sambungan dengan Penguat

Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

Berikut ini beberapa gambar cara penyambungan dalam pengelasan :

Jenis lasan	Tanda gambar	Keterangan
Las tumpul alur V		Tanda gambar bersudut 90°
Tempat lasan	Lasan	Tanda gambar
Sisi panah		
Di balik panah		
Tebal : 19 mm Dalam alur 16 mm Sudut alur 60° Celah akar 2 mm		
Dengan pelat penahan. Tebal : 12 mm Sudut alur 45° Celah akar 1,8 mm Penyelesaian : mesin	Dipotong dengan mesin 	

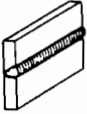
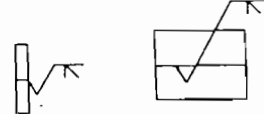
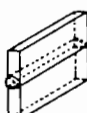
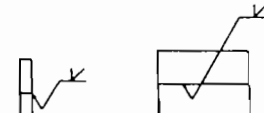
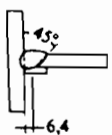
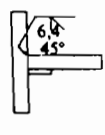
Gambar 2.11. Las Tumpul Alur V

Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

Jenis lasan	Tanda gambar	Keterangan
Las tumpul alur V ganda		Tanda membuat sudut 90°
Tempat lasan	Lasan	Tanda gambar
Kedua sisi		
Dalamnya alur Sisi panah : 16 mm Di balik panah 9 mm Sisi panah : 60° Di balik panah 90° Celah akar : 3 mm		

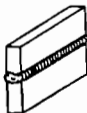
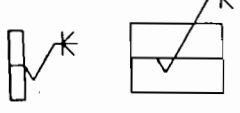
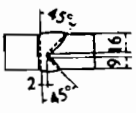
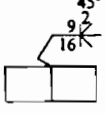
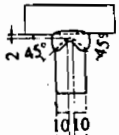
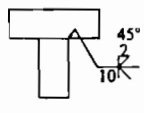
Gambar 2.12 Las Tumpul Alur V Ganda

Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

Jenis lasan	Tanda gambar	Keterangan
Las tumpul alur tirus tunggal	✓	Garis tegak dan garis miring membuat sudut 45°
Tempat lasan	Lasan	Tanda gambar
Sisi panah		
Di balik panah		
Sambungan T dengan penahan Sudut alur : 45° Celah akar : 6,4 mm		

Gambar 2.13 Las Tumpul Alur Tirus Tunggal

Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

Tempat lasan	Tanda gambar	Keterangan
Las tumpul alur tirus ganda	K	
Tempat lasan	Lasan	Tanda gambar
Kedua sisi		
Sisi panah Dalam alur 16 mm Sudut alur 45° Di balik panah dalam alur 16 mm sudut alur 45° Celah akar : 2 mm		
Sambungan T dalam alur : 10 mm sudut alur : 45° celah akar : 2 mm		

Gambar 2.14 : Las Tumpul Alur Tirus Ganda

Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

Tempat lasan	Tanda gambar	Keterangan
Las tumpul alur J tunggal		Garis tegak dan 1/4 lingkaran
Tempat lasan	Lasan	Tanda gambar
Sisi panah		
Di balik panah		
Dalam alur : 28 mm Sudut alut 35° Jari-jari akar : 13 mm Celah akar : 2 mm		

Gambar 2.15 : Las Tumpul Alur J Tunggal
Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryo Sumarto

Jenis lasan	Tanda gambar	Keterangan
Las tumpul alur J ganda		
Tempat lasan	Lasan	Tanda gambar
Kedua sisi		
Dalam alur : 24 mm Sudut alur : 35° Jari-jari akar : 13 mm Celah akar : 3 mm		

Gambar 2.16 : Las Tumpul Alur J Ganda
Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryo Sumarto

Jenis lasan	Tanda gambar	Keterangan
Las tumpul alur U tunggal		Garis tegak dan 1/2 lingkaran.
Tempat lasan	Lasan	Tanda gambar
Sisi panah		
Di balik panah		
Dalam alur		
Sudut alur : 25° Jari-jari akar 6 mm Celah akar : 0 mm		

Gambar 2.17 : Las Tumpul Alur U Tunggal
Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

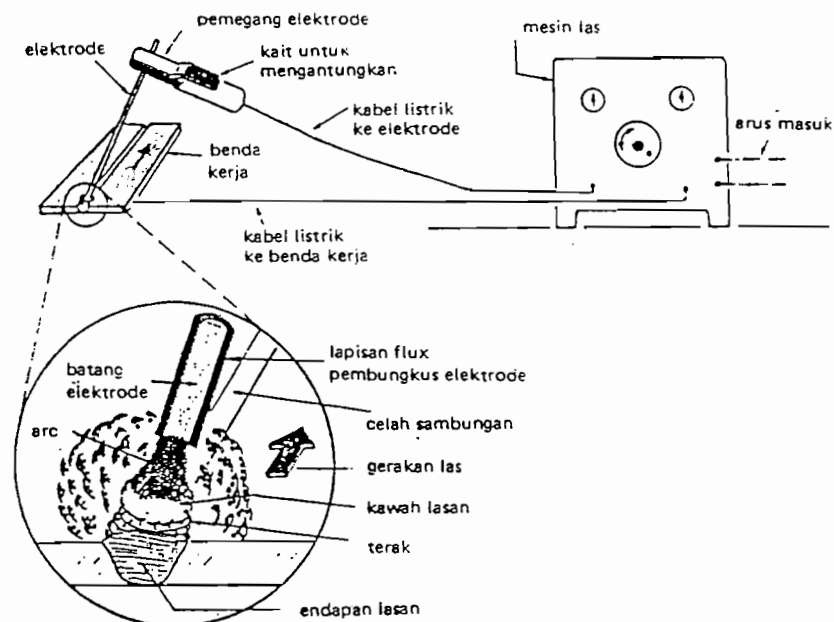
Jenis lasan	Tanda gambar	Keterangan
Las tumpul alur U ganda		
Tempat lasan	Lasan	Tanda gambar
Kedua sisi		
Dalam alur : 25 mm Sudut alur : 25° Jari-jari akar 6 mm Celah akar : 0 mm		

Gambar 2.18 : Las Tumpul Alur U Ganda
Sumber : Teknik Pengelasan Logam, Harsono Wiryosumarto

2.2. Las Elektroda Terbungkus

Pengelasan ini menggunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Gambar 2.19 dapat dilihat dengan jelas bahwa busur listrik terbentuk diantara logam induk serta ujung elektroda, karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair akhirnya membeku bersama.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi, bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus, sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar.



Gambar.2.19. Las Elektroda Terbungkus

Sumber : Teori dan Praktek Las, Drs. Mochamad Alip

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Secara umum dapat dikatakan bahwa logam mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Sedangkan pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan juga oleh komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Ada beberapa jenis fluks bahannya tidak dapat terbakar, tetapi berubah menjadi gas yang juga menjadi pelindung dari logam cair terhadap oksidasi.

2.3. Elektroda dan Efeknya Terhadap Las

Elektroda dapat dibedakan menjadi baja karbon rendah (baja lunak), baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang dan logam non ferro (elektroda bukan baja). Elektroda berdasarkan fungsinya dalam kaitan dengan hubungan pengelasan las listrik karena adanya loncatan busur nyala listrik akibat adanya jarak yang disengaja dan dijaga ketepatan ukurannya antara elektroda tersebut dengan benda. Pemilihan ukuran diameter elektroda tergantung dari perencanaan, ukuran las, posisi pengelasan, input panas serta keahlian dalam pengelasan.

Elektroda perlu disimpan ditempat yang kering dan hangat (10 sampai 15 °C) dengan kelembaban udara yang memadai, kadang-kadang elektroda yang sudah sangat lama mempunyai lapisan bulu berwarna putih yang disebabkan oleh kaca air pada elektroda. Las yang berkualitas jelek biasanya sebagai akibat jika digunakan

elektroda terkelupas, lembab atau rusak, jika elektroda kering digetarkan ditangan akan menghasilkan bunyi logam yang kuat, akan tetapi yang lembab mempunyai bunyi yang teredam. Fluks memegang peranan penting pada las elektroda terbungkus, karena fluks berfungsi untuk :

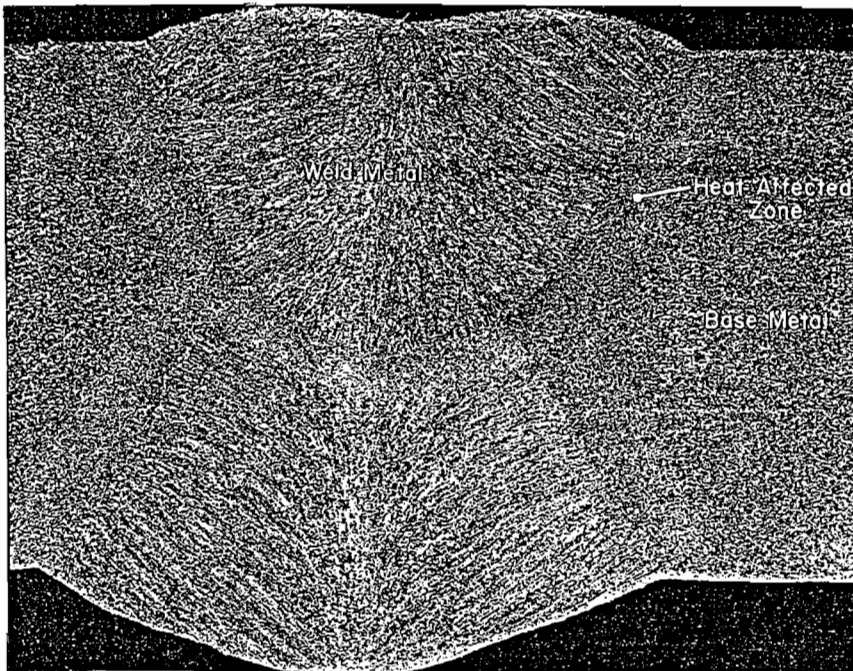
1. Membuat busur api stabil dan mudah dikontrol.
2. Melindungi logam cair terhadap udara di sekitarnya terutama oksigen dan nitrogen.
3. Menyediakan suatu terak pelindung yang membantu menurunkan kecepatan pendinginan logam las dengan demikian menurunkan kerapuhan akibat pendinginan.
4. Memungkinkan dipergunakannya posisi-posisi yang berbeda.

Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan yang tertentu pula. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan dengan bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, florida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi. Elektroda las yang ada pasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan-bahan fluks tertentu yang tergantung dari penggunaannya.

2.4. Siklus Termal Daerah Lasan

Daerah las terdiri dari 3 bagian yaitu : logam lasan, daerah pengaruh panas yang disebut HAZ (*Heat Affected Zone*) dan logam induk yang terpengaruh.

Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat, sedangkan logam induk tak terpengaruh adalah bagian logam dasar dimana logam panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifatnya.



Gambar 2.20. Struktur Makro Sambungan Las

Sumber : Materials and Processes in Manufacturing, E. Paul Degarmo

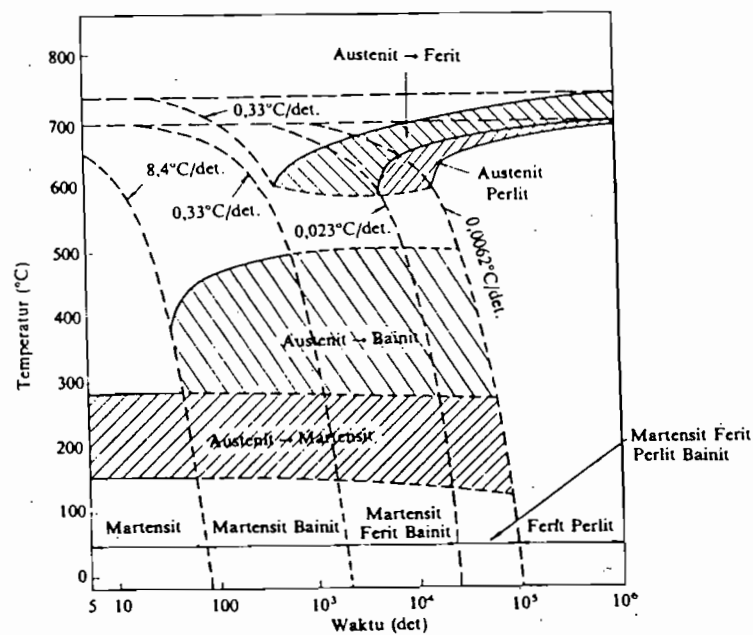
2.5. Efek Metalurgi Pada Pengelasan

Efek metalurgi pada pengelasan adalah akibat yang terjadi pada pengelasan, karena proses pemanasan dan pendinginan pada struktur logam yang dilas, seperti yang telah diketahui bahwa logam kristal memiliki sifat-sifat *alotropi* (sifat logam yang mudah berubah bila dipadu dengan unsur lain) yang menyebabkan logam bisa mempunyai bentuk kristal yang berbeda. Bentuk kristal yang berbeda ini dipengaruhi oleh susunan elemen paduan, suhu, perlakuan panas dan pengerjaan mekanis.

Proses pengelasan adalah memanaskan logam sampai suhu puncak dan logam tersebut dingin karena sumber panas bergerak kearah bagian pengelasan yang lain karena penyerapan panas oleh logam yang dingin. Logam induk dan logam yang mencair akibat pemanasan itu akan membentuk suatu reaksi yang nantinya akan mempunyai susunan elemen tertentu, dimana pencampuran logam tersebut mengakibatkan terbentuknya susunan elemen baru dari logam las sehingga memungkinkan terjadinya struktur kristal yang berbeda dari struktur sebelumnya. Salah satu faktor dari efek metalurgi pada proses pengelasan karena pemanasan dan pendinginan adalah perubahan struktur kristal.

Bentuk dan struktur kristal pada logam las tergantung pada beberapa faktor utama antara lain proses las yang dilakukan, parameter pengelasan, jenis bahan logam induk yang dilas, untuk memilih dan menentukan faktor tersebut dibutuhkan ketepatan karena hal ini akan mempengaruhi hasil lasan secara kualitatif, misalnya pengaruh terhadap sifat-sifat mekanis logam yaitu keliatan, kerapuhan, kekerasan, kekuatan tarik dan lain-lain.

Struktur mikro dari baja tergantung pada kecepatan pendinginannya dari suhu austenit sampai suhu kamar, karena perubahan struktur ini maka sifat-sifat mekanis yang dimilikinya juga berubah. Hubungan antara struktur mikro dan kecepatan pendinginan yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram CCT seperti pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21. Diagram CCT Hubungan antara Struktur Mikro dan Kecepatan Pendinginan
Sumber : Teknologi Pengelasan Logam, Harsono W & Toshieokumora

Apabila kecepatan pendinginan naik berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun. Struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran ferit-perlit kecampuran ferit-perlit-bainit-martensit, ferit-bainit-martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit.



Kekuatan baja ferit-perlit terutama batas luluhnya sangat tergantung pada ukuran butir ferit. Penelitian menunjukkan makin halus butir kristal maka makin rendah suhu transisi ulet getasnya, sehingga tindakan memperhalus butir kristal adalah tindakan yang tepat dalam usaha memperbaiki kekuatan dan ketangguhan baja ferit-perlit.

Daerah pengaruh panas adalah daerah yang sulit diawasi dan merupakan daerah terjelek diantara sambungan las. Hal ini disebabkan karena pada daerah tersebut terjadi perubahan struktur kristal yang sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari suhu 800 °C sampai 500 °C.

Mengetahui hal tersebut diatas maka dalam cara dan prosedur pengelasan suatu logam las perlu dipergunakan diagram CCT dari logam yang bersangkutan dengan maksud agar dikendalikan sesuai dengan sifat yang dibutuhkan agar austenit dapat lebih homogen. Perlu diingat bahwa diagram CCT hanya berlaku untuk satu jenis logam tertentu saja. Semakin cepat waktu yang dipakai untuk pendinginan maka kekerasan logam juga semakin tinggi. Hubungan tingkat kekerasan ini dapat disamakan langsung dengan ukuran struktur mikro kristal logam dimana semakin besar butiran kristal yang terjadi maka semakin besar pula tingkat kekerasannya.

2.6. Perubahan Susunan Kristal Daerah Las-lasan

Sebagaimana diketahui bahwa logam terdiri dari atom-atom yang membentuk kisi-kisi (susunan) kristal serta karena sifat alotropinya maka suatu logam mempunyai bentuk kisi-kisi kristal yang tidak sama satu dengan yang lainnya. Bentuk kristal tersebut dipengaruhi oleh susunan komposisi kimia logam, temperatur, pengerjaan mekanis serta perlakuan panas atau heat treatment.

Bertolak dari kendala-kendala tersebut maka bila akan melakukan pekerjaan mengelas logam yang terjadi adalah memanaskan logam hingga temperatur puncak dari logam (*melting point*) dan kemudian logam las-lasan tersebut dingin karena sumber panas bergerak kearah bagian lain dari sambungan dan penyerapan panas oleh logam induk yang dingin.

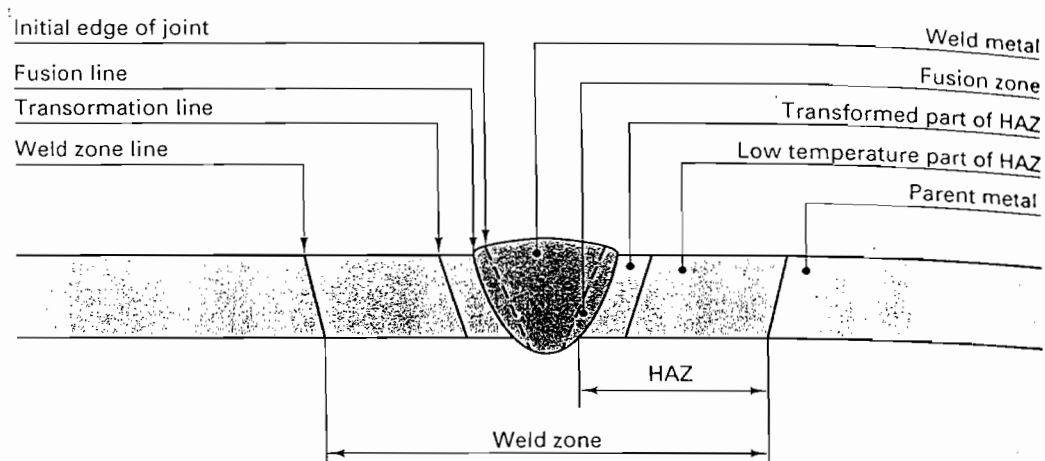
Dalam hubungan ini logam lasan dan daerah sekitarnya mengalami siklus thermal dimana pencairan dan pendinginan pada lasan berlangsung dan sifatnya lokal sehingga sangat dimungkinkan dalam fase pendinginan (rekristalisasi) akan terbentuk corak kristal baru yang berbeda dari sebelumnya.

Susunan kristal yang terbentuk pada daerah lasan mempunyai beragam bentuk dan ukurannya. Mulai dari daerah pengaruh panas atau HAZ susunan kristalnya yang paling dekat dengan logam las atau *weldment* terlihat susunan kristalnya yang kasar mengisyaratkan susunan kristal yang keras dan rapuh. Susunan ini terbentuk karena pertumbuhan kristal bermula dari daerah pinggir logam las. Pada jarak yang agak bergeser sedikit lagi dari sumbu las daerah yang pertama atau yang disebut daerah

tengah dari HAZ susunan kristalnya agak sedikit lebih halus, karena daerah HAZ temperaturnya tidak sama maka susunan kristal dan sifat mekanisnya berbeda pula.

2.7. Heat Affected Zone (HAZ)

Daerah las-lasan tepatnya pada daerah pengaruh panas yang dalam bahasa Inggrisnya adalah *Heat Affected Zone* dan disingkat HAZ merupakan daerah yang sulit sekali diawasi, pada daerah ini susunan kristalnya berubah. Lebar daerah lasan tergantung pada proses pengelasannya serta teknik pengelasannya, namun pada umumnya keberadaan bagian dari sambungan las dibatasi oleh *fusion line* atau garis penggabungan dengan *weldment*. Daerah garis penggabungan tersebut dapat diamati dengan mengetsa penampang las.



Gambar 2.22. Sambungan Las
Sumber : Materials and Processes in Manufacturing, E. Paul Degarmo

2.8. Weldability

Menurut istilah terminologinya, *weldability* adalah kemampuan untuk membentuk gabungan atau penyambungan kuat akibat terjadinya pembekuan dari kondisi yang cair. *Weldability* dapat diartikan pula sebagai suatu kemampuan logam untuk dilakukan pengerjaan las-lasan dan menghasilkan penyambungan yang memuaskan, hal ini disebabkan oleh beberapa unsur yang mempengaruhi diantaranya ialah kemampuan penguapan logam cair terutama sekali terhadap elemen non logam, kebiasaan beroksidasi dari logam cair dimana oksidasi menghasilkan gas-gas ataupun oksida-oksida yang menyebabkan kualitas dari hasil las-lasan rendah (misalnya mudah korosi, retak las, pengetasan dan lain-lain), ada atau tidaknya perubahan susunan kristal sehingga menyebabkan berubahnya sifat-sifat mekanis, konduktivitas panas yaitu kemampuan penghantar panas. Kriteria-kriteria diatas sangat menentukan indentifikasi apakah suatu jenis logam tersebut lebih baik ataukah justru terbalik *weldability* nya.

Baja karbon rendah termasuk yang banyak untuk diperlakukan proses lebih lanjut diantaranya adalah dalam proses penyambungan yang menggunakan metode pengelasan. Hal ini karena baja karbon rendah yang juga disebut baja lunak banyak sekali memenuhi kriteria tuntutan sifat *weldability* sehingga sifat mampu lasnya memuaskan.

Berangkat dari keterangan tersebut, jelaslah kiranya mengelas tidak hanya pengerjaan melekatkan dua logam yang disambung sehingga terlihat *weld bead* atau las-lasannya kokoh, akan tetapi juga harus diperhatikan mutu dari las-lasan tersebut

jadi harus memenuhi persyaratan-persyaratan tertentu baik ditinjau dari beban kerja, perubahan sifat-sifat mekanis, tahan tidaknya terhadap korosi, berubah atau tidaknya susunan kristal dari las-lasan, terdapatnya cacat baik yang mikro maupun makro, terdapat tidaknya tegangan sisa atau internal stress pada sambungan las dan masih banyak lagi yang lain.

Keberhasilan pengerjaan las suatu logam dipengaruhi oleh komposisi kimia yang terkandung di dalam material logam yang dilas tersebut, hal ini bisa mempengaruhi terbentuknya susunan kristal serta sifat-sifat mekanisnya yaitu pengerasan pada baja ferit, penambahan atau pengurangan kekuatan pada HAZ.

Komposisi kimia dengan prosentase campuran $\leq 0,5\%$ disebut pengotor yang bersifat merusak. Unsur-unsur paduan yang terkandung didalam material logam tersebut antara lain : nitrogen, sulfur, fosfor, karbon, mangan, silisium, krom, nikelium, molibdenum, aluminium, titanium, vanadium, tembaga dan lain-lain yang turut membentuk dalam paduan.

2.9. Efek Mekanis

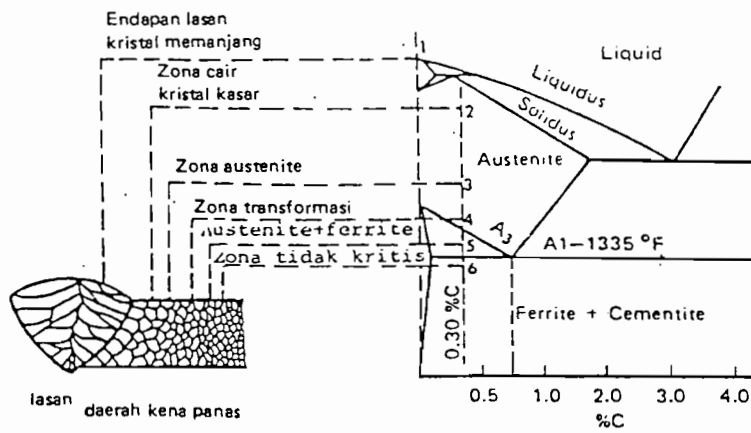
Beberapa sifat mekanis yang memerlukan perhatian pada las-lasan diantaranya adalah kekerasan, keuletan, kerapuhan, kelelahan, kemampuan tarik maksimal, pengecilan penampang akibat tarikan, tegangan-tegangan sisa didalam las-lasan dan lain sebagainya.

Disamping sifat-sifat mekanis tersebut sebagian besar dipengaruhi oleh komposisi kimianya. Lebih besar kandungan karbonnya lebih besar tingkat kesulitan

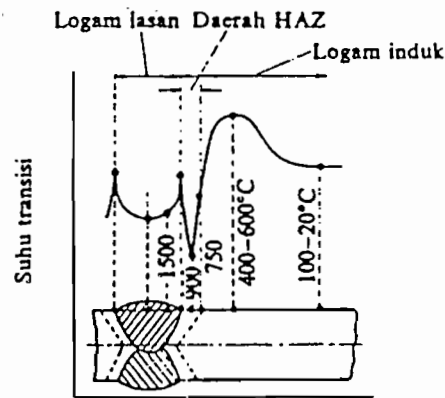
dijumpai dalam pengelasan dimana hal ini dipengaruhi oleh menurunnya konduktivitas panas secara listrik, kemungkinan-kemungkinan terjadinya perubahan susunan kristal dan efek daripada proses pemanasan maupun proses pendinginan sebagai akibat dari pengelasan, hal ini berhubungan dengan semakin besar kandungan karbonnya akan semakin besar kecepatan pendinginan kristal dan semakin banyak pula butiran kristal yang terbentuk sehingga akan mempengaruhi sifat-sifat mekanis yang muncul.

2.10. Ketangguhan dan Penggetasan Batas Las

Struktur logam pada daerah pengaruh panas atau HAZ berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las, seperti yang terlihat pada Gambar 2.23. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah ini dinamakan batas las, di dalam daerah-daerah pengaruh panas, besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan. Siklus termal yang terjadi sangat rumit maka dengan sendirinya perubahan ketangguhannya pun sangat rumit, sebagai contoh hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.23 Skema Struktur Mikro pada Daerah HAZ
 Sumber : Teknologi Pengelasan Logam, Harsono W & Toshieokumora



Gambar 2.24 Perubahan Temperatur Transisi pada Lasan
 Sumber : Teknologi Pengelasan Logam, Harsono W & Toshieokumora

Pada daerah batas las dimana butir-butirnya sangat kasar, logam menjadi sangat getas dan disebut pengetasan batas las. Kegetasan dari batas las ini disamping disebabkan butir-butir kasar yang mungkin juga karena cacat-cacat las atau titik-titik pusat konsentrasi tegangan dalam. Berhubungan dengan hal tersebut, maka usaha-usaha pengurangan peregangan dalam pada batas las sangat membantu dalam menjamin ketangguhan sambungan las. Seperti telah dikemukakan sebelumnya

bahwa ketangguhan lasan yang terbentuk tergantung pada suhu pemanasan maksimum dan kecepatan pendinginan 800 °C sampai suhu 500 °C.

2.11. Retak Las

Diantara pengaruh-pengaruh yang terdapat sebagai akibat dari proses pengelasan adalah kegagalan hasil lasan dengan adanya cacat las yang berupa retak las-lasan. Maka dari itu perencanaan parameter las dan prosedur pengelasan yang benar akan menentukan keberhasilan las.

2.11.1. Retak Dingin di Daerah Pengaruh Panas

Retak dingin di daerah pengaruh panas atau HAZ biasanya terjadi antara beberapa menit sampai 48 jam sesudah pengelasan, karena itu retak ini disebut retak lambat. Retak dingin disebabkan tiga hal antara lain :

1. Struktur dari daerah pengaruh panas.
2. Hidrogen difusi di daerah las.
3. Tegangan.

Struktur di daerah pengaruh panas lasan (HAZ) ditentukan oleh komposisi kimia dari logam induk dan kecepatan pendinginannya. Retak dingin di daerah HAZ ini dalam proses pengelasan baja biasanya terjadi pada daerah martensit. Karena itu pemilihan bahan dengan kadar dari unsur perpaduan yang mempertinggi sifat mampu keras baja harus diusahakan serendah mungkin. Hal tersebut sangat peka terhadap retak las dalam kategori retak dingin.

Untuk pengaruh tegangan sisa bisa disebabkan oleh karena tebalnya plat baja yang sangat mempengaruhi jaminan kekuatan lasan. Untuk itu rancangan las, proses pengelasan, elektroda yang digunakan akan menentukan kualitas lasan itu sendiri agar terbebas dari tegangan sisa yang bisa menyebabkan terjadinya keretakan.

2.11.2. Retak Panas

Retak panas biasanya terjadi pada waktu logam las mendingin setelah pembekuan selesai. Retak ini terjadi karena adanya tegangan yang timbul karena penyusutan dan sifat baja yang ketangguhannya turun pada suhu sedikit dibawah suhu pembekuan. Dengan demikian maka retak ini akan terjadi pada batas butir, karena pada tempat tersebut biasanya terbentuk senyawa dengan titik cair rendah. Karena itu unsur seperti Si, Ni, S dan P akan mempertinggi kepekaan baja terhadap retak jenis ini.

2.11.3. Usaha Menghindari Retak Las

Penyebab utama dari terjadinya retak las adalah karena terjadi hidrogen difusi pada logam las dan besarnya tegangan yang bekerja pada daerah las, karena itu dalam menghindari terjadinya retak las pada daerah pengaruh panas, faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya hal-hal tersebut harus diusahakan serendah-rendahnya. Maka usaha-usaha penanggulangan untuk menghindari terjadinya retak las dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Menjaga agar tingkat hidrogen serendah mungkin dengan menggunakan elektroda hidrogen berpotensi rendah (H) dan memastikan elektroda kering serta tepi las harus bebas dari uap lembab.
2. Mengontrol kecepatan pendinginan dengan pemanasan lebih dulu kemudian dilakukan pengelasan.
3. Menghindari penambahan tegangan dengan mengontrol kecocokan sambungan las, mengontrol celah karena celah di atas 1,6 mm memperbesar resiko keretakan, mengontrol pengeleman karena makin banyak pengeleman memperbesar tingkat tegangan.

2.12. Perlakuan Panas Pada Logam Las

Dalam proses pengelasan selalu terjadi pencairan, pembekuan, pengembangan termal, perpendekan dan penyusutan sehingga menyebabkan logam menjadi getas serta terjadi konsentrasi tegangan, untuk mengatasi masalah ini logam dapat diberikan perlakuan panas.

Perlakuan panas dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu :

1. Anil

Spesimen dipanaskan sampai 600 atau 900°C. Setelah ditahan beberapa waktu pada suhu ini kemudian didinginkan secara perlahan. Tingkat keberhasilannya tinggi tetapi sulit untuk dilaksanakan dilapangan dan tidak dapat digunakan pada konstruksi yang besar.

2. Anil Suhu Tinggi

Spesimen dipanaskan sampai 900 atau 950°C setelah itu ditahan beberapa lama kemudian didinginkan secara perlahan. Keuntungan cara ini adalah seluruh tegangan sisa dapat dihilangkan. Kerugiannya adalah diperlukannya pemanasan yang merata dan harus dijaga agar tidak terjadi perubahan bentuk.

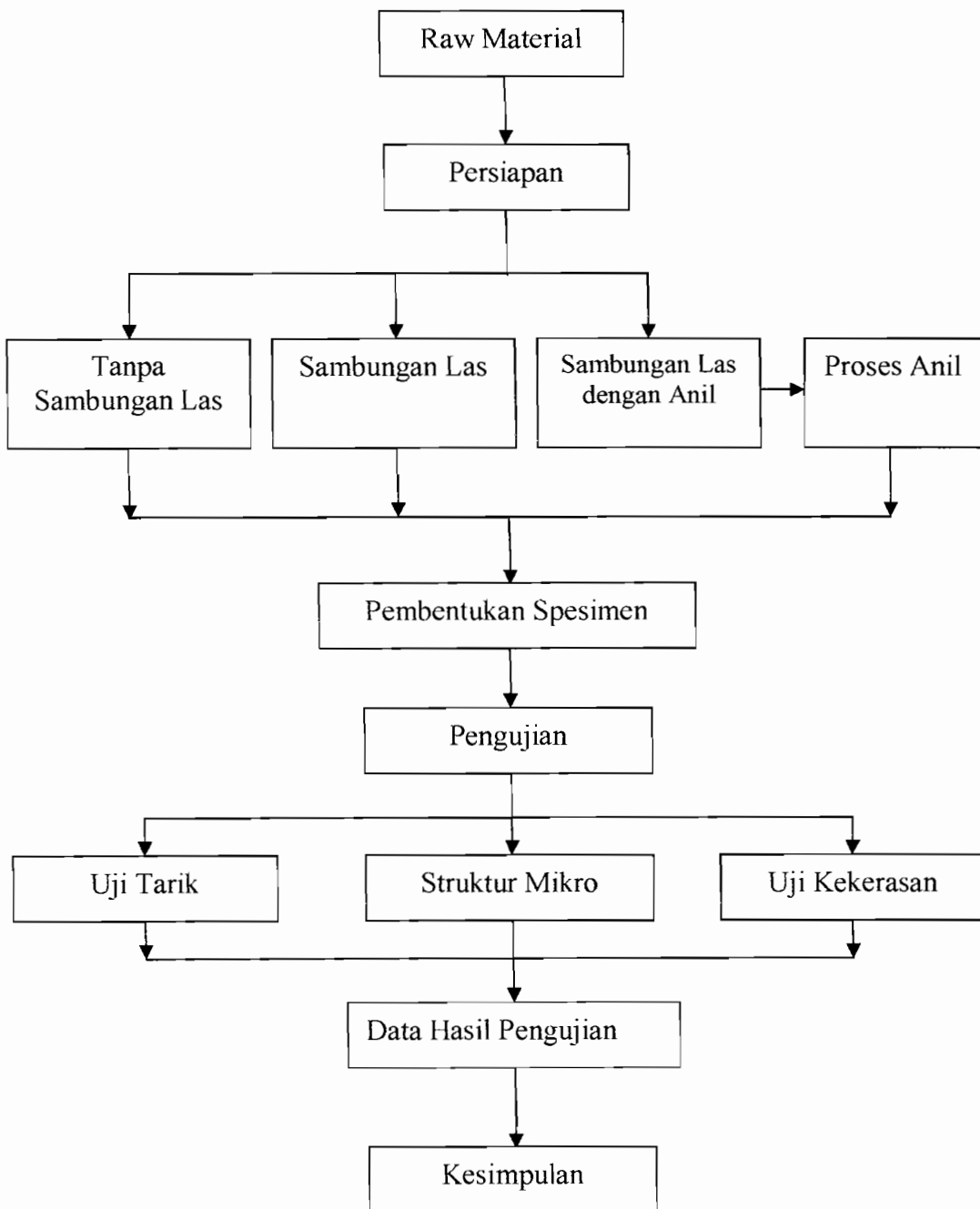
3. Pembebasan Tegangan Dengan Suhu Rendah

Kedua permukaan daerah lasan selebar 60 sampai 130 mm dipanaskan sampai 150 atau 200°C yang diikuti pendinginan dengan air. Cara ini baik untuk konstruksi-konstruksi besar tetapi pengurangan terhadap tegangan sisa rendah.

BAB III

PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



3.2. Penyediaan Bahan

- Material : Baja Karbon Rendah (plat)
- Ukuran Material :
 1. 300 mm x 300 mm x 2,8 mm
 2. Plat baja di bentuk spesimen uji tarik sebanyak 12 buah (4 buah tanpa las, 4 buah sambungan las, 4 buah sambungan las dengan proses annealing).
- Proses Pengelasan
 - Tegangan : 20 Volt
 - Kuat Arus : 80 A
 - Elektroda : AWS E6013
 - Kecepatan Pengelasan : 5 mm/detik
 - Lapisan Pelindung : *High Titanium*
 - Karakteristik : Elektroda E6013 pada dasarnya mempunyai kekuatan tarik terendah 42,2 kg/mm², perpanjangan 13%. Lapisan pelindung *titanium* lebih mudah bersenyawa dengan karbon.
 - Media Pendingin : Udara

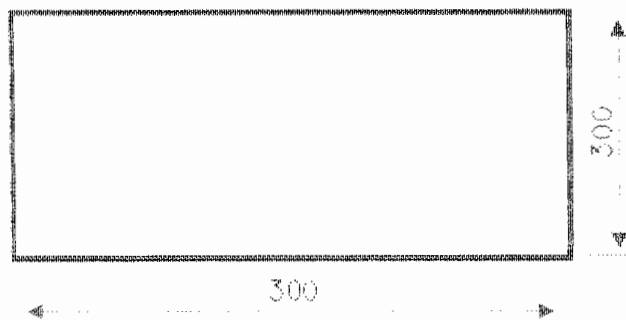
3.3. Pelaksanaan Penelitian

3.3.1. Komposisi

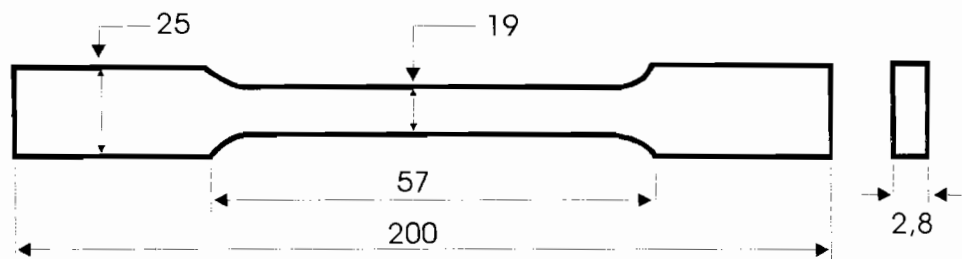
Kandungan (%)	Hasil
C	0,178
Si	0,01
Mn	0,842
P	0,009
S	0,011
Al	0,0042
N	0,0012
Cr	0,008
Ni	0,02
Cu	0,22
Nb	0,007
V	0,003
Mo	0,001
Ti	0,0005
Sn	0,002
Fe	98,58

3.3.2 Proses Pengelasan

Ukuran material yang digunakan untuk penelitian 300 mm x 300 mm x 2,8 mm, kemudian di bentuk spesimen uji tarik sebanyak 12 buah (4 buah tanpa las, 4 buah sambungan las, 4 buah sambungan las dengan proses *annealing*),

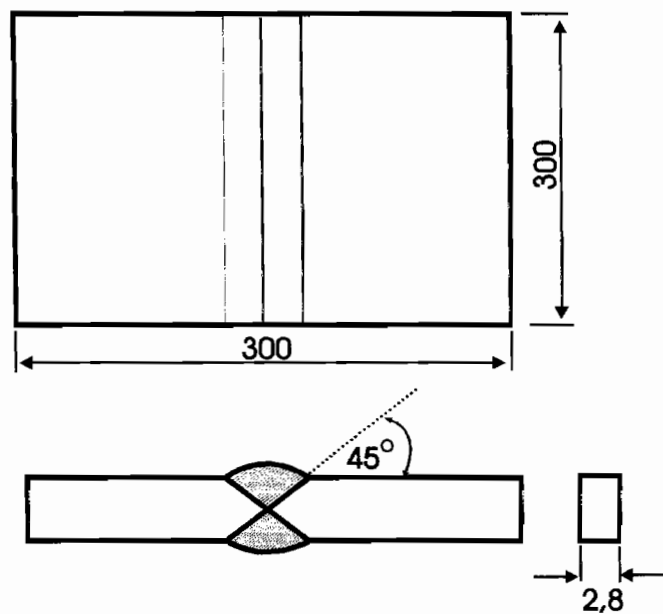


Gambar 3.1 Raw Material



Gambar 3.2. Spesimen Uji Tarik Standar ASTM

setelah itu ujung spesimen yang akan disambung dengan las listrik, dipotong berbentuk sambungan V ganda dengan sudut 45° .



Gambar 3.3 Bentuk Sambungan V Ganda

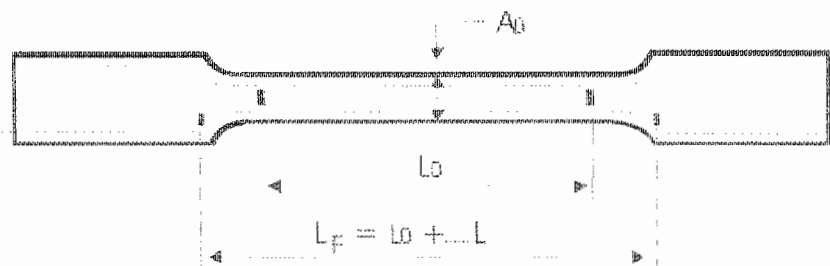
Pengelasan dilakukan dengan membuat kampuh las pada spesimen tersebut, setelah pengelasan selesai didinginkan di udara terbuka, kampuh las diratakan dengan grinda tangan kemudian dipotong-potong membentuk spesimen uji tarik.

3.3.3. Prosedur Uji Tarik

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tegangan, regangan dan elastisitas.

Tegangan diartikan gaya tiap satuan-luas. Untuk menghitung tegangan¹ gaya dibagi luas penampang-batang.

$$\text{Tegangan} = \frac{\text{gaya}}{\text{luas penampang awal}} \quad \text{atau} \quad \sigma = \frac{F}{A_0}$$



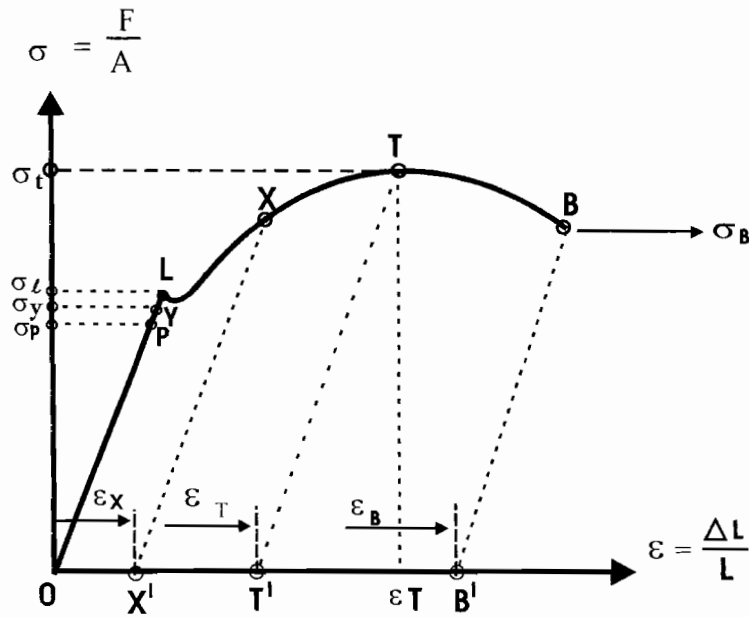
Gambar 3.4 Patahan pada Batang Uji

Elongation (perpanjangan) diartikan perbandingan antara pertambahan panjang seluruhnya diukur pada batang uji setelah patah terhadap panjang semula batang uji.

$$\text{Perpanjangan} = \frac{\text{Perpanjangan}}{\text{Panjang semula}} \times 100\% \quad \text{atau} \quad \varepsilon = \frac{L_F}{L} \times 100\%$$

Pada waktu percobaan hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada Gambar 3.5 diagram tegangan-regangan.

¹ Viktor Malau, Diktat Kuliah Bahan Teknik Manufaktur, Hal. 47



Gambar 3.5 Hubungan σ dan ϵ Uji Tarik Baja Lunak

σ_p : tegangan proporsional, σ_y : batas tegangan elastis,

σ_t : tegangan luluh.

σ_t : kekuatan tarik, σ_B : tegangan patah.

$\epsilon_x, \epsilon_T, \epsilon_B$: masing-masing merupakan regangan pada saat pembebanan berada pada titik X, T, B.

Tegangan pada titik P disebut tegangan batas proporsional (σ_p) yaitu tegangan tertinggi dimana hukum hook masih berlaku.

Apabila beban tarik diperbesar sampai titik Y (ada penambahan panjang ΔL), kemudian beban diturunkan sampai ketitik O (beban ditiadakan), maka benda uji akan kembali kepanjang semula (L), tetapi bila pembebanan sudah berada diatas titik Y (dengan penambahan panjang tertentu), kemudian pembebanan diturunkan sampai titik O (beban ditiadakan), maka benda uji tidak akan kembali kepanjang

semula. Dalam hal ini benda uji telah mempunyai regangan permanen atau disebut juga *regangan plastis*, jadi titik Y merupakan titik batas elastis benda uji dan tegangan pada titik Y disebut batas tegangan elastis bahan (σ_y).

Tegangan maksimum σ_t disebut juga tegangan tarik (*tensile strength* atau *ultimate stress*) merupakan tegangan tertinggi yang dimiliki benda uji sebagai reaksi terhadap beban yang diberikan. Setelah titik T tegangan turun dan benda uji akhirnya putus pada saat tegangan σ_B . Selama pembebanan berlangsung dari titik O sampai titik T, diameter benda uji mengecil secara seragam (terjadi pertambahan panjang). Selama pembebanan berlangsung dari titik T sampai titik B, diameter benda uji berubah tidak seragam melainkan terjadi pengecilan setempat lebih cepat dibandingkan tempat-tempat lainnya. Pengecilan ini disebut “necking” dan akhirnya benda uji putus pada daerah necking tersebut.

Spesimen yang diuji 4 spesimen tanpa sambungan las, 4 spesimen sambungan las dan 4 spesimen sambungan las yang mengalami proses *annealing*. Lebih jelasnya dapat diikuti prosedur di bawah ini :

- Kondisi normal

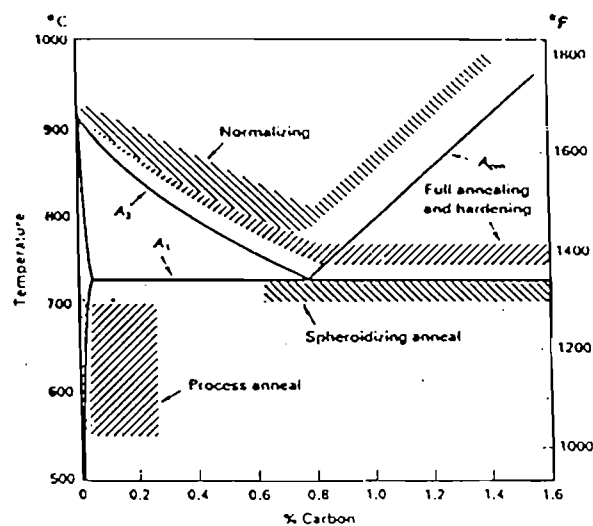
Benda uji dipotong-potong dengan mesin *shearing* kemudian dibentuk spesimen benda uji menggunakan mesin *milling*.

- Pengelasan

Benda uji dengan ukuran 300mm X 205mm dipotong menjadi dua bagian menggunakan mesin *shearing* pada bagian tengahnya kemudian dibuat kampuh V ganda dengan sudut 45° menggunakan grinda tangan. Setelah itu disambung dengan menggunakan las listrik kemudian dibentuk spesimen benda uji menggunakan mesin *shearing* dan *milling*.

- Pengelasan dilanjutkan dengan proses annealing

Spesimen yang sudah mengalami sambungan las diambil 4 spesimen untuk perlakuan *annealing*. Spesimen dimasukkan dalam oven pada suhu kamar, dipanaskan sampai suhu 650 °C dan ditahan selama 1 jam kemudian didinginkan perlahan di dalam oven.



Gambar 3.6 Diagram Fase Perlakuan Panas

Sumber : Materials and Processes in Manufacturing, E. Paul Degarmo

Langkah Pengujian :

1. Benda uji dipasang pada grip (penjepit) atas dan bawah pada mesin uji.
2. Power pada printer dihidupkan.

3. Dilakukan pengaturan pada panel pengaturan sebagai berikut :
 - a. Pada "Operation Control System", kecepatan uji diatur pada harga 5 mm/menit.
 - b. Pada "Load Indicator"
Sebelum POWER dihidupkan, mengatur switch-switch satuan dan besaran yang digunakan.
4. Tombol [AREA START] ditekan dua kali hingga lampu START menyala.
5. Selesai pengujian tombol [PRINT] ditekan untuk pengeluaran hasil berbentuk grafik.

3.3.4. Prosedur Uji Struktur Mikro

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membedakan struktur mikro logam yang satu dengan yang lainnya dan mengamati bentuk butiran menganalisanya. Lebih jelasnya dapat diikuti dibawah ini :

1. Setelah mengalami proses pengelasan dan pendinginan melalui udara terbuka tadi maka dilakukan penghalusan pada sisi benda yang akan diuji, mula-mula benda tersebut diratakan dengan mesin grinda, kemudian digosok dengan kertas amplas tahan air sambil dialiri oleh air. Kertas amplas yang digunakan adalah dengan kehalusan 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500 (Permukaan yang dihaluskan cukup satu permukaan saja).
2. Setelah benda uji kelihatan halus dan mengkilap, kemudian menyiapkan alat-alat dan bahan etsa.

- a. Tabung reaksi
- b. Gelas ukur
- c. Pipet

Bahan-bahan etsa yang digunakan campuran larutan HNO_3 5% + Alkohol 95%.

3. Setelah dietsa, spesimen ditempatkan pada dudukan mikroskop.
4. Mikroskop diatur pembesarannya dan pencahayaan. Jika lampu menunjukkan tanda (-) berarti pencahayaan kurang, Jika menunjukkan tanda (+) berarti pencahayaan berlebih, Jika menunjukkan tanda (0) berwarna hijau, pencahayaan tepat.
5. Pemotretan dilakukan pada masing-masing spesimen.

3.3.5. Prosedur Uji Kekerasan

Tujuan dari penelitian ini untuk membedakan ketahanan deformasi antara spesimen yang satu dengan yang lainnya setelah mengalami berbagai macam perlakuan. Pengujian yang dilakukan dengan metoda **Vickers**.

Metoda Vickers menggunakan suatu benda penekan intan berbentuk piramida lurus dengan dengan alas bujursangkar dan dengan sudut puncak 136° ditekan pada benda uji dengan gaya tertentu. Kekerasan Vickers diperoleh dengan membagi gaya pada luas bekas tekanan berbentuk piramida.

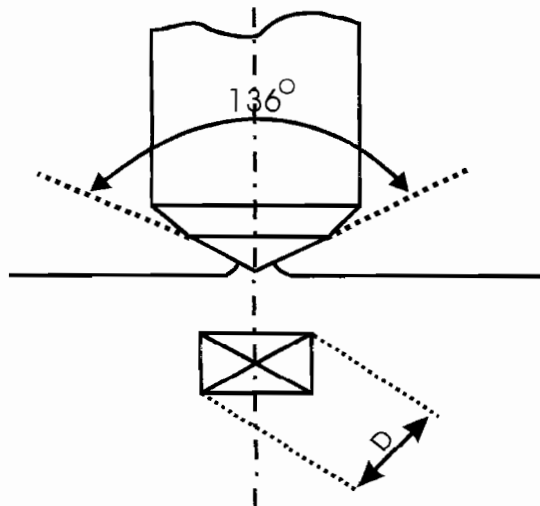
$$\text{Kekerasan Vickers (HV)} = \frac{F}{A}$$

dengan

HV = Nilai kekerasan menurut vickers

F = Gaya pendesakan (kgf)

A = Luas pendesakan berbentuk piramida



Gambar 3.7 Pengujian Vickers

Luas pendesakan ini ditentukan dengan bantuan nilai rata-rata diagonal D_1 dan diagonal D_2 dapat berbeda harganya, hal ini disebabkan bila permukaannya tidak tepat horisontal. Luas pendesakan dapat dihitung dengan rumus :

$$A = \frac{d^2}{1,854} \text{ mm}^2$$

dimana

$$d = \frac{D_1 + D_2}{2} \text{ mm}^2$$

Maka nilai kekerasan bahan menurut Vickers³ :

$$HV = \frac{1,854 \times F}{d^2}$$

d = diagonal rata-rata pendesakan

Gaya yang banyak digunakan adalah 10, 25, 100, 300, 500, 600 dan 1000 N.

Waktu pembebanan penuh adalah :

Untuk baja, tembaga dan paduan tembaga 10 – 15 detik.

Untuk Aluminium, paduan aluminium, magnesium dan paduan magnesium 28 – 32 detik.

Adapun langkah-langkah pengujiannya :

1. Permukaan benda uji (spesimen) dihaluskan dan dibersihkan sehingga permukaannya rata dan sejajar.
2. Setelah posisi spesimen benar-benar sesuai yang diinginkan, seting pembebanan pada mesin dengan memutar panel pada beban.
3. Tekan tombol pembebanan (*load*), maka mesin akan bekerja, selama pembebanan berlangsung lampu indikator pada (*load*) akan menyala merah, tunggu sampai lampu berwarna hijau (pembebanan selesai).
4. Putar panel pada mesin, sehingga berganti dengan mikroskop untuk melihat bekas injakan.

³ I Gusti Ketut Pudja, Diktat Kuliah Metalurgi Fisik, Hal. 29

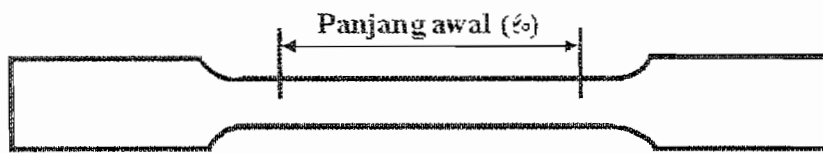
5. Dengan memutar panel pengukuran pada posisi mendatar untuk melihat panjang diagonal 1 dan putar pada posisi tegak lurus untuk mengukur diagonal 2.

BAB IV

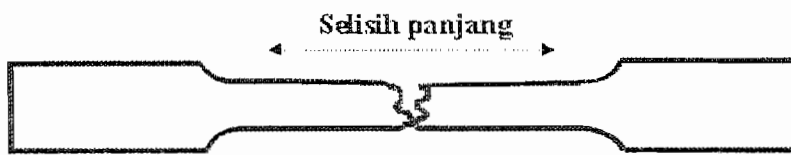
HASIL PENELITIAN

4.1. PENGUJIAN TARIK

Kondisi awal spesimen baja A-287 sebelum dan sesudah pengujian dilakukan.



Gambar 4.1. Spesimen awal



Gambar 4.2. Spesimen akhir

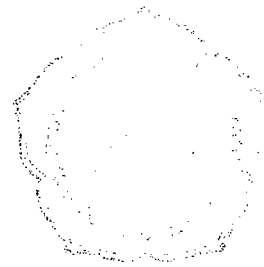
4.1.1. Spesimen Tanpa Sambungan Las (*Raw Material*)

Setelah melakukan pengujian tarik diperoleh grafik uji tarik yang dapat dilihat pada lampiran, dari grafik uji tarik tersebut dapat dihitung nilai-nilai hasil pengujian berupa tegangan maksimum (σ_t) disebut juga kekuatan tarik (*tensile strength* atau *ultimate stress*), tegangan patah (σ_B), batas tegangan elastisitas (σ_y) dan elongation (perpanjangan).

- Perhitungan spesimen 1**- Tegangan patah (σ_B)**

$$\begin{aligned} F_{\text{beban}} &= 52,6 \% \times 4000 \text{ kg} \\ &= 2104 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_B &= \frac{F_{\text{beban}}}{A_o} \\ &= \frac{2104}{2,75 \times 18,9} \\ &= 40,48 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

**- Batas tegangan elastis (σ_y)**

$$\begin{aligned} F_{\text{beban}} &= 39,3 \% \times 4000 \\ &= 1572 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \frac{F_{\text{beban}}}{A_o} \\ &= \frac{1572}{2,75 \times 18,9} \\ &= 30,24 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

- Kekuatan tarik maksimum (σ_t)

$$\begin{aligned} F_{\text{beban}} &= 53,092 \% \times 4000 \text{ kg} \\ &= 2124 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_t = \frac{F_{\text{beban}}}{A_o}$$

$$= \frac{2124}{51,98}$$

$$= 40,86 \text{ kg/mm}^2$$

- Elongation (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\%$$

$$= \frac{5}{40} \times 100\%$$

$$= 12,5 \%$$

Tabel 4.1 Hasil pengujian tarik spesimen tanpa sambungan las

<i>Raw Material</i>													
No	Lo <i>mm</i>	L1 <i>mm</i>	ΔL <i>mm</i>	Lebar <i>mm</i>	Tebal <i>mm</i>	A (lebar x tebal) <i>mm²</i>	F patah <i>kg</i>	F elastis <i>kg</i>	F maksimum <i>kg</i>	σ_B <i>kg/mm²</i>	σ_t <i>kg/mm²</i>	σ_y <i>kg/mm²</i>	ϵ <i>%</i>
1	40	45	5	18,9	2,75	51,98	2104	1572	2124	40,48	40,86	30,24	12,5
2	40	43	3	18,85	2,75	51,84	2104	1683,2	2164	40,59	41,74	32,47	7,5
3	40	43,4	3,4	18,5	2,75	51,84	2120	1652	2224	40,90	42,90	31,87	8,5
4	40	47	7	19	2,75	52,25	2088	1604	2108	39,96	40,35	30,7	17,5
Rata-rata							2104	1627,8	2155	40,48	41,37	31,32	11,5

Keterangan :

- Lo = Panjang mula-mula (*mm*)
- L1 = Panjang setelah patah (*mm*)
- ΔL = Pertambahan Panjang (*mm*)
- A = Luas penampang (*mm²*)
- F = Beban (*kg*)
- σ_B = Tegangan putus (*kg/mm²*)
- σ_t = Tegangan maksimal (*kg/mm²*)
- σ_y = Batas tegangan elastis (*kg/mm²*)
- ϵ = Elongation (*%*)

4.1.2. Spesimen Sambungan Las Tanpa Proses *Annealing*

Setelah melakukan pengujian tarik mendapatkan hasil sebagai berikut :

- Perhitungan spesimen 1 :

- Tegangan patah (σ_B) = Tegangan maksimum (σ_t)

$$F_{\text{beban}} = 35,4\% \times 4000 \text{ kg}$$

$$= 1416 \text{ kg}$$

$$\sigma_B = \sigma_t = \frac{F_{\text{beban}}}{A_0}$$

$$= \frac{1416}{2,1 \times 16,8}$$

$$= 40,13 \text{ kg/mm}^2$$

- Batas tegangan elastis (σ_y)

$$F_{\text{beban}} = 27,53\% \times 4000$$

$$= 1101,2 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{F_{\text{beban}}}{A_0}$$

$$= \frac{1101,2}{35,28}$$

$$= 31,21 \text{ kg/mm}^2$$

- Elongation (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$= \frac{43,3 - 40}{40} \times 100\%$$

$$= 8,3\%$$

Tabel 4.2 Hasil pengujian tarik spesimen sambungan las tanpa proses *annealing*

Spesimen Sambungan Las Tanpa Proses <i>Annealing</i>													
No	Lo mm	L1 mm	ΔL mm	Lebar mm	Tebal mm	A (lebar x tebal) mm ²	F patah kg	F elastis kg	F maksimum kg	σ_B kg/mm ²	σ_t kg/mm ²	σ_y kg/mm ²	ϵ %
1	40	43,3	3,3	16,8	2,1	35,28	1424	1084,4	1424	40,36	40,36	30,74	8,25
2	40	43,8	3,8	16,8	2,1	35,28	1416	1101,2	1416	40,13	40,13	31,21	9,5
3	40	44	4	17,25	2,3	35,59	1412	1118	1412	35,59	35,59	28,18	10
4	40	43,54	3,54	17,5	2,55	44,63	1548	1273,6	1548	34,69	34,69	28,54	8,8
Rata-rata							1450	1144,3	1450	37,69	37,69	29,67	9,1

Keterangan :

- Lo = Panjang mula-mula (mm)
 L1 = Panjang setelah patah (mm)
 ΔL = Pertambahan Panjang (mm)
 A = Luas penampang (mm²)
 F = Beban (kg)
 σ_B = Tegangan putus (kg/mm²)
 σ_t = Tegangan maksimal (kg/mm²)
 σ_y = Batas tegangan elastis (kg/mm²)
 ϵ = Elongation (%)

4.1.3. Spesimen Sambungan Las dengan Proses *Annealing*

Pengujian tarik pada spesimen sambungan las yang mengalami proses *annealing* mendapatkan nilai-nilai berdasarkan grafik uji tarik sebagai berikut :

- Perhitungan spesimen 1 :

- Tegangan patah (σ_B) = Tegangan maksimum (σ_t)

$$\begin{aligned} F_{\text{beban}} &= 38,2 \% \times 4000 \text{ kg} \\ &= 1528 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_B &= \sigma_t = \frac{F_{\text{beban}}}{A_o} \\ &= \frac{1528}{2,4 \times 17,9} \\ &= 35,57 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

- Batas tegangan elastis (σ_y)

$$\begin{aligned} F_{\text{beban}} &= 30,5 \% \times 4000 \\ &= 1220 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \frac{F_{\text{beban}}}{A_o} \\ &= \frac{1220}{2,4 \times 17,9} \\ &= 28,40 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

- Elongation (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\% = \frac{44,30 - 40}{40} \times 100\% = 10,75 \%$$

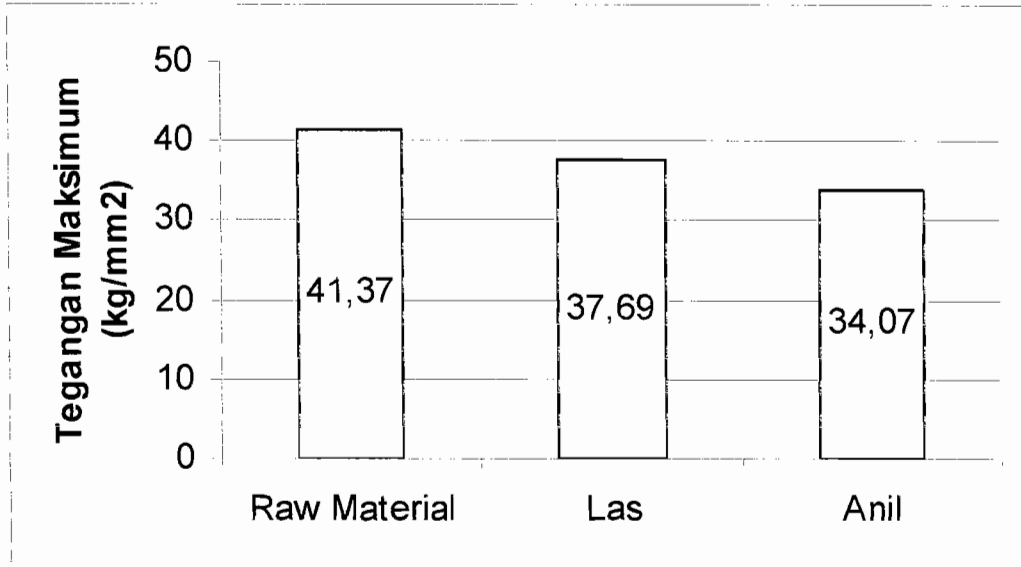
Tabel 4.3 Hasil pengujian tarik spesimen sambungan las dengan proses *Annealing*

Spesimen Sambungan Las Dengan Proses Annealing 650° C													
No	Lo mm	L1 mm	ΔL mm	Lebar mm	Tebal mm	A (lebar x tebal) mm ²	F patah kg	F elastis kg	F maksimum kg	σ _B kg/mm ²	σ _t kg/mm ²	σ _y kg/mm ²	ε %
1	40	44,3	4,3	17	2,3	39,10	1528	1220	1528	35,57	35,57	28,40	10,8
2	40	43	3	17,2	2,3	39,56	1256	1084	1256	31,63	31,63	27,30	7,5
3	40	45,8	5,8	18	2,25	40,50	1548	1104	1548	38,22	38,22	27,26	14,5
4	40	45	5	17	2,4	40,80	1108	1000	1108	30,86	30,86	27,85	12,5
Rata-rata							1360	1102	1360	34,07	34,07	27,70	11,31

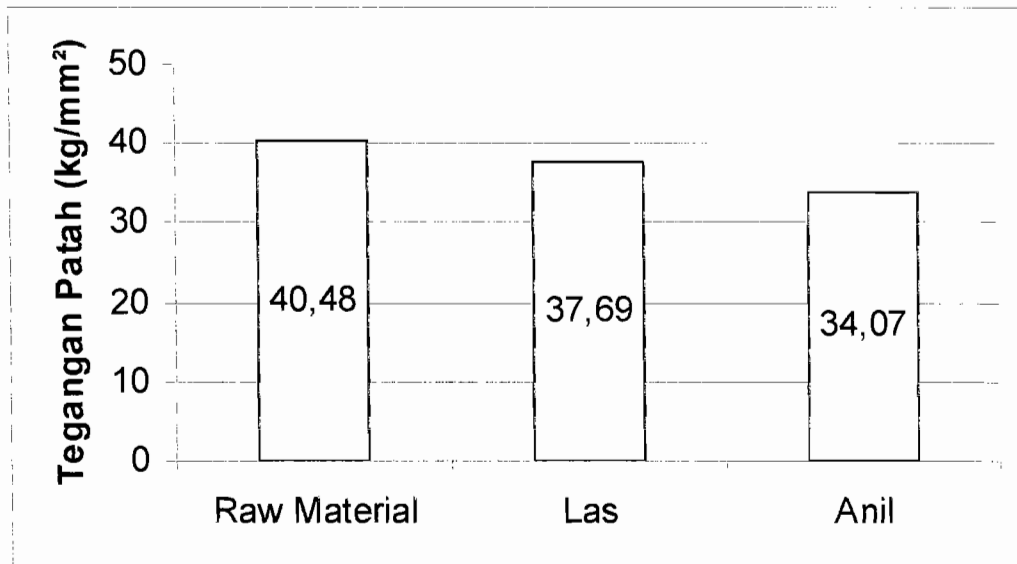
Keterangan :

- Lo = Panjang mula-mula (mm)
 L1 = Panjang setelah patah (mm)
 ΔL = Pertambahan Panjang (mm)
 A = Luas penampang (mm²)
 F = Beban (kg)
 σ_B = Tegangan putus (kg/mm²)
 σ_t = Tegangan maksimal (kg/mm²)
 σ_y = Batas tegangan elastis (kg/mm²)
 ε = Elongation (%)

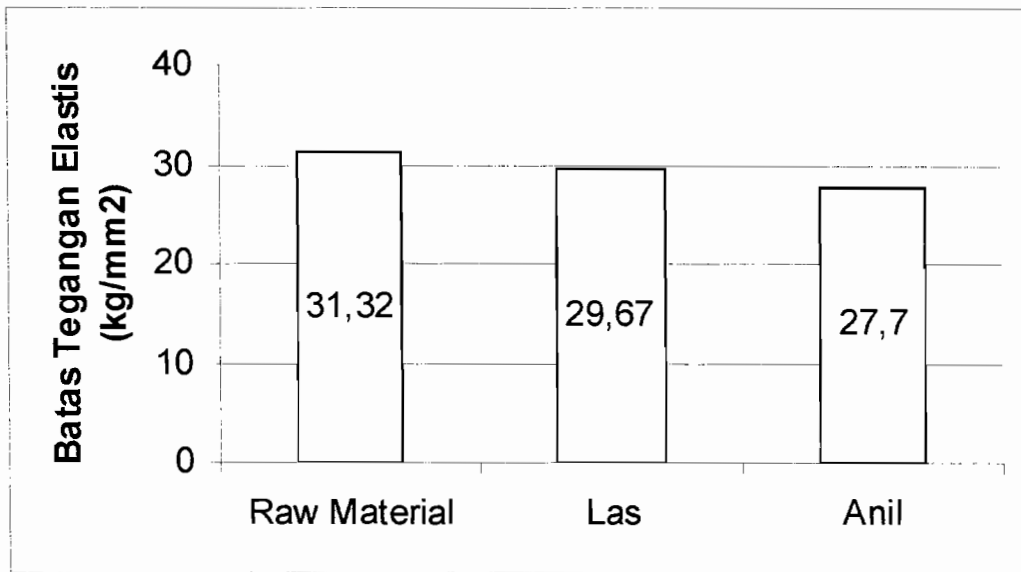
4.1.4 Grafik Hasil Pengujian Tarik



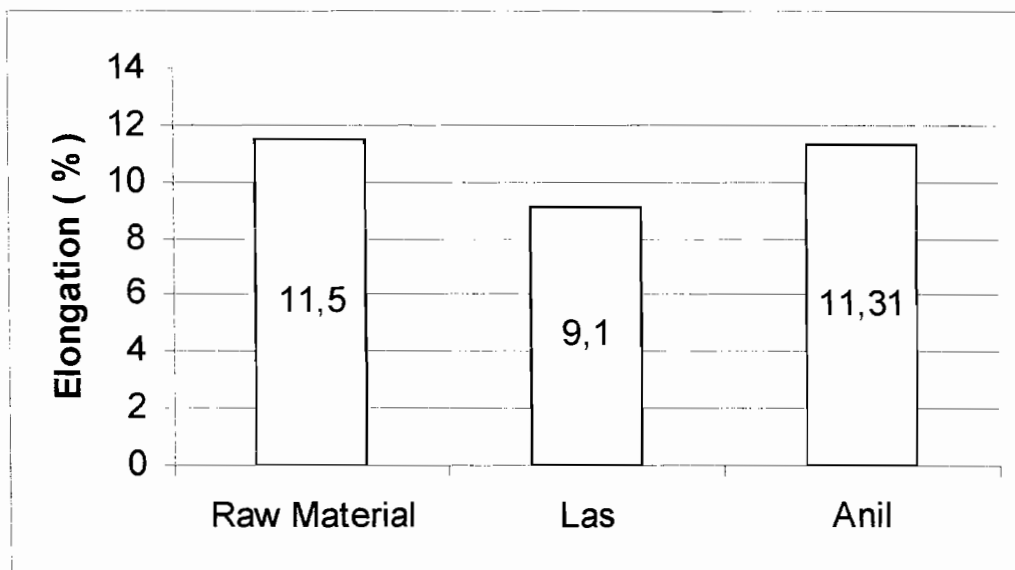
Gambar 4.3 Grafik Spesimen Tegangan Maksimum (σ_t)



Gambar 4.4 Grafik Spesimen Tegangan Patah (σ_B)



Gambar 4.5 Grafik Spesimen Batas Tegangan Elastis (σ_y)



Gambar 4.6 Grafik Spesimen Elongation (ϵ)

4.1.5 Pembahasan Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini mendapatkan hasil untuk *raw material* memiliki tegangan maksimal, batas tegangan elastis dan tegangan patah secara berturut sebesar 41,31 dan 40,48 kg/mm² serta elongation 12 %.

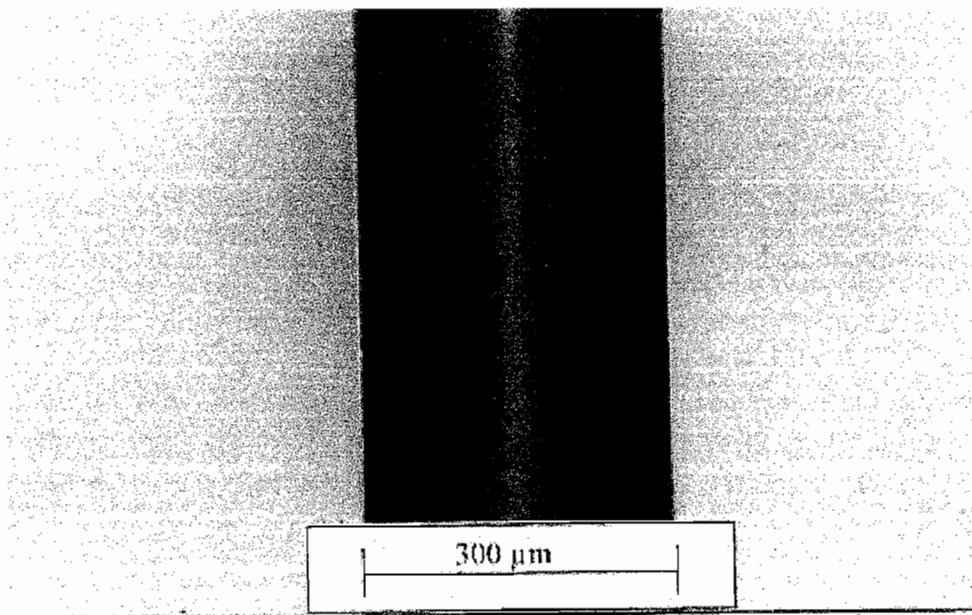
Pengujian sambungan las normal dan sambungan las diikuti proses *annealing* menghasilkan tegangan maksimal sama dengan tegangan patah, ini dapat disebabkan banyak hal antara lain getasnya logam las, lubang-lubang halus pada lasan dan cacat pada lasan.

Pengujian tarik sambungan las memperoleh nilai rata-rata tegangan patah sama dengan tegangan maksimal 38 kg/mm², batas tegangan elastis 30 kg/mm², elongation 9 %, sedangkan sambungan las yang mengalami proses *annealing* mendapatkan penurunan hasil akan tetapi regangannya bertambah, karena setelah mengalami proses *annealing* terjadi pembebasan tegangan dan perapatan susunan butiran perlit dan ferrit. Nilai rata-rata yang didapatkan untuk tegangan patah sama dengan tegangan maksimal 34 kg/mm², batas tegangan elastis 28 kg/mm² dan elongation 11 %.

4.2. PENGUJIAN STRUKTUR MIKRO

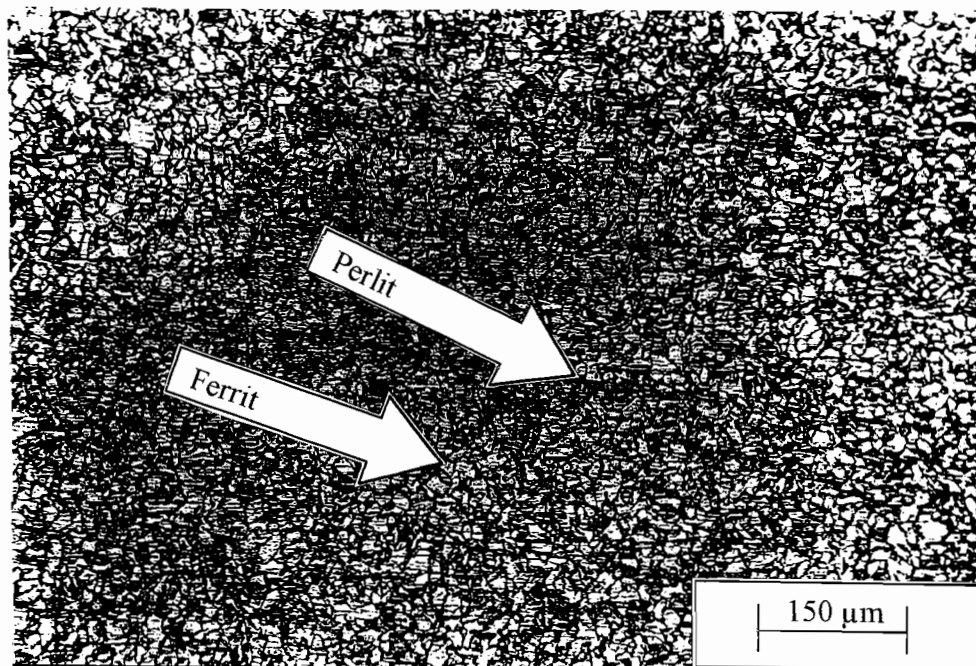
4.2.1. Perhitungan Skala Gambar

Kawat diameter 0,3 mm difoto pada mikroskop pada pembesaran 100 kali dan dicetak ukuran foto 3R diameter kawat menjadi 40 mm.



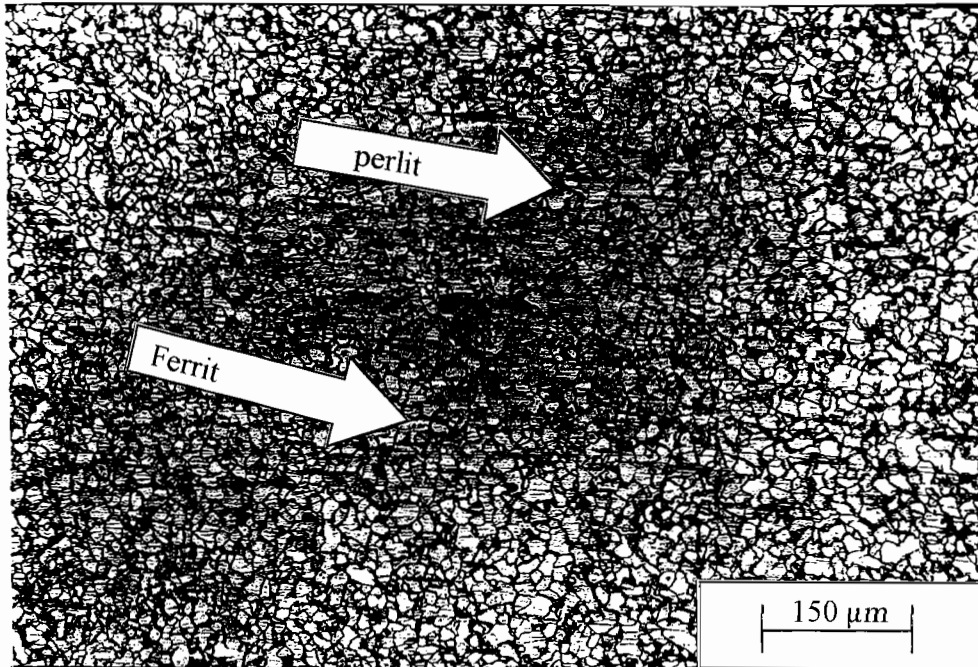
Gambar 4.7 Kawat Kalibrasi

4.2.2. Hasil Pengamatan Struktur Mikro pada *Raw Material*

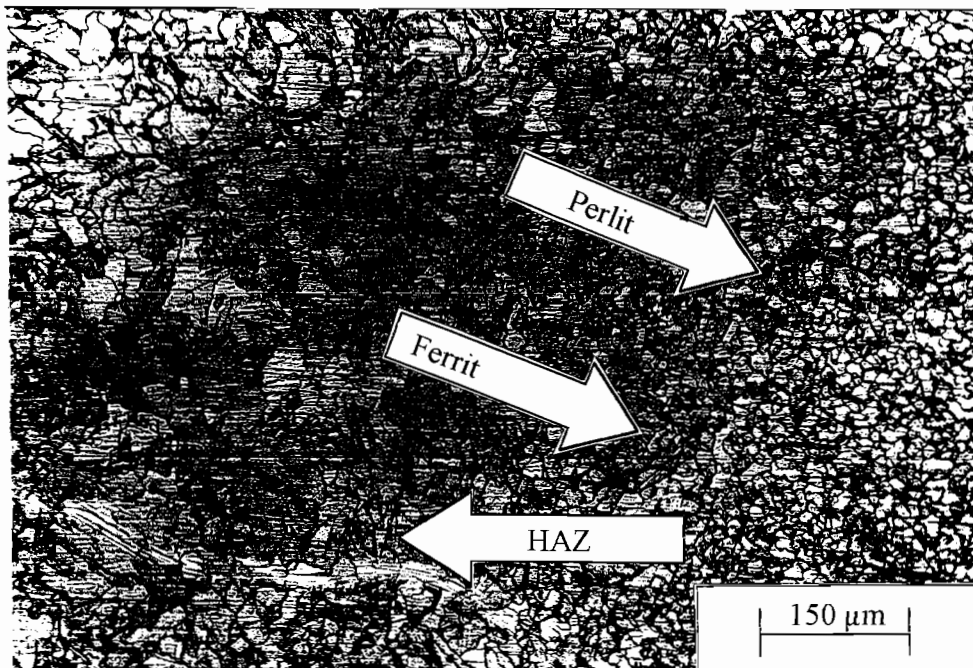


Gambar 4.8 Struktur Mikro Raw Material Baja A-287

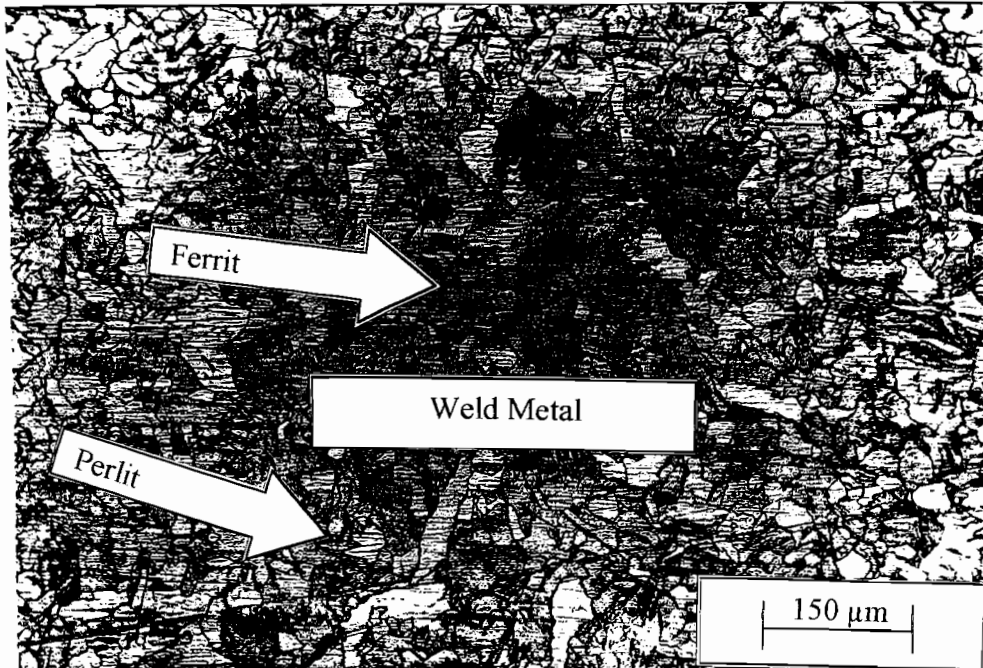
4.2.3. Hasil Pengamatan Struktur Mikro pada Sambungan Las Baja A-287



Gambar 4.9 Struktur Mikro Logam Induk Sambungan Las

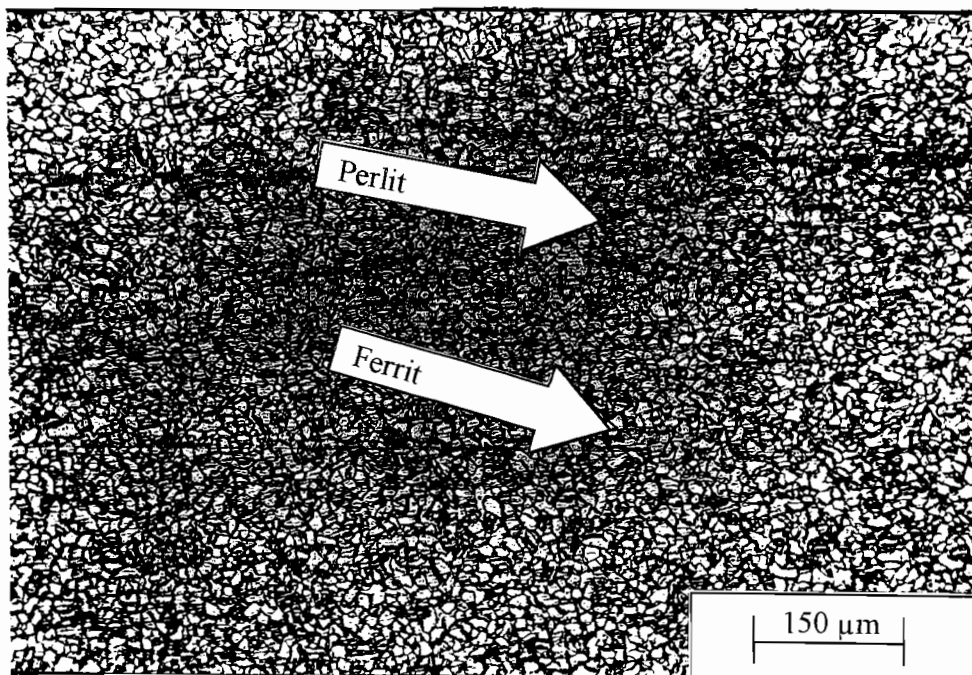


Gambar 4.10 Struktur Mikro Heat Affective Zone (HAZ)

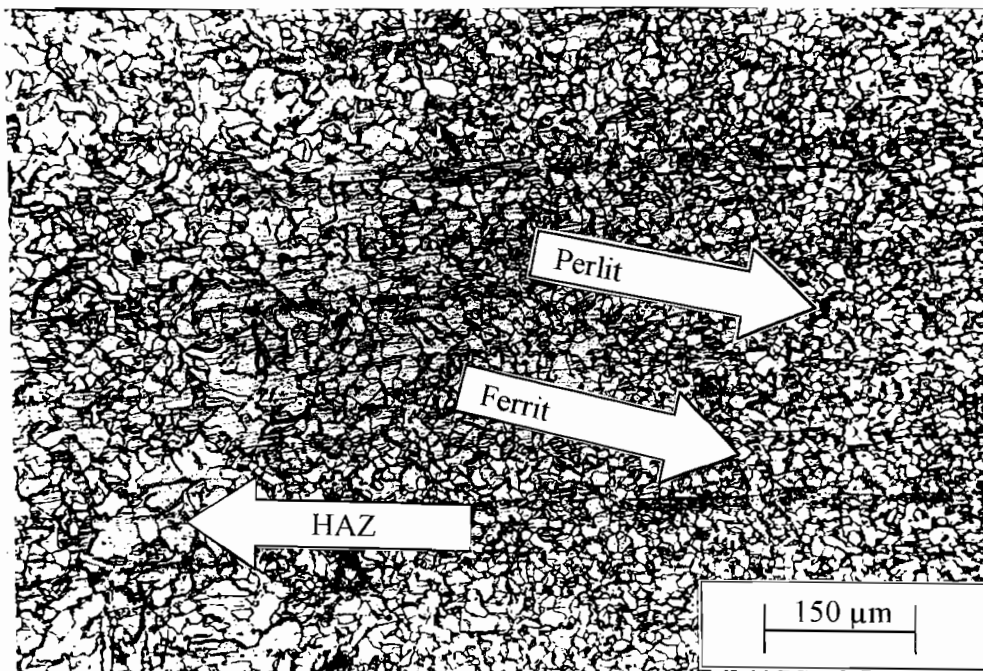


Gambar 4.11 Struktur Mikro Logam Las

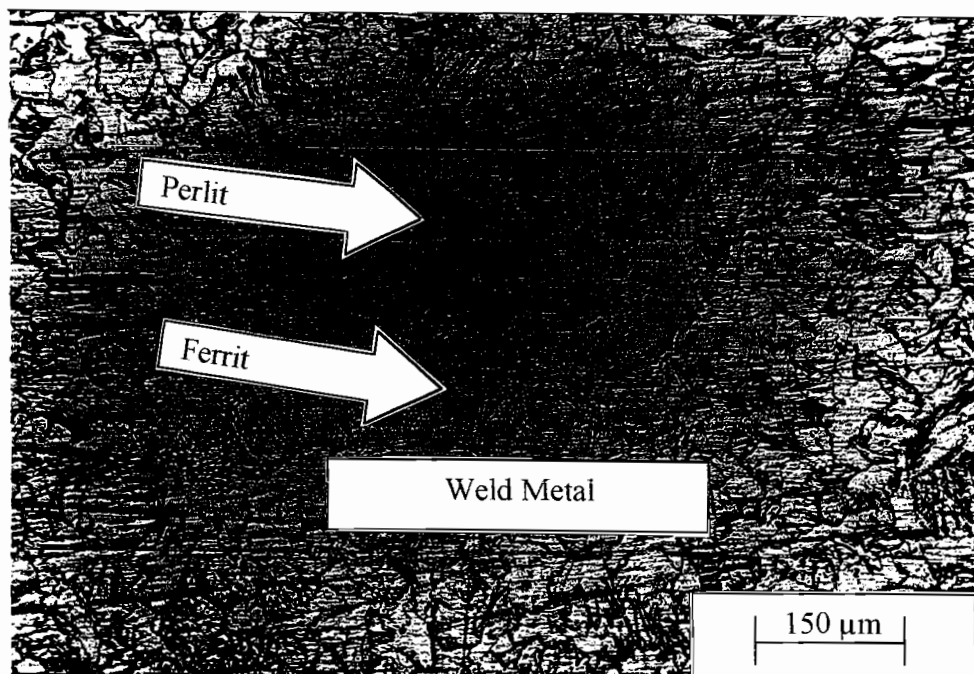
4.2.4. Hasil Pengamatan Struktur Mikro pada Sambungan Las Baja A-287 yang mengalami proses Annealing



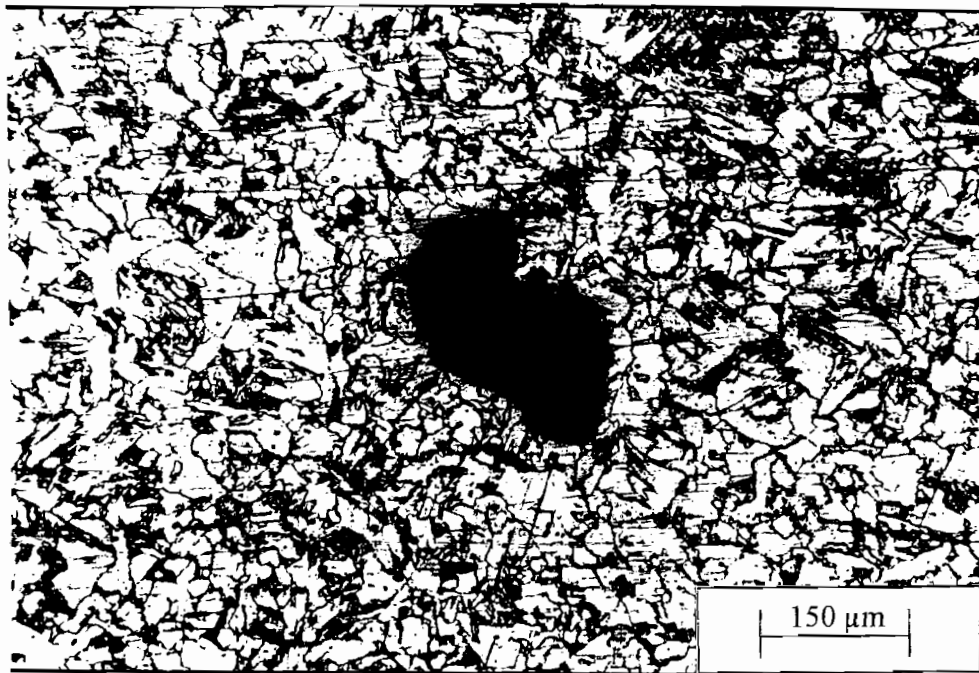
Gambar 4.12 Struktur Mikro Logam Induk Sambungan Las



Gambar 4.13 Struktur Mikro *Heat Affected Zone* (HAZ)



Gambar 4.14 Struktur Mikro Logam Las



Gambar 4.15 Struktur Mikro Cacat Lasan

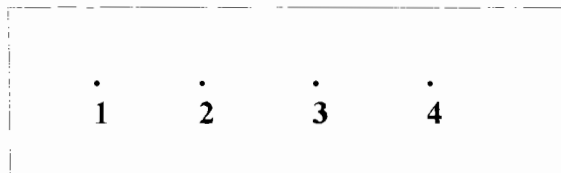
4.2.5. Pembahasan Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur logam setelah mengalami berbagai macam perlakuan. Dari hasil pengamatan pada *raw material*, ferit tampak berbentuk matrik putih dan ukurannya lebih besar dibandingkan dengan proses setelah perlakuan *annealing* dengan susunan butiran ferit dan perlit lebih rapat, grafit hitam mengendap diantara matrik putih dari ferit. Pada HAZ nampak perbedaan antara batas butir dengan logam las tetapi setelah mengalami proses *annealing* 650° C butiran logam las menjadi lebih rapat.

4.3. Hasil Pengujian Kekerasan

Untuk uji kekerasan menggunakan alat uji Vickers Buehler dengan beban 500 gr atau 0,5 kg. Dalam pengujian ini dilakukan 4 penitikan pada spesimen yang telah dipotong dengan ukuran 18 mm x 50 mm.

4.3.1. Spesimen Tanpa Sambungan Las (*Raw Material*).



Gambar 4.16 Spesimen Uji Kekerasan *Raw Material*

<i>RAW MATERIAL</i>			
Titik ke	P (kg)	D _{rata-rata} (mm)	Hv (kg/mm ²)
1	0,5	0,082	137,864
2	0,5	0,0825	136,198
3	0,5	0,083	134,562
4	0,5	0,0825	136,198

○ Perhitungan

-Titik 1 :

Nilai Kekerasan

$$\begin{aligned}
 HV &= 1,854 \times \frac{F}{D^2} \\
 &= 1,854 \times \frac{0,5}{0,082^2} \\
 &= 137,864 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

-Titik 2 :

Nilai Kekerasan

$$\begin{aligned}HV &= 1,854 \times \frac{F}{D^2} \\ &= 1,854 \times \frac{0,05}{0,0825^2} \\ &= 136,198 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

-Titik 3 :

Nilai Kekerasan

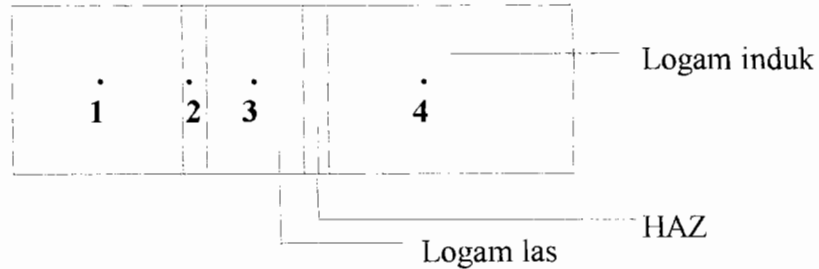
$$\begin{aligned}HV &= 1,854 \times \frac{F}{D^2} \\ &= 1,854 \times \frac{0,05}{0,083^2} \\ &= 134,562 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

-Titik 4 :

Nilai Kekerasan

$$\begin{aligned}HV &= 1,854 \times \frac{F}{D^2} \\ &= 1,854 \times \frac{0,5}{0,0825^2} \\ &= 136,198 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

4.3.2. Spesimen Sambungan Las.



Gambar 4.17 Spesimen Uji Kekerasan Sambungan Las

Sambungan Las			
Titik ke	P (kg)	D _{rata-rata} (mm)	HV (kg/mm ²)
1	0,5	0,082	137,864
2	0,5	0,073	173,954
3	0,5	0,070	189,184
4	0,5	0,0825	136,198

○ Perhitungan

-Titik 1 :

Nilai Kekerasan

$$\begin{aligned}
 HV &= 1,854 \times \frac{F}{D^2} \\
 &= 1,854 \times \frac{0,5}{0,082^2} \\
 &= 137,864 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

-Titik 2 :

Nilai Kekerasan

$$HV = 1,854 \times \frac{F}{D^2}$$

$$= 1,854 \times \frac{0,5}{0,073^2}$$
$$= 173,954 \text{ kg/mm}^2$$

-Titik 3 :

Nilai Kekerasan

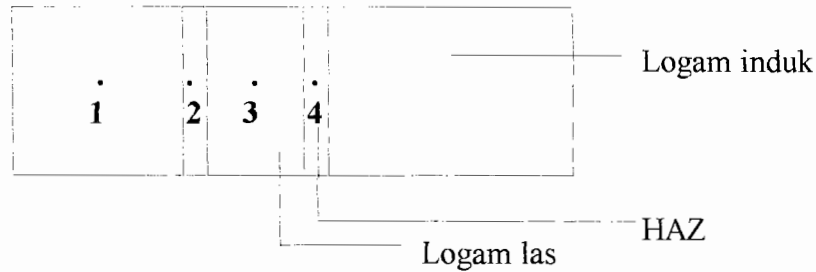
$$\text{HV} = 1,854 \times \frac{F}{D^2}$$
$$= 1,854 \times \frac{0,5}{0,07^2}$$
$$= 189,184 \text{ kg/mm}^2$$

-Titik 4 :

Nilai Kekerasan

$$\text{HV} = 1,854 \times \frac{F}{D^2}$$
$$= 1,854 \times \frac{0,5}{0,0825^2}$$
$$= 136,198 \text{ kg/mm}^2$$

4.3.3. Spesimen Sambungan Las Dengan Proses *Annealing*



Gambar 4.18 Spesimen Uji Kekerasan Sambungan Las Anil

Sambungan Las Dengan Proses <i>Annealing</i>			
Titik ke	P (kg)	D _{rata-rata} (mm)	HV (kg/mm ²)
1	0,5	0,087	122,47
2	0,5	0,0855	126,81
3	0,5	0,084	131,38
4	0,5	0,086	125,34

○ Perhitungan

-Titik 1 :

Nilai Kekerasan

$$\begin{aligned}
 H_v &= 1,854 \times \frac{F}{D^2} \\
 &= 1,854 \times \frac{0,5}{0,087^2} \\
 &= 122,47 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

-Titik 2 :

Nilai Kekerasan

$$HV = 1,854 \times \frac{F}{D^2}$$

$$= 1,854 \times \frac{0,5}{0,0855^2}$$

$$= 126,81 \text{ kg/mm}^2$$

-Titik 3 :

Nilai Kekerasan

$$HV = 1,854 \times \frac{F}{D^2}$$

$$= 1,854 \times \frac{0,5}{0,084^2}$$

$$= 131,38 \text{ kg/mm}^2$$

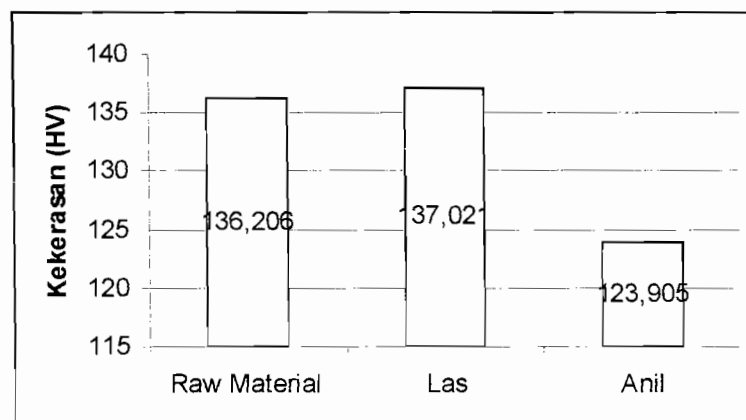
-Titik 4 :

Nilai Kekerasan

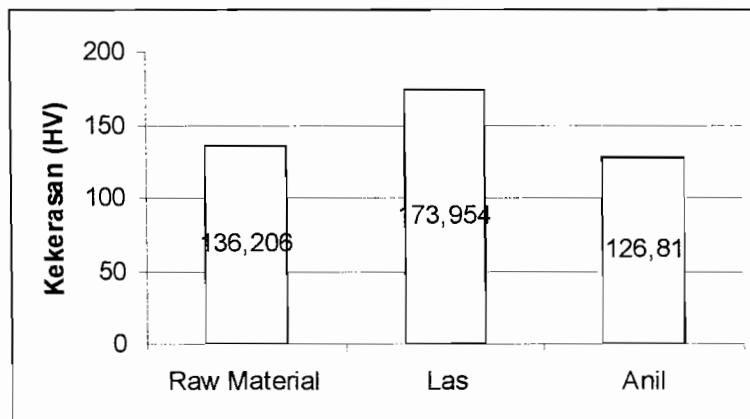
$$HV = 1,854 \times \frac{F}{D^2}$$

$$= 1,854 \times \frac{0,5}{0,086^2}$$

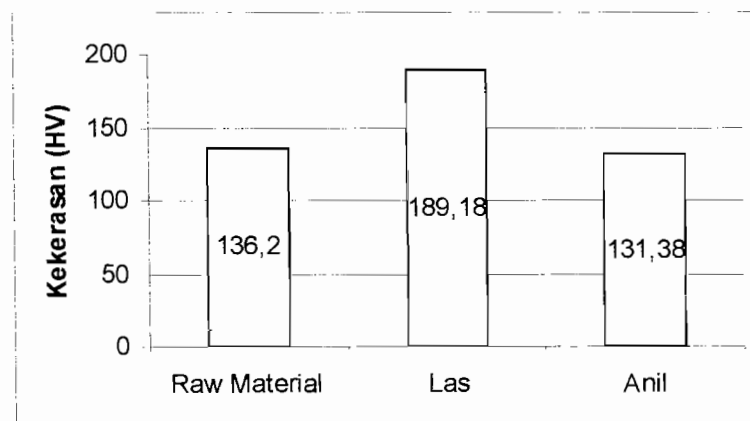
$$= 125,34 \text{ kg/mm}^2$$

4.3.4 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan

Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Kekerasan Base Metal



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Kekerasan HAZ



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Kekerasan Weld Metal

4.3.5 Pembahasan Pengujian Kekerasan

Setelah dilakukan pengujian kekerasan diperoleh data-data sebagai berikut :

1. *Raw material*

Nilai kekerasan Vickers rata-rata untuk baja lunak A-287 diperoleh $HV = 136 \text{ kg/mm}^2$.

2. Sambungan las normal

- 1). Bagian *weld metal* (logam las), elektroda E 6013, pada bagian ini adalah bagian paling keras dengan nilai kekerasan $HV 189 \text{ kg/mm}^2$.

-
- 2). Bagian HAZ, kekerasan berkurang dikarenakan panas yang terjadi juga berkurang. Nilai kekerasan HV 174 kg/mm².
 - 3). Bagian *Base Metal* atau logam induk, nilai kekerasan HV 137 kg/mm², dapat dikatakan memiliki kekerasan yang sama pada raw material.
3. Sambungan las dengan proses *annealing*
- 1). Bagian *weld metal* (logam las), setelah mengalami proses *annealing* bagian ini menjadi lebih lunak dibandingkan *weld metal* pada sambungan las normal karena terjadi penghalusan butir dan pengurangan tegangan dalam (*internal stress*). Nilai kekerasan HV 131 kg/mm².
 - 2). Bagian HAZ, menjadi lebih lunak dengan nilai rata-rata HV 126 kg/mm².
 - 3). Bagian *base metal* (logam induk) memiliki nilai kekerasan rata-rata HV 122 kg/mm².

BAB V

KESIMPULAN DAN PENUTUP

5.1. Kesimpulan

5.1.1. Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik untuk *raw material* didapatkan tegangan maksimal rata-rata adalah 40,86 kg/mm² dan tegangan patah rata-rata 40,48 kg/mm². Sambungan las tanpa anil memberikan nilai rata-rata tegangan maksimal sama dengan tegangan putus 38 kg/mm², sedangkan sambungan las yang mengalami proses *annealing* menghasilkan nilai rata-rata tegangan maksimal sama dengan tegangan putus 34 kg/mm².

5.1.2. Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan *raw material* diperoleh nilai kekerasan Vickers rata-rata sebesar HV = 136 kg/mm². Sambungan las tanpa anil memberikan nilai kekerasan pada bagian *weld metal* (logam las), HAZ dan *base metal* (logam induk) secara berturut-turut sebesar HV 189, 174 dan 137 kg/mm². Sambungan las dengan proses *annealing* memperoleh nilai kekerasan rata-rata pada bagian *weld metal*, HAZ dan *base metal* secara berurutan HV 131, 126 dan 122 kg/mm².

5.1.3. Struktur Mikro

Dari hasil pengamatan pada *raw material*, ferit tampak berbentuk matrik putih dan ukurannya lebih besar dibandingkan dengan proses setelah perlakuan *annealing* dengan susunan butiran ferit dan perlit lebih rapat. HAZ

menampakan perbedaan antara batas butir dengan logam las tetapi setelah mengalami proses *annealing* 650° C butiran logam las menjadi lebih rapat.

5.2. Penutup

Akhir kata penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama penyusunan tugas akhir ini. Bila terjadi kurang akuratan data, hal ini disebabkan keterbatasan dana, peralatan dan ketelitian pengamatan tetapi penulis mencoba semaksimal mungkin mendekati sempurna dengan mengacu pada buku-buku referensi.



DAFTAR PUSTAKA

- Alip, M., 1989, *Teori dan Praktek Las*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.
- Degarmo, P., Black, JT., Ronald kohser, A., 1997, *Materials and Processes in Manufacturing*, eghth edition, By Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Groover, M., 1996, *Fundamentas of Modern Manufacturing*, By Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Kenyon, W., Ginting, D., 1985, *Dasar-Dasar Pengelasan*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Malau, V., *Diktat kuliah Bahan Teknik Manufaktur*.
- Pudja, IGK., *Diktat Kuliah Metalurgi Fisik*.
- Sumanto, 1994, *Pengetahuan Bahan*, edisi pertama, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- Wirjosumarto, H., Okumura, T., 1987, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

LAMPIRAN

Coil No.	:N2018	FT Min.	: 0	CT Min.	: 0
Orig.Coil	:K0441867-01	FT.Max.	: 0	CT.Max.	: 0
Heat No.	:90586M	FT Avg.	: 0	CT Avg.	: 0
Grade	:Steel SS-400	Quality	: T4CA	Source	: KS
End Use	:General use	CRC Size	: 1.1x1219	HB Size	: 3.500x1235
Customer	:Dr.V. Malau (Yogyakarta)				

Mechanical Properties:

	Head			Middle			Tail		
	R	C	L	R	C	L	R	C	L
Hardness:									
YS:									
TS:									
EL:									

Chemical Composition (%):

C-100 : 17.8	S-1000 : 11.0	Ni-100 : 2.0	Mo-1000: 1.0
Si-100: 1.0	Al-1000: 4.2	Cu-100 : 2.2	Ti-1000: 0.5
Mn-100: 84.2	N-10000: 12.0	Nb-1000: 7.0	Sn-1000: 2.0
P-1000: 9.0	Cr-1000: 8.0	V-1000 : 3.0	B-10000: 0.0

Annealing Process Detail:

		Date	Time
Charge No.	: 0		
Gas Temp.	: 0	Time: 0:0	Charge : / / 00:00
Bottom Temp.	: 0	Time: 0:0	Burner On : / / 00:00
Actual Heat Temp.	: 0	Time: 0:0	Burner Off : / / 00:00
Heat Control Temp.:	: 0	Rate: 0:0	Furnace split: / / 00:00
Cooling Hood No.	: 0	Unloading	Date : / /
Cool Min.Time	: 0:0		Time : 00:00
Inner Cover No.	: 0		Temp. : 0
Position	: 0	Base No.:	0

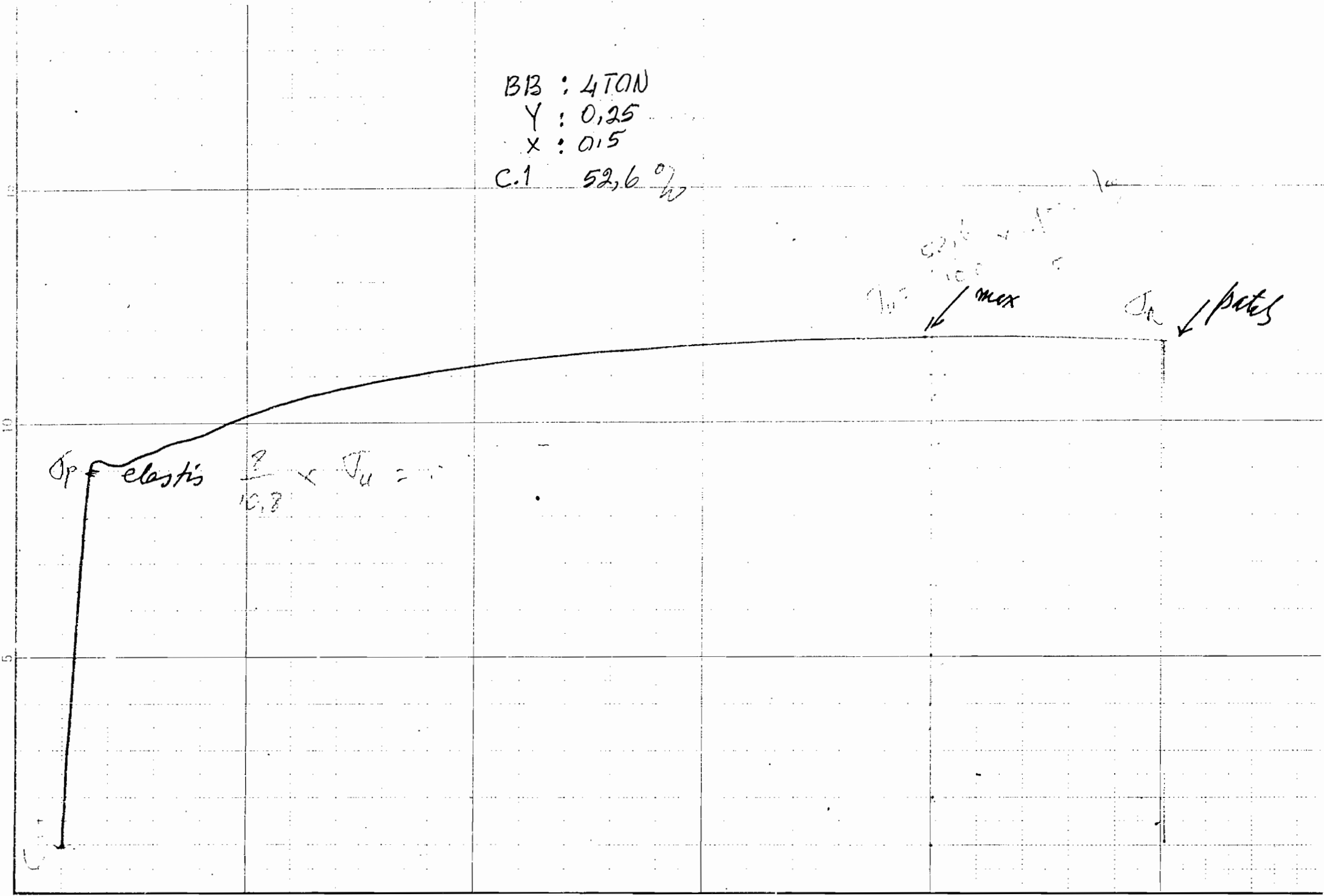
Visual Comment:
Remark:

MILL CERTIFICATE

BB : 4TON
Y : 0,25
X : 0,15
C.1 52,6 %

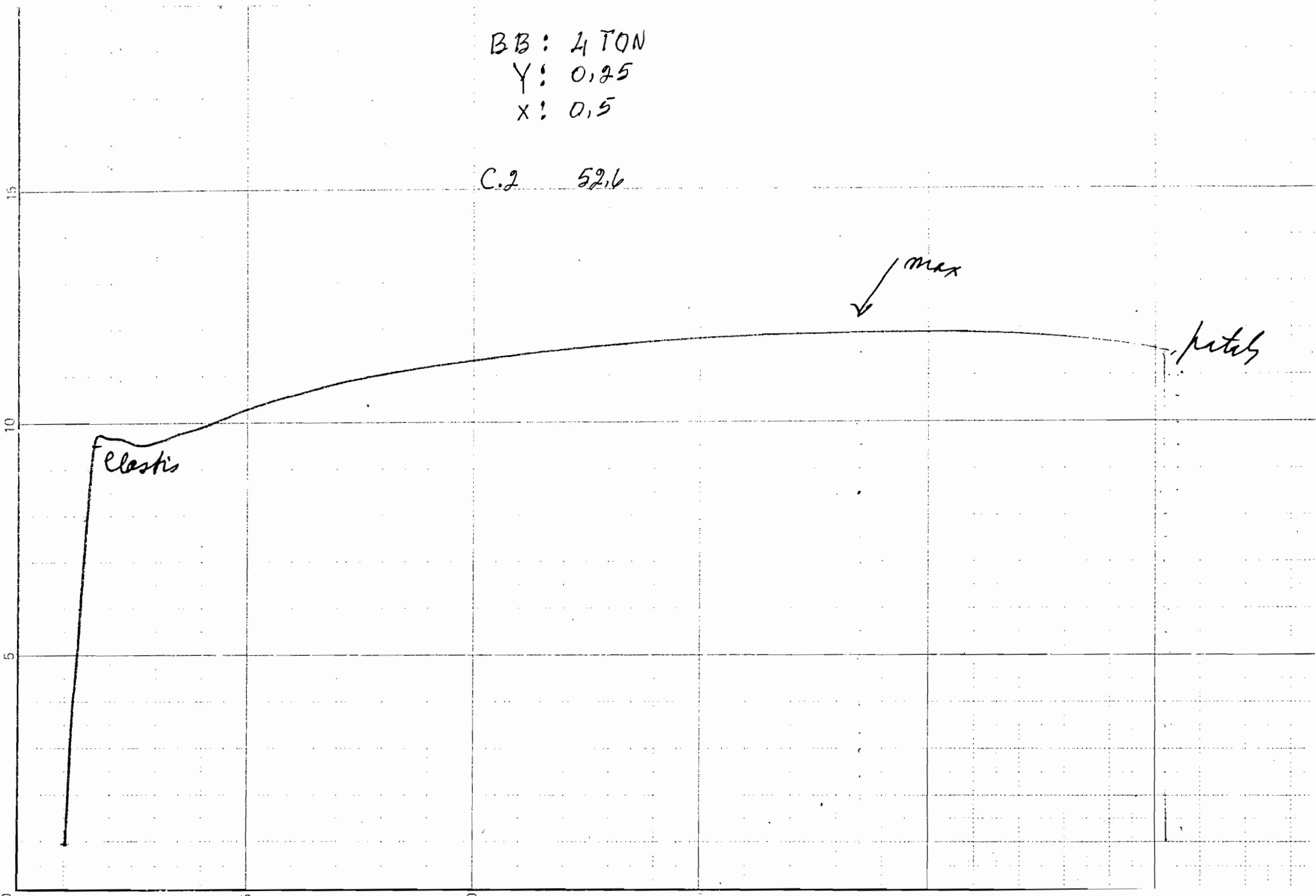
$\sigma_{u, \text{max}}$
 $\sigma_{u, \text{pctes}}$

$\sigma_p = \text{elastic}$
 $\frac{2}{10,8} \times \sigma_u = \dots$



BB: 4 TON
Y: 0,25
X: 0,5

C.2 52,6



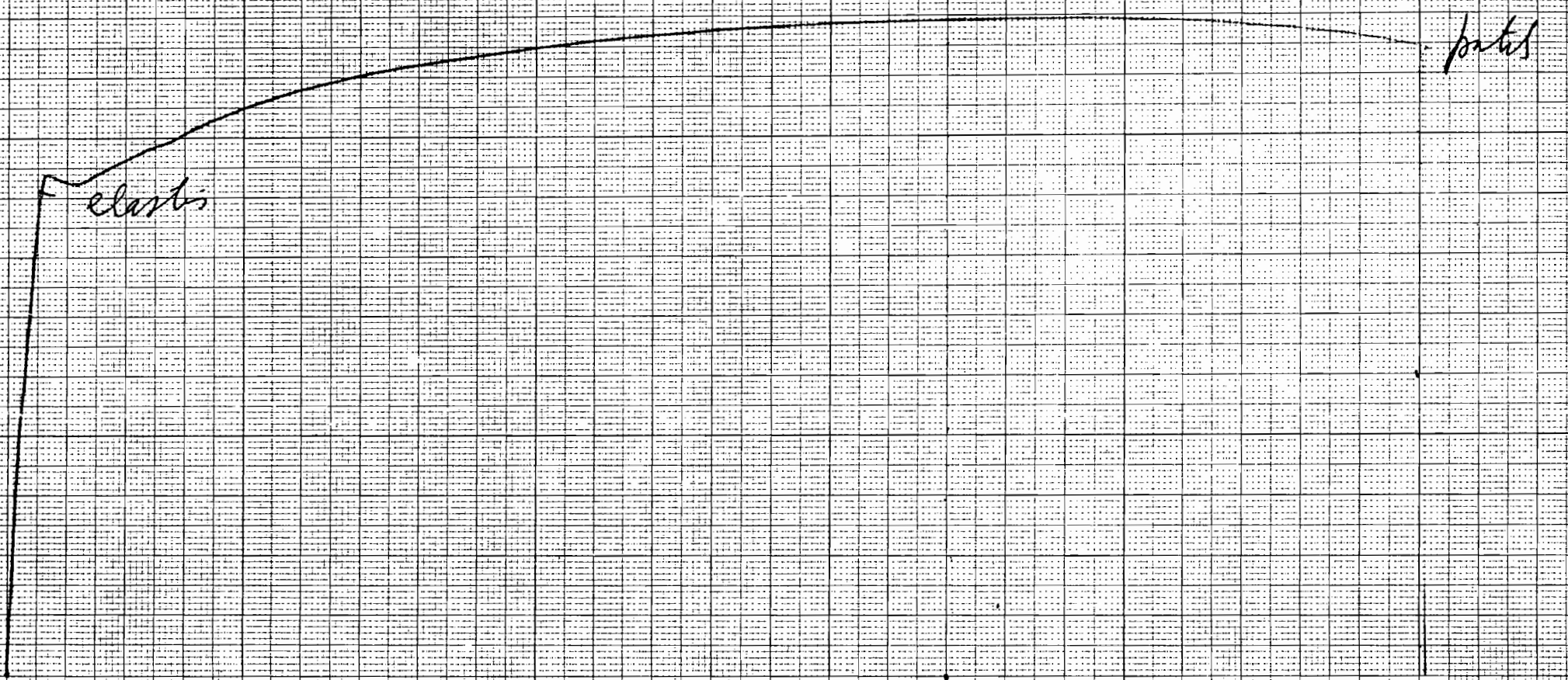
BB : 4 TON
Y : 0,25
X : 0,5

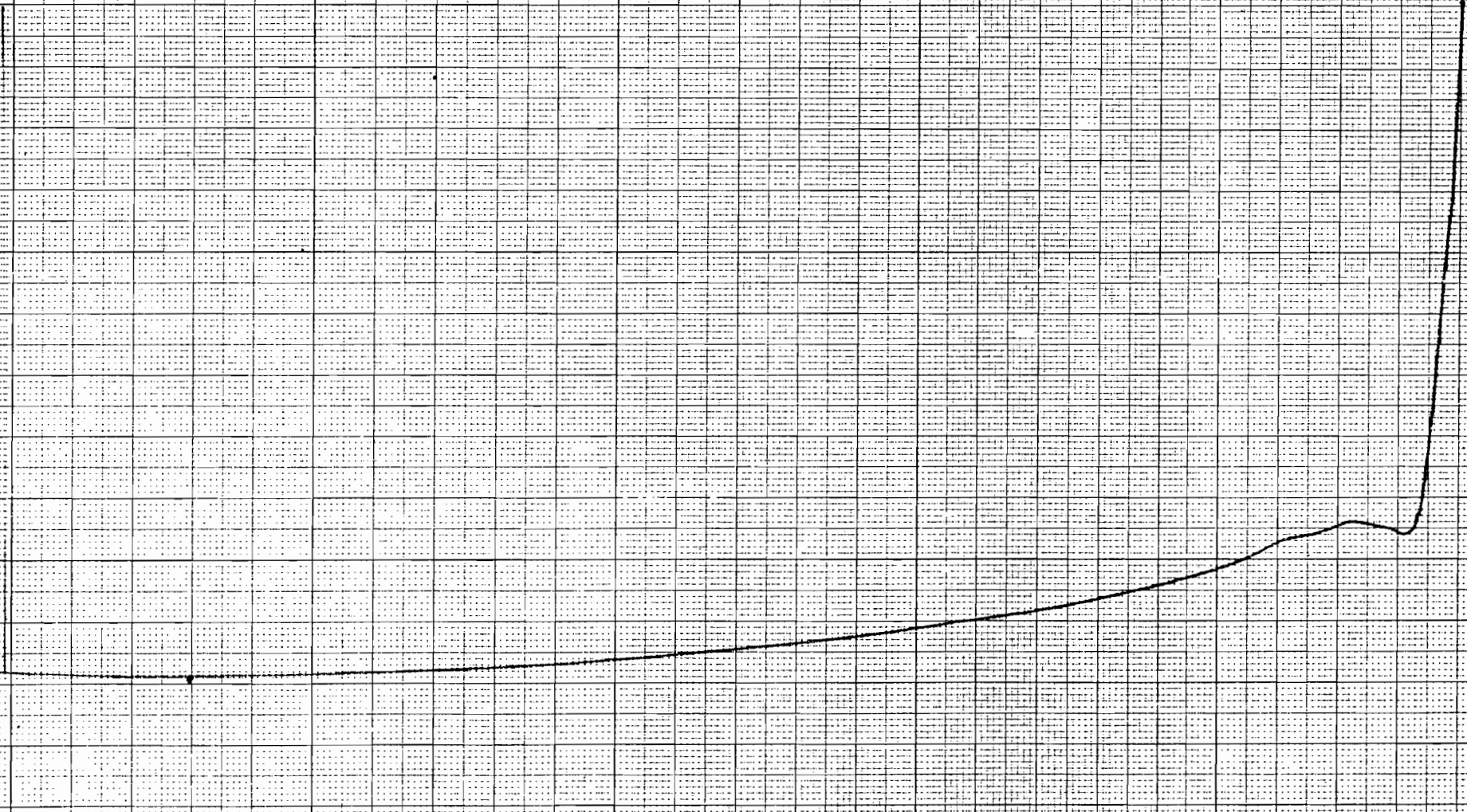
C.3 53

max
↓

portel

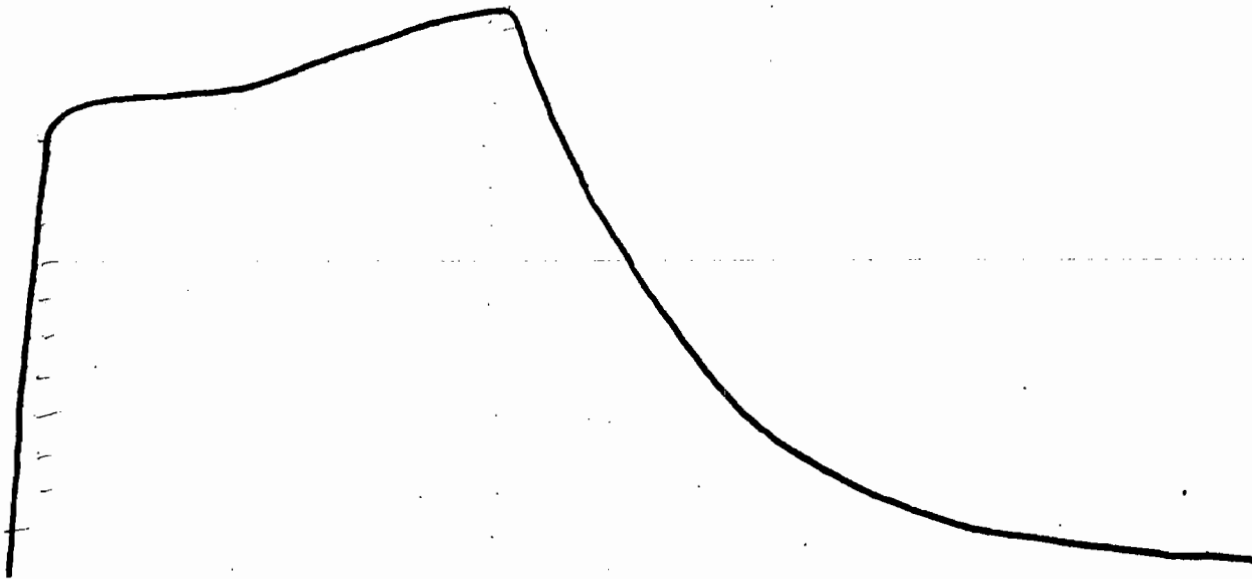
elastis





BIB: 410N
Y: 0.95
X: 0.15
C.4
52.2

BB4TON
f: 0,25
X: 0,5
B.1 35,6



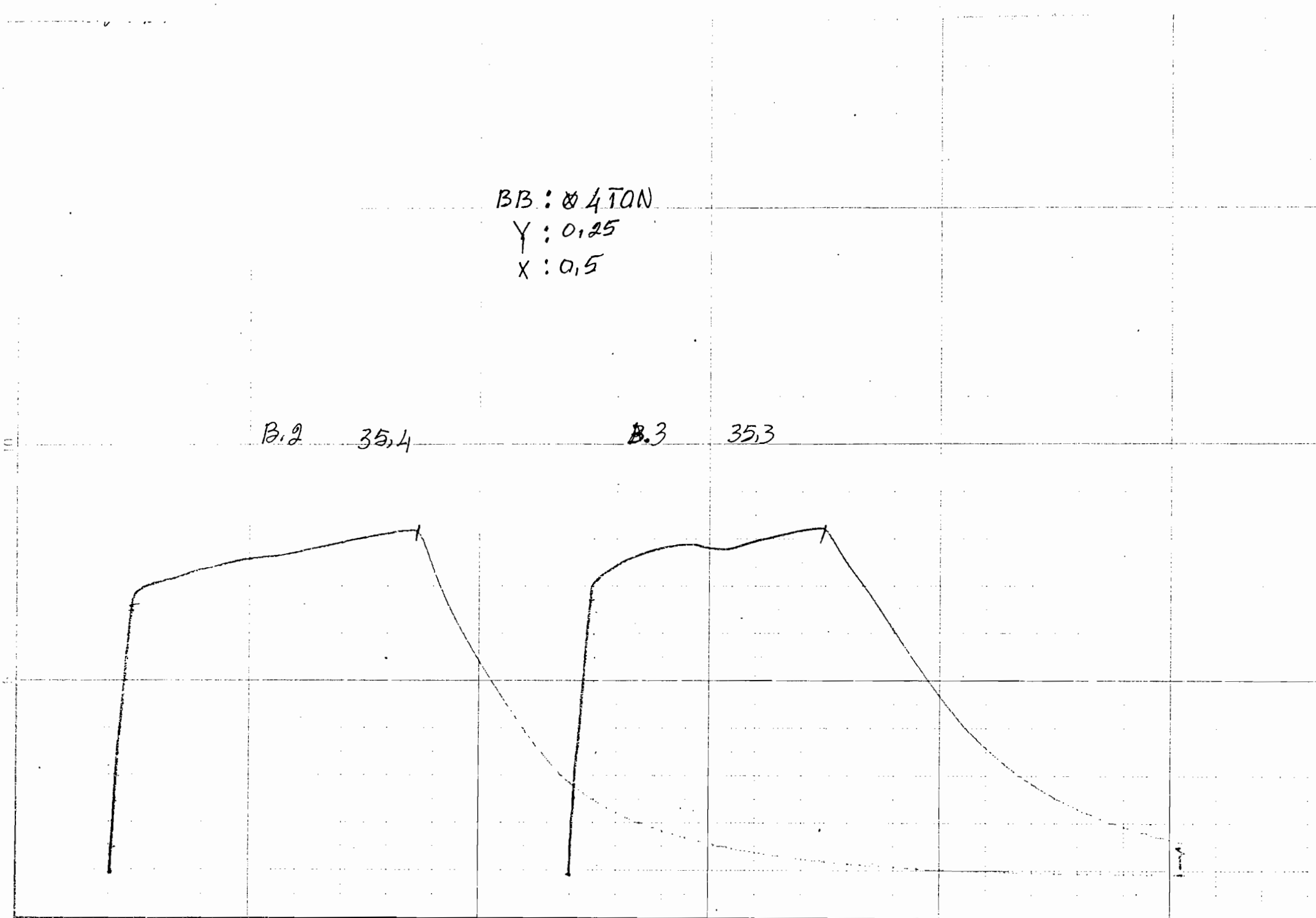
BB : 4 TON

Y : 0,25

X : 0,5

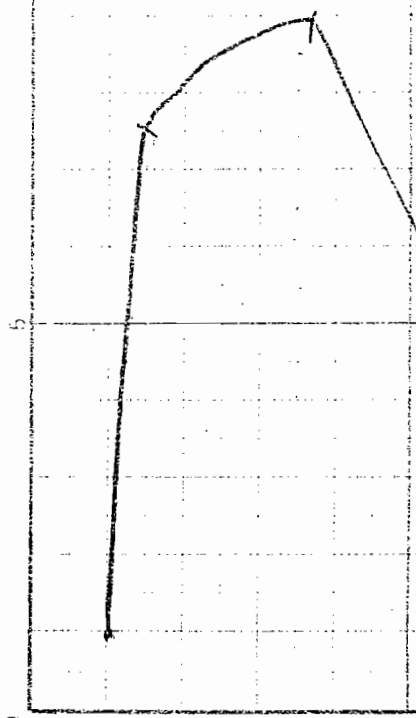
B.2 35,4

B.3 35,3



BB: 4. TON
Y: 0.25
X: 0.15

B. 4. 38.7°



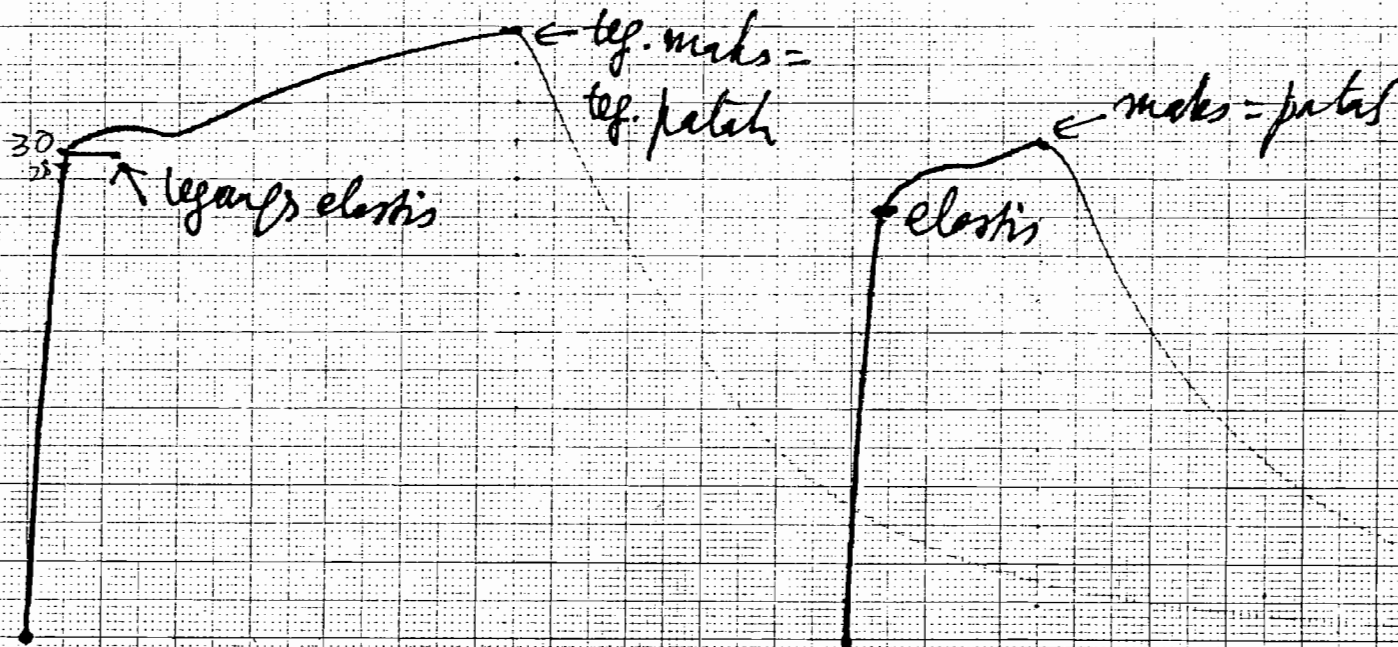
$$A_1 \text{ beban} = 38,2\% \times 4000 \text{ kg}$$

BB: 4 TON
 $\gamma: 0,25$
 $x: 0,15$

$$\sigma = \frac{\text{beban}}{A} = \frac{38,2\% \cdot 4000}{\dots} = \dots$$

A1 38,2%

A.2 31,4%



BB : 4 TON

Y : 0,25 ✓

X : 0,15 ✓

σ_u

A.3 . 38,7%

σ_u max = patch

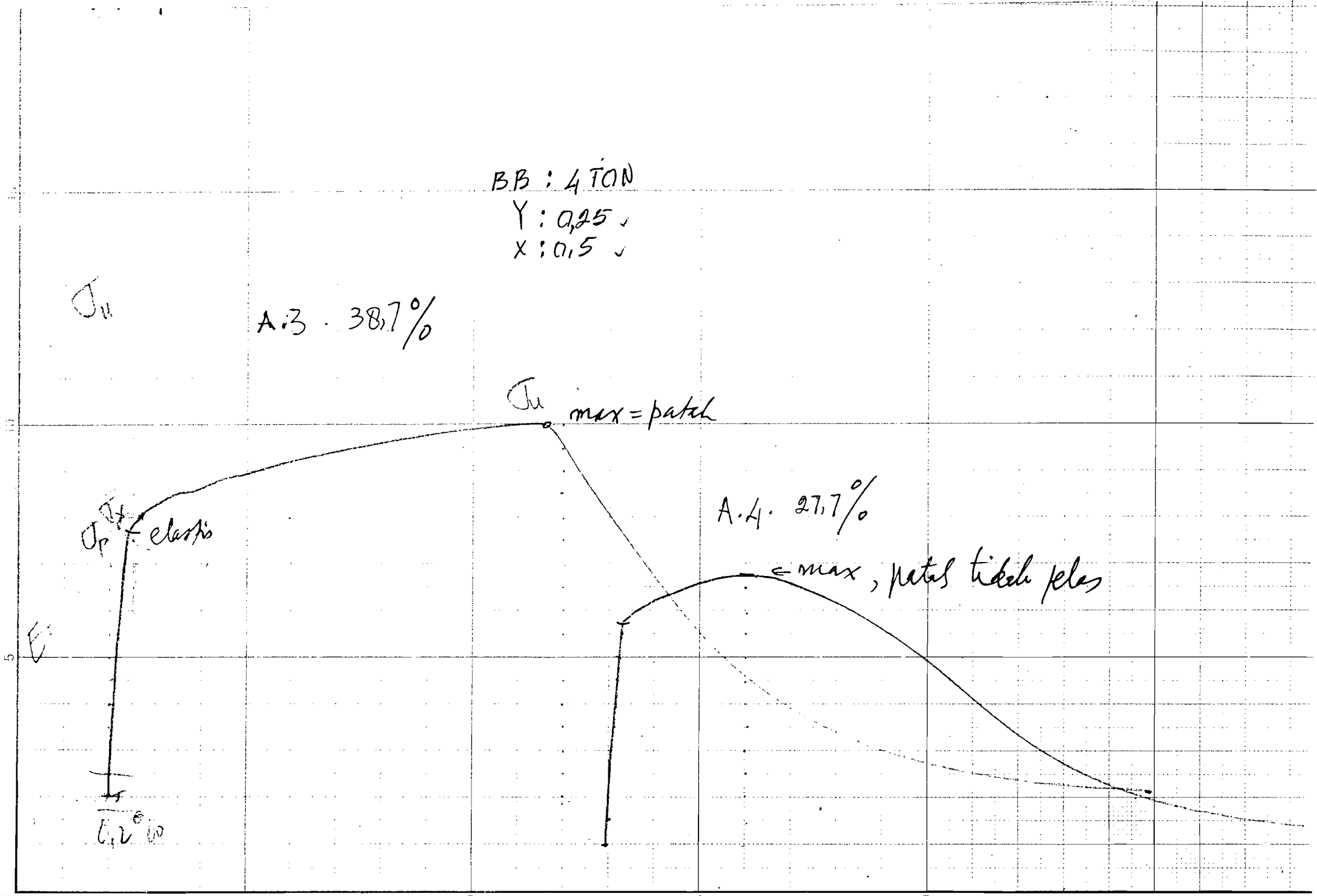
A.4 . 27,7%

ϵ max, patah tidak ples

σ_p elastic

E

$\epsilon_{1,2} \cdot 10^3$





UJIAN PENDADARAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI
TANGGAL : 29 Juli 2003

NAMA Mhs. : Y.M.G. SIGIT PRASETYO BUDI

NIM : 995214013

JUDUL :
" Effect of welding on metal A-287 "

Pembimbing Utama : Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.


Pembimbing Kedua : Ir. Rines, M.T.

USULAN REVISI DARI DOSEN PENGUJI

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

1. Abstrak ✓
2. Editorial hal 8, 41, 42, 43 ✓
3. Kata pengantar, Daftar pustaka ✓
4. Ket. gbr. dng huruf kapital ✓
5. Ep - regangan plastis ✓

Hasil revisi telah
diperiksa dan
disetujui untuk
digilid, 11/8-03.


= Dosen Pembimbing II ✓



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman – Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 886530; Fax. (0274) 886529; Email: teknik@usd.ac.id

LEMBAR KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nomor : 227 / FT.USD / TM / April / 2002

Nama Mahasiswa : YMG. Sigit Prasetya Budi

Nomor Mahasiswa : 995214013

NIRM : 990051123109120013

Matakuliah : Bahan Teknik Manufaktur

Judul / naskah soal :

Sifat pengelasan baja A-287 sebagai fungsi perlakuan panas. (Pengaruh Pengelasan pada Baja A-28

Tanggal dimulai : 4 Maret 2002

Pembimbing Utama : Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.

Pembimbing Kedua : Ir. M. Rines Alapan, M.T.

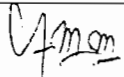
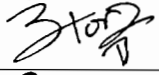
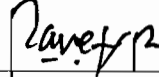
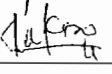
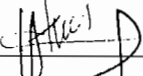

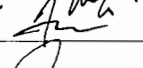
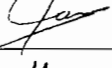
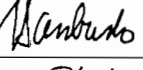
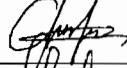
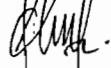

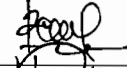
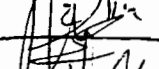

NO	TGL	URAIAN	KETERANGAN	TANDA TANGAN
1.	29/04-02	Penentuan spesimen (12 buah)		vh
2.	05/05-03	Perbaiki menurut saras		vh
3.	04/07/03	Perbaiki lagi sesuai saras		vh
4.	08/07/03	Dapat di uji		vh
5.				
6.				
7.				
8.				

PRESENSI PESERTA SEMINAR TUGAS AKHIR

Judul : Pengaruh Pengelasan Pada Baja A-287

Hari/tanggal : Jumat, 11 Juli 2003

Tempat : Ruang K4.16

No	Nama	No. Mahasiswa	Tanda tangan
1	V. Andri Purriawan	995214164	
2	YURIS WERENAPUDUS B.	005214098	
3	Mateus Endy H	965214038	
4	NOKI Setyawan	995214098	
5	Y. Nugroho AP	995214091	
6	P. Agung Setyawan	995214088	
7	F. JERRY TUNIARTO	995214006	
8	P. YUYUN SATIYOSO	995214116	
9	Yohanes Sambodo	985214068	
10	A. LILIK W. H	995214192	
11	Prisca falaga	995214196	
12	Bram Prasetyu	995214049	
13	Very Ibet Gultom	995214067	
14	HENDRO SUSILO	985214062	
15	P. DWI SUSANTA ATMOJO	985214033	

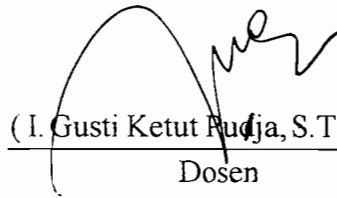
16			
17			
18			
19			
20			

Mengetahui,



(Ir. M. Rines Alapan, M.T.)

Dosen Pembimbing II



(I. Gusti Ketut Rudja, S.T., M.T.)

Dosen