

**PENGARUH LAS ASETILIN, MIG DAN TIG TERHADAP
KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO
BESI COR KELABU**

TUGAS AKHIR

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

**Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin**



Diajukan oleh :

YOSEP HARIWIDIYANTO

98 5214 075

Kepada

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANATA DHARMA

YOGYAKARTA

2006

**THE EFFECT OF ACETYLIN, MIG AND TIG WELDING
ON GRAY CAST IRON'S STRENGTH AND
MICRO STRUCTURE**

FINAL PROJECT

**Presented as Partial Fullfillment of The Requirements
To Obtain The *Sarjana Teknik* Degree
In Mechanical Engineering**



By

**YOSEP HARIWIDIYANTO
STUDENT NUMBER : 985214075**

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
ENGINEERING FACULTY
SANATA DHARMA UNIVERSITY
YOGYAKARTA**

2006

TUGAS AKHIR

**PENGARUH LAS ASETILIN, MIG DAN TIG TERHADAP
KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO
BESI COR KELABU**

**Disusun Oleh:
Yosep Hariwidiyanto
985214075**

Telah disetujui oleh

Pembimbing Utama



Budi Setyahandana, S.T, M.T.

Tanggal, 25 Januari 2006

TUGAS AKHIR

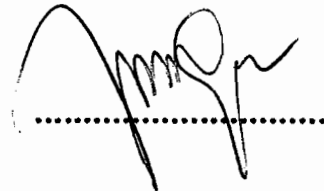
**PENGARUH LAS ASETILIN, MIG DAN TIG TERHADAP
KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO
BESI COR KELABU**

**Dipersiapkan dan ditulis oleh
Yosep Hariwidiyanto
985214075**

**Telah dipertahankan di depan tim penguji
Pada tanggal, 30 Januari 2006
Dan dinyatakan memenuhi syarat**

Susunan Panitia Penguji

Ketua : I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.



Sekretaris : Wibowo Kusbandono, S.T., M.T.

Berita

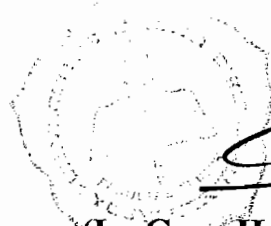
Anggota : Budi Setyahandana, S.T., M.T.



Yogyakarta, 30 Januari 2006

Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma

Dekan



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

HALAMAN 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, Januari 2006

Penulis

Yosep Hariwidiyanto

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

Tuhan Yesus Kristus,

Terima kasih atas kasih dan karunia-Mu yang melimpah atasku;

Bapak dan Ibu FX. Djemidi,

Yang tidak pernah berhenti memberikan dukungan spiritual dan material;

Adik-adikku Endar dan Sisil

Yang selalu mendoakan dan men-support-ku agar cepat lulus;

Felisitas Adelia Indriasari dan Cicilia Setyowati, S.S., S.Pd.,

Yang selalu setia dan tak pernah bosan menemani

Serta mendengarkan keluh kesahku dalam menyelesaikan studi;

Keluarga Lorensius Hendro Wibowo, M.Pd.,

Keponakanku Wisnu, Sari, Agung, Iyus

Mbah Sari dan Mbah Yem

Yang selalu memberi dukungan doa dan support moril dan materi;

Yang terakhir

Kupersembahkan karya ini untuk

Semua orang yang telah berbuat baik kepadaku dan selalu menyayangiku

AKHIRNYA AKU “KELAR” JUGA

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kasih atas segala rahmat dan berkah-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul "*Pengaruh Las Asetilin, MIG dan TIG terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu*" ini dapat terselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam menyelesaikan studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tanpa terlepas bantuan banyak pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menghaturkan terima kasih yang tulus 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 tugas akhir yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir.FA.Rusdi Sambada, M.T., dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penulis menimba ilmu di Fakultas Teknik USD.
5. Seluruh dosen dan karyawan Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing dalam menyelesaikan studi di Universitas Sanata Dharma.
6. Seluruh karyawan laboratorium Teknik Mesin yang telah sudi memberikan bimbingan dan bantuannya.

7. Keluarga besar *I.X. Djemidi*; Bapak-Ibuku yang tercinta, dan adik-adikku Ender dan Sisil; yang telah membantuku dengan dorongan moral dan spiritual dalam menyelesaikan tugas ini.
8. *My little family*: Felisitas Adelia Indriasari dan Cicilia Setyowati, S.S., S.Pd.; atas doa, dukungan, bimbingan dan waktu yang tercurah untuk mendengarkan segala keluh kesahku saat mengerjakan tugas akhir ini.
9. Saudara-saudaraku "*Keluarga Cemara*" : Harso, Win-Gowenk, Agus-Ciblek, Beny, Pramono: "*Makasih atas bantuan dan dorongan kalian kepadaku. Semoga Tuhan selalu menyertai kita semua !*"
10. Rekan-rekan mudika "*Santo Mikhael Nanggulan I*" : Yanto, Cosmas; "*Makasih banget atas semua dorongan suportnya kepadaku. Semoga Tuhan selalu memberkati kita semua !*"
11. *My best friends*: Tulis, Cahyo-bagonk, Ari-gondes, Setyo, Hans; "*Thanks banget atas semua bantuan yang telah diberikan kepadaku. God Bless You All !*"
12. Rekan-rekan angkatan '98 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
13. Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu; yang telah ikut berpartisipasi dalam penyelesaian tugas akhir ini. Sekali lagi penulis ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu apabila para pembaca menemukan adanya kesalahan baik penulisan teori maupun perhitungan rumus-rumus, yang diakibatkan oleh kekurangtelitian penulis dalam pengerjaan tugas ini; penulis mengharapkan kritik, koreksi dan saran yang

bersifat membangun untuk perbaikan tugas ini selanjutnya. Atas perhatian, pemberian kritikan, koreksi dan saran-saran dari para pembaca sekalian, penulis mengucapkan terima kasih dan akan menerimanya dengan lapang dada.

Yogyakarta, Januari 2006

Penulis

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh las Asetilin, MIG dan TIG terhadap sifat fisis dan mekanis yang meliputi kekuatan tarik dan struktur mikro besi cor kelabu. Besi cor kelabu mempunyai kandungan unsur kimia sebagai berikut: (Fe 92,88%; C 3,473%; Si 2,022%; Mn 0,794%; P 0,094%; S 0,074%; Ni 0,070%; Cr 0,086%; Mo 0,048%; Cu 0,178%; V 0,013%; Ti 0,013%; Nb < 0,004%; Al 0,023%; W 0,015%). Material besi cor kelabu berupa plat dengan ketebalan 4 mm.

Penelitian sifat fisis dan mekanis besi cor kelabu dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama adalah pengujian tarik, baik itu spesimen tanpa proses pengelasan maupun menggunakan proses pengelasan. Uji tarik menggunakan mesin Testing Machine dengan beban maksimal 10000 kg. Tahap kedua pengujian struktur mikro besi cor kelabu sebelum pengelasan dan sesudah pengelasan terutama pada daerah logam induk, daerah HAZ dan logam lasan. Uji struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop metalografi yang dilengkapi kamera untuk mengambil gambar struktur mikro besi cor kelabu.

Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik yang paling tinggi pada spesimen mula-mula, untuk proses pengelasan spesimen las asetilin memiliki kekuatan paling tinggi kemudian las MIG dan las TIG. Hasil penelitian las Asetilin yang paling baik untuk material plat besi cor kelabu. Uji struktur mikro menunjukkan batas antara bahan tambah, daerah HAZ dan bahan induk terlihat jelas sehingga memudahkan pengamatan. Pada pengamatan visual daerah sambungan las nampak lubang-lubang hitam yang menyebabkan getas dan keropos.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSOALAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
INTISARI	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 Baja dan Besi	4
2.1.1 Klasifikasi Besi Cor	7
2.1.2 Pengaruh Unsur Paduan dalam Besi Cor Kelabu	11
2.2 Pengelasan	13

2.2.1 Las Busur Nyala Listrik	16
2.2.2 Prinsip Kerja	17
2.2.3 Elektroda	17
2.2.4 Standarisasi Elektroda	19
2.2.5 Sifat-sifat Penutup Elektroda	20
2.3 Disain Sambungan	23
2.3.1 Disain	24
2.4 Mesin Las	27
2.4.1 Mesin Las Arus Searah (DC)	28
2.4.1.1 Las TIG	29
2.4.1.2 Las MIG	30
2.4.2 Mesin Las Otomatis	32
2.4.3 Mesin Las Arus Bolak-balik (AC)	32
2.4.4 Mesin Las Titik	33
2.4.5 Pesawat Las Karbit	34
2.4.5.1 Las Oksi-Asetilin	35
2.4.5.2 Penggunaan Api pada Las Asetilin	37
2.4.6 Pesawat Las Roda	38
2.5 Pengujian Besi Cor Kelabu	38
2.5.1 Pengujian Bersifat Merusak Benda Uji	39
2.5.1.1 Pengujian Tarik	39
2.5.2 Pengujian Bersifat Tidak Merusak Benda Uji	42
2.5.2.1 Pengujian Struktur Mikro	42

2.6 Retak Las	43
2.6.1 Retak Dingin di Daerah Panas	43
2.6.2 Retak Panas	44
2.6.3 Usaha Menghindari Retak Las	44
BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN	46
3.1 Diagram Alir Penelitian	46
3.2 Persiapan Material	47
3.3 Pelaksanaan Penelitian	47
3.3.1 Kandungan Komposisi Kimia	48
3.3.2 Proses Pelaksanaan Pengelasan	48
3.3.3 Prosedur Pengujian Tarik	51
3.3.4 Prosedur Pengujian Struktur Mikro	52
BAB IV HASIL PENELITIAN	55
4.1 Pengujian Tarik	55
4.1.1 Spesimen Tanpa Sambungan Las	55
4.1.2 Spesimen Sambungan Las Asetilin	58
4.1.3 Spesimen Sambungan Las MIG	60
4.1.4 Spesimen Sambungan Las TIG	62
4.1.5 Grafik Hasil Pengujian Tarik	64
4.1.6 Pembahasan Pegujian Tarik	64
4.2 Pengujian Struktur Mikro	65
4.2.1 Perhitungan Skala Gambar	65
4.2.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu	66

4.2.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Logam Induk	66
4.2.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Daerah HAZ	68
4.2.5 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Logam Las	69
4.2.6 Pembahasan Struktur Mikro	71
BAB V KESIMPULAN DAN PENUTUP	72
3.1 Kesimpulan	72
3.2 Penutup	72
DAFTAR PUSTAKA	xix
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Diagram Keseimbangan Besi – Karbon	5
2.2 Sifat-sifat Besi Murni	6
2.3 Skema Las Tempa	15
2.4 Peralatan Las Busur Nyala Listrik	17
2.5 Berbagai Bentuk Sambungan	24
2.6 Lasan Grove	26
2.7 Macam dan Jenis Kampuh Penyambungan Ujung	27
2.8 Mesin Las Arus Searah (DC)	28
2.9 Skema Las Tungsten (TIG)	30
2.10 Skema Las Busur Gas (MIG / MAG)	31
2.11 Mesin Las Otomatis	32
2.12 Mesin Las Arus Bolak-balik (AC)	33
2.13 Mesin Las Titik yang dapat dipindah	33
2.14 Mesin Las Titik Tetap	34
2.15 Tabung Gas	34
2.16 Mesin Las Karbit	34
2.17 Nyala Api Oksi-Asetilin	35
2.18 Skema Las Oksi-Asetilin	36
2.19 Nyala Api Netral	37
2.20 Nyala Api Karburasi	37

2.21 Nyala Api Oksidasi	38
2.22 Mesin Las Roda	38
2.23 Diagram Hubungan σ dan ϵ Uji Tarik Benda Liat	40
2.24 Uji Struktur Mikro	43
3.1 Material Besi Cor Kelabu	49
3.2 Spesimen Uji Tarik Standart ASTM	49
3.3 Bentuk Sambungan V Tunggal	49
3.4 Benda Uji Struktur Mikro	52
4.1 Spesimen sebelum Pengujian Tarik (L_0)	55
4.2 Spesimen setelah Pengujian Tarik (L_1)	55
4.3 Grafik Tegangan Tarik Benda Uji (σ_u)	64
4.4 Grafik Regangan / Elongation (%)	64
4.5 Kawat Kalibrasi	65
4.6 Struktur Mikro Besi Cor Kelabu	66
4.7 Logam Induk Sambungan Las Asetilin	66
4.8 Logam Induk Sambungan Las MIG	67
4.9 Logam Induk Sambungan Las TIG	67
4.10 HAZ Sambungan Las Asetilin	68
4.11 HAZ Sambungan Las MIG	68
4.12 HAZ Sambungan Las TIG	69
4.13 Logam Las Asetilin	69
4.14 Logam Las MIG	70
4.15 Logam Las TIG	70

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Perbandingan antara Baja dengan Besi Cor	8
2.2 Komposisi Kimia Besi Cor	8
3.1 Kandungan Komposisi Material Besi Cor Kelabu	48
4.1 Hasil Pengujian Tarik Spesimen tanpa Sambungan Las	57
4.2 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Sambungan Las Asetilin	59
4.3 Hasil Pengujian Tarik spesimen Sambungan Las MIG	61
4.4 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Sambungan Las TIG	63

DAFTAR NOTASI / LAMBANG

Lambang

- ΔL = Pertambahan panjang, (mm)
- L = Panjang benda uji, (mm)
- L_0 = Panjang awal (mm)
- L_1 = Panjang akhir (mm)
- l = Lebar spesimen, (mm)
- t = Tebal spesimen (mm)
- A_0 = Luas penampang benda uji, (mm^2)
- F_{maks} = Beban maksimum (kg)
- F_{patah} = Beban patah (kg)
- ε = Regangan, (%)
- ψ = Kontraksi, (mm^2)
- α = Ferit
- β = Perlit
- γ = Austenit
- A_f/A_U = Luas penampang akhir benda uji, (mm^2)
- σ = Tegangan, (kgf/mm^2)
- σ_p = Tegangan proporsional, (kgf/mm^2)
- σ_y = Yielding strees (tegangan elastis), (kgf/mm^2)
- σ_l = Tegangan luluh, (kgf/mm^2)

σ_u = Tegangan tarik, (kgf/ mm²)

σ_B = Tegangan patah, (kgf/ mm²)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Besi dan baja merupakan suatu material logam yang paling banyak dipakai sebagai bahan industri, karena selain bernilai ekonomis, besi dan baja juga mempunyai sifat-sifat yang bervariasi. Besi dan baja tersebut mempunyai berbagai sifat, dari yang paling lunak dan mudah dibuat, sampai dengan yang paling keras dan tajam sehingga dapat digunakan untuk pisau pemotong. Kedua bahan tersebut dapat dibuat dalam bentuk apapun dengan jalan pengecoran. Karena dari unsur besi dapat dibuat berbagai bentuk struktur logam, maka besi dan baja disebut bahan yang kaya dengan sifat-sifat.

Apabila besi mengalami sebuah proses pemanasan pada suhu yang tinggi maka akan mengalami perubahan struktur, sehingga sifat-sifat fisis dan mekanik yang dimilikinya berubah. Penelitian berikut ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh macam-macam pengelasan pada besi cor kelabu untuk mendapatkan hasil yang paling baik dari proses pengelasan. Pengelasan merupakan bagian tak terpisahkan dari pertumbuhan dan perkembangan dunia industri karena memegang peranan penting dalam rekayasa dan reparasi, terutama industri logam. Hampir tidak mungkin menyebut pembangunan suatu pabrik tanpa melibatkan unsur pengelasan. Peranan proses pengelasan dalam industri semakin hari semakin meningkat, bahkan kegiatan pengelasan berperan sebagai proses penyambungan logam yang paling handal.

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Oleh karena itu, melalui proses tersebut maka logam di sekitar 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 sangat fatal terhadap keamanan dan konstruksi yang dilas.

1.2 Perumusan masalah

Pengelasan yang banyak digunakan dalam proses produksi dan konstruksi yang menggunakan besi cor kelabu adalah sejenis las gas yang lazim disebut las karbit atau las autogen. Hasil penelitian diperoleh dari uji komposisi bahan; pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan tarik; struktur mikro untuk menganalisis bentuk dan ukuran butir kristal pada daerah logam induk, daerah HAZ dan logam las. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh macam-macam las pada besi cor kelabu khususnya las Oksiasetilin (karbit), las MIG dan las TIG.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian yang berjudul “Pengaruh Las Asetilin, MIG, dan TIG terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu” ini bertujuan untuk:

1. mengetahui pengaruh Las Asetilin, Las MIG, dan Las TIG terhadap kekuatan tarik besi cor kelabu; dan

2. mengetahui pengaruh Las Asetilin, Las MIG, dan Las TIG terhadap struktur mikro besi cor kelabu.

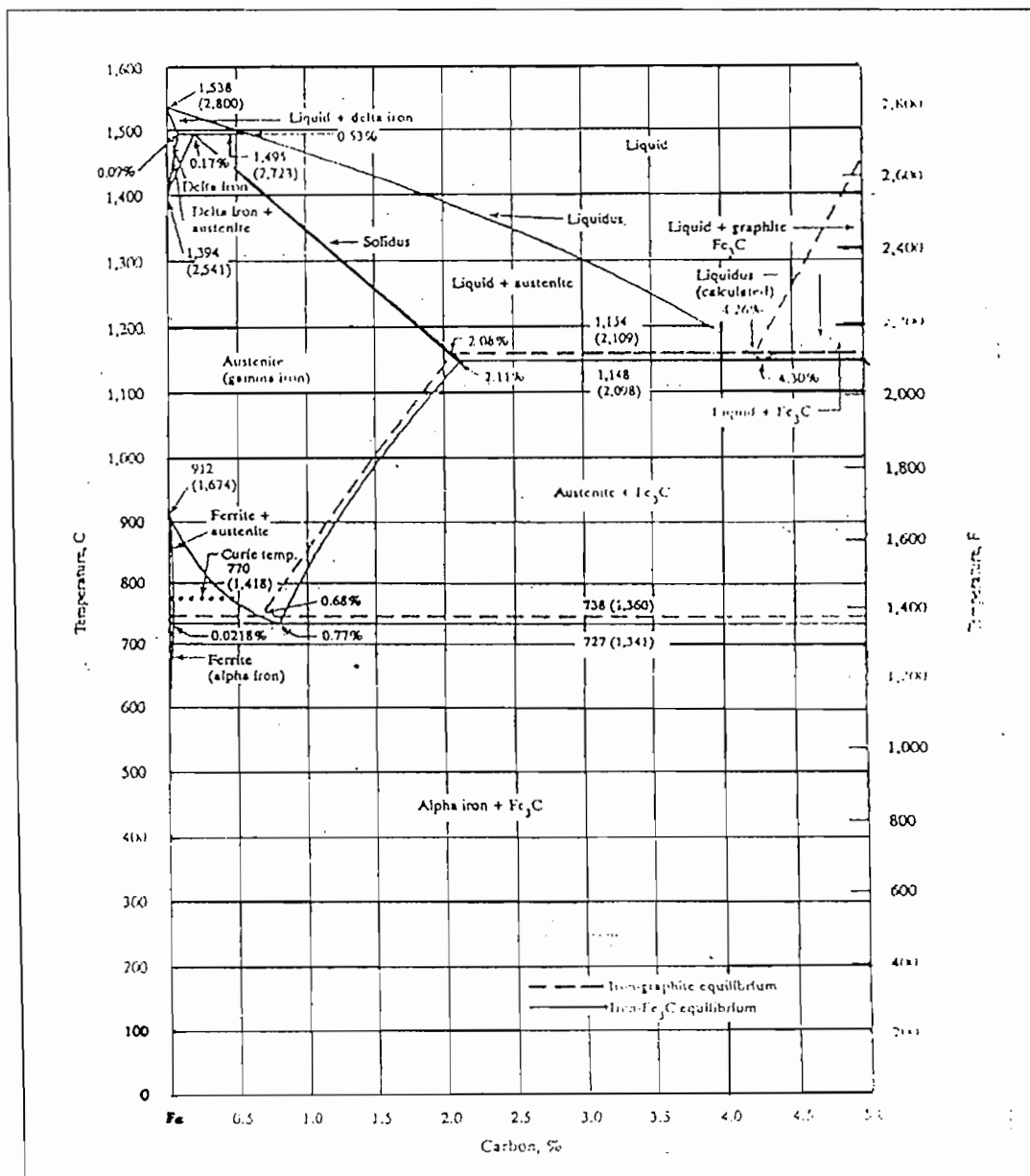
1.4 Batasan Masalah

Proses penelitian dan analisis difokuskan pada proses pengamatan sifat fisis dan mekanis. Penelitian sifat mekanis bahan yaitu pengujian tarik, sedangkan penelitian sifat fisis hanya pada pengujian struktur mikro. Pada penelitian ini, proses pengujian besi cor kelabu didasarkan pada perhitungan tegangan maksimal, regangan maksimal, tegangan patah, batas tegangan elastis, kekuatan tarik serta perbedaan dan persamaan struktur mikro; setelah besi cor kelabu tersebut mengalami proses pengelasan terutama pada logam induk, daerah HAZ, dan logam las. Sampel pengelasan menggunakan 3 jenis las yaitu las Asetilin, las MIG, dan las TIG. Proses pengujian dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah dilakukan pengelasan.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Baja dan Besi

Baja diperoleh melalui suatu rangkaian proses pada bijih besi yang dihasilkan dari proses tambang, hasil tambang tersebut dilebur dalam dapur tinggi (*blast furnace*). Besi mentah hasil dapur tinggi tersebut masih mengandung unsur C, Si, Mn dan S dengan jumlah cukup besar. Kemudian kandungan unsur-unsur tersebut dikurangi lewat proses oksidasi peleburan untuk mendapatkan baja atau kandungan besi yang sesuai dengan keinginan. Baja adalah suatu 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 sampai 727°C untuk paduan dengan kadar karbon sebanyak 0,77%, kemudian meningkat hingga mencapai angka 1148°C untuk paduan dengan kadar 2,11%. Seandainya paduan besi-karbon yang mengandung karbon lebih dari 0,77% didinginkan hingga mencapai garis γ (*austenite*), Fe_3C akan mengendap dengan laju sedemikian rupa hingga pada suhu 727°C hanya tinggal karbon sebanyak 0,77% sebagai larutan padat besi γ (*austenite*). Bila paduan besi karbida dengan kadar karbon kurang dari 0,77% didinginkan hingga garis batas besi γ (*austenite*), 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 menunjukkan diagram keseimbangan besi-karbon sebagai dasar dari bahan yang berupa besi baja.



Gambar 2.1 Diagram Keseimbangan Besi – Karbon
(Sumber: Bahan Teknik Manufaktur, Viktor Malau, hal 22)

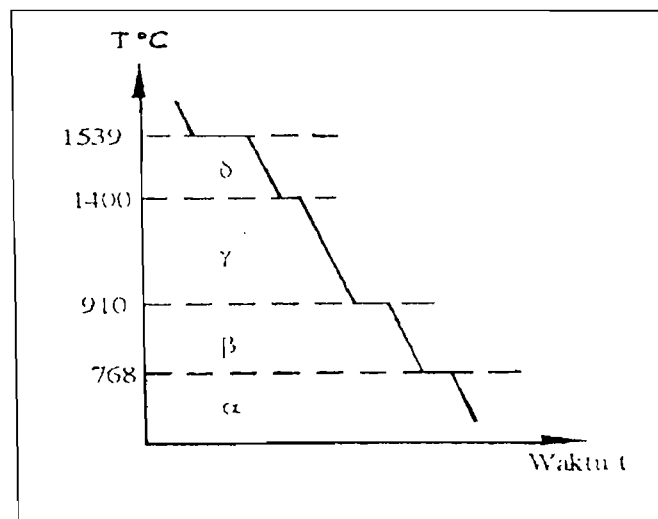
Pada suhu 727° C austenit yang mengandung karbon 0,77% bertransformasi dalam keadaan seimbang membentuk campuran dengan kadar ferit dan sementit tertentu yang disebut perlit. Jumlah perlit meningkat dari nol pada kadar karbon sangat rendah hingga 100%, yaitu bila baja mengandung karbon 0,77%. Setelah itu, ketika karbon naik mencapai 2,11% kadar perlit turun

karena kelebihan karbon hanya akan membentuk Fe_3C sehingga kekerasan, kekuatan naik dan keuletan turun berbanding lurus dengan jumlah perlit.

Besi merupakan elemen logam penyusun utama dari baja. Ada dua macam besi dilihat dari sudut pandang industri, yaitu:

1. Besi murni dengan kandungan C < 0,1 % dan Fe > 99,5 %
2. Besi tuang / cor (cast iron) dengan kandungan C cukup besar ($C \approx 1,7 - 6,67\%$).

Bila besi murni didinginkan secara perlahan, akan diperoleh diagram seperti Gambar 2.2 di bawah ini:



Gambar 2.2 Sifat-sifat Besi Murni
(Sumber: Bahan Teknik Manufaktur, Setyahandana.B, hal 37)

Pada suhu 1539°C , besi cair mulai membeku. Pada pendinginan selanjutnya larutan padat menunjukkan titik henti pada suhu 1400°C dan pada suhu ini besi mengalami perubahan susunan kristal (Sumber: Diktat Bahan Teknik Manufaktur, Setyahandana.B). Besi pada suhu $1539-1400^{\circ}\text{C}$ disebut besi dengan susunan δ atau besi δ . Besi dengan suhu $1400-910^{\circ}\text{C}$ disebut besi dengan susunan γ atau besi γ . Besi dengan suhu $910-768^{\circ}\text{C}$ disebut besi β . Besi dengan

suhu 768° C sampai dengan suhu kamar disebut besi α . Besi α dan besi β tidak berbeda dalam susunan kristalnya, hanya berbeda pada sifat yaitu besi α bersifat magnetis sedang besi β bersifat tidak magnetis, jadi dalam hal ini dikenal tiga macam susunan kristal besi yaitu δ , γ , α ($\beta = \alpha$).

2.1.1 Klasifikasi Besi Cor

Besi cor adalah salah satu bahan yang sangat penting yang dipergunakan sebagai bahan cor. Daerah komposisi kimia ditetapkan dalam diagram keseimbangan Fe-C pada batas kelarutan karbon besi γ , yaitu mengandung 2 % karbon atau lebih. Akan tetapi besi cor yang nyata, terdiri dari paduan yang berkomponen banyak yang mengandung Si, Mn, P, S dan unsur-unsur lainnya.

Besi cor dibuat dalam dapur kupola (*cupola furnace*). Sebagai bahan isian (*charging materials*) terdiri dari: (1) Bahan utama (*metallic materials*); (2) Bahan bakar (*fuel*); (3) Bahan tambah (*flux*). Sebagai bahan utama dipergunakan besi mentah (*pig iron*), besi cor atau baja bekas (*scrap steel*), sisa-sisa saluran cetakan dan beram-beram pemotongan logam ferro. Bahan bakar yang digunakan adalah kokas dan sebagai bahan tambah digunakan batu kapur atau dolomite. Bahan tambah ini berfungsi untuk menurunkan titik cair bahan utama serta mengikat terak cair yang timbul sehingga terpisah dari besi cor yang terbentuk.

Besi cor banyak digunakan dalam dunia industri terutama pada dunia teknik mesin. Besi cor yang kita temukan di pasaran mempunyai kandungan karbon sekitar 2,5 – 4%. Bila kadar karbon naik, bahan akan semakin getas dan keliatannya menurun, sehingga besi cor tidak dapat dikerjakan dingin. Besi cor mempunyai tegangan tarik rendah, sedangkan daya tekannya cukup tinggi.

Perbandingan antara baja dan besi cor dapat dilihat pada Tabel 2.1 seperti di bawah ini.

Tabel 2.1 Perbandingan antara Baja dan Besi Cor
(Sumber: Bahan Teknik Manufaktur, Setyahandana. B, hal 38)

Baja	Besi Cor
a. Besi karbon dengan kadar C kurang dari 2 % ($C < 2\%$)	a. Besi karbon dengan kadar C lebih dari 2 % ($C > 2\%$)
b. Mudah dikerjakan dengan mesin (dibubut, dibor, dll)	b. Sukar dikerjakan dengan mesin
c. Dapat ditempa dengan baik	c. Mudah pecah/retak /rusak bila ditempa
d. Dapat dibuat sebagai baja tempa atau baja tuang	d. Hanya sebagai besi cor
e. Bersuara nyaring bila dipukul	e. Kurang nyaring bila dipukul
f. Bersifat ulet (Ductile) sehingga dapat dibentuk dengan baik	f. Bersifat rapuh/getas
g. Memiliki tegangan tarik tinggi	g. Memiliki tegangan tarik rendah
h. Memiliki frekuensi getar tinggi sehingga getaran tidak lekas padam	h. Frekuensi getar lebih sehingga getaran lekas padam. Dengan demikian bahan ini cocok untuk pondasi/frame suatu mesin

Komposisi kimia dari 4 jenis besi cor dapat dilihat dalam Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Besi Cor
(Sumber: Bahan Teknik Manufaktur, Setyahandana. B, hal 39)

Jenis Besi Cor	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)
Putih	3,3 – 3,6	0,4 – 1,2	0,25 – 0,80	0,06 – 0,20	0,05 – 0,20
Kelabu	3,0 – 3,7	1,2 – 2,5	0,25 – 1,0	0,02 – 0,25	0,05 – 1,0
Malleable	2,0 – 2,6	1,0 – 1,6	0,20 – 1,0	0,04 – 0,20	< 0,20
Nodular	3,0 – 4,0	1,8 – 3,0	0,10 – 0,80	< 0,30	< 0,10

Sifat-sifat besi cor dapat bervariasi apabila mendapat elemen tambahan dan mengalami perlakuan panas. Besi cor dapat diklasifikasikan dalam 4 jenis kelompok sebagai berikut:

a. Besi Cor Putih (*White Cast Iron*)

Besi cor putih berisi perlit (*pearlite*) di dalam matrik cementit. Besi ini sangat sulit dikerjakan dengan mesin karena sangat keras dan getas. Besi tuang putih akan memperlihatkan penampang warna keputih-putihan bila mengalami "*Fracture*", sehingga disebut besi cor putih. Bahan ini mempunyai daya tahan aus tinggi, dan daya tahan aus ini masih dapat ditingkatkan dengan menambah unsur Cr dan Ni. Besi tuang putih sangat terbatas pemakaiannya, banyak digunakan untuk bahan cetakan.

b. Besi Cor Kelabu (*Gray Cast Iron*)

Besi tuang kelabu mengandung 2,5 % - 4 % karbon dan biasanya lebih dari 2 % Si. Pada saat solidifikasi, cementit berada dalam keadaan tak seimbang sehingga terbentuk austenit dan grafit karbon. Silikon yang terdapat dalam besi tersebut akan berusaha membentuk grafit. Permukaan besi ini akan berwarna keabu-abuan bila mendapat atau mengalami "*Fracture*". Besi tuang kelabu dapat dibedakan atas tujuh kategori yaitu: *Nomor 20, 25, 30, 40, 50 dan 60*. Angka-angka tersebut menunjukkan tegangan tarik (*ultimate strength*) minimum bahan, misalnya nomor 20 memberi arti bahwa tegangan tarik minimum adalah 20.000 psi, nomor 25 mempunyai tegangan tarik minimum 25.000 psi.

Besi tuang kelabu mempunyai keuletan, plastisitas, ketangguhan dan kemamputempaan tidak baik tetapi kekuatan tekannya sangat baik. Kekuatan tekannya 4 kali kekuatan tariknya; kekuatan geser dan puntir sekitar 1,1 kali kekuatan tarik. Besi tersebut dapat menyerap dan meredam getaran yang

membuatnya merupakan bahan yang sangat baik untuk plat-plat pondasi mesin-mesin berat.

Besi cor kelabu mempunyai tahanan korosi yang sangat baik terhadap udara, air laut, dan asam-asam lemah. Dapat dicor dalam cetakan, ke bentuk-bentuk yang rumit sekali dan untuk jumlah yang sangat besar. Besi cor kelabu ini banyak digunakan sebagai block dan pondasi mesin karena memiliki tegangan tekan tinggi dan mampu meredam getaran dengan baik.

c. Besi Cor Malleable (*Malleable Cast Iron*)

Grafit yang berbentuk daun pada besi cor tidak menguntungkan ditinjau segi kekuatannya. Untuk memperbaiki keuletannya, bentuk tersebut diubah menjadi bentuk bongkahan. Besi cor yang mempunyai bentuk grafit tersebut dinamakan besi cor malleable. Besi cor ini diperoleh dari besi cor putih, proses terjadinya besi cor malleable adalah sebagai berikut:

1. Besi cor putih dipanaskan lambat (50°C/jam) sampai temperatur berada antara 850°C dan 950°C
2. Besi dibiarkan dalam dapur selama kurang lebih 40 jam pada suhu 850°C dan 950°C
3. Besi didinginkan lambat (25°C/jam) sampai suhu 750°C
4. Besi didinginkan dalam dapur sampai mencapai suhu kamar

Rangkaian proses di atas akan menimbulkan grafit berbentuk tidak teratur dalam matrik feritik. Dengan laju pendinginan berbeda, kita dapat memperoleh matrik perlitik atau martensitik lebih keras dan tahan aus, tetapi keliatannya berkurang. Besi cor malleable banyak digunakan sebagai bahan blok mesin.

d. Besi Cor Nodular (*Nodular Cast Iron*)

Apabila pada suatu cairan besi cor ditambahkan 0,1% Mg sehingga mengubah total morfologi grafit. Grafit yang terjadi berbentuk bulat dalam matrik ferritik atau perlitik dapat meningkatkan ketahanan dan faktor intensitas tegangan bahan. Kekuatan besi cor ini dapat mendekati kekuatan baja. Unsur-unsur lain yang dapat membulatkan grafit yaitu Ca, Na, K, Li, Ba, Sr, Zn telah dikenal, tetapi didasarkan masalah harga maka dipilih Mg yang paling menguntungkan dan lebih murah.

Besi cor semacam itu dinamakan besi cor liat (Jepang dan Amerika Serikat), sedangkan di Inggris dinamakan besi cor nodular. Besi cor nodular mempunyai ketahanan yang baik dan mempunyai ketahanan korosi dan ketahanan panas yang baik pula, oleh karena itu dipakai untuk berbagai keperluan seperti bahan poros, bahan roda gigi, elemen mesin yang menerima beban kejutan dan tegangan dinamis.

2.1.2 Pengaruh Unsur Paduan Dalam Besi Cor Kelabu

Unsur-unsur paduan ditambahkan pada besi cor berfungsi untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik dan untuk memberikan sifat-sifat yang khusus seperti sifat tahan korosi, tahan panas dan kemagnetan. Sifat yang pertama umumnya diperoleh dengan menggunakan paduan yang rendah, sedangkan sifat kemagnetan menggunakan beberapa unsur yang khusus. Beberapa unsur paduan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Karbon (C)

Merupakan unsur yang sangat penting dalam besi. Karbon pada besi cor kelabu terikat sebagai grafit, dengan adanya grafit ini maka besi cor kelabu mudah dikerjakan tetapi mengurangi kekuatan.

2. Mangan (Mn)

Unsur Mangan yang terkandung di dalam besi cor kelabu akan mempersulit pemisahan grafit, sehingga akan memperbesar pembentukan cementit yang keras. Mangan akan membuat besi cor kelabu menjadi lebih keras dan memiliki kekuatan tarik yang tinggi.

3. Fosfor (P)

Kadar fosfor menghasilkan besi cor kelabu yang tipis, lunak tetapi sangat rapuh dan pada umumnya kadar fosfor kurang dari 1 % sehingga tidak terlalu berpengaruh sekali. Unsur P perlu ditambahkan agar mudah dikerjakan dengan mesin perkakas dan juga untuk mendapatkan ukuran tatal lebih kecil ketika dikerjakan dengan mesin otomatis.

4. Silisium (Si)

Terkandung dalam jumlah yang kecil di dalam semua besi dan dibubuhkan dalam jumlah yang lebih besar pada jenis-jenis istimewa, seperti contohnya pada besi cor kelabu. Jenis paduan ini memberikan perubahan sifat meningkatkan kekuatan, kekerasan dan kemampuan di perkakas secara keseluruhan, kekenyalan, ketahanan terhadap panas dan karat, menurunkan tegangan.

5. Titanium (Ti)

Titanium memiliki kekuatan yang sama seperti pada baja, sehingga apabila ditambahkan pada besi cor dapat meningkatkan kekuatan hasil coran pada temperatur tinggi, memperhalus butir kristal dan permukaan.

6. Magnesium (Mg)

Magnesium apabila dipadukan dengan besi cor dalam ikatan akan menghasilkan graphit yang berbentuk bola pada saat pembekuan sehingga menambah dan memperbesar kekuatan tarik.

7. Vanadium

Unsur ini mempunyai pengaruh yang hampir sama seperti Mo dalam besi, namun tanpa mengurangi regangan. Vanadium meningkatkan kekuatan, keuletan dan ketahanan panas.

8. Krom (Cr)

Krom berpengaruh untuk meningkatkan kekerasan, kekakuan, ketahanan aus, ketahanan terhadap panas, karat dan asam. Unsur ini juga menurunkan sedikit regangan.

2.2 Pengelasan

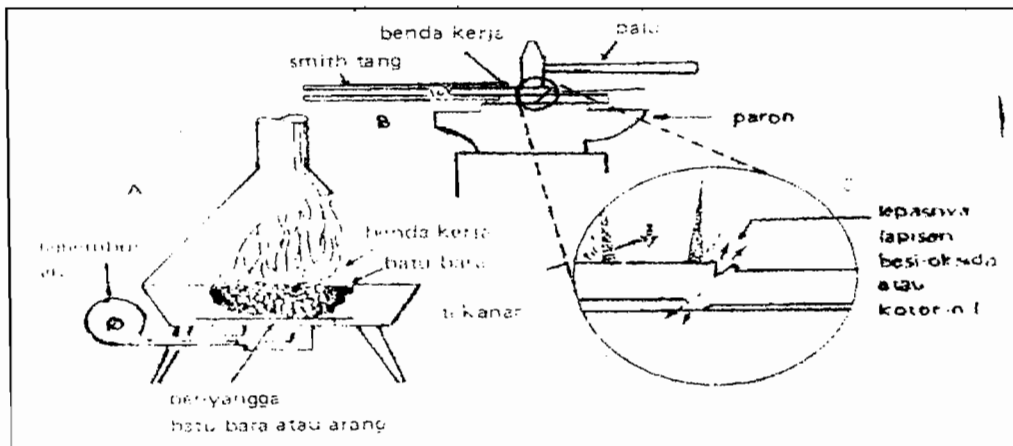
Pengelasan merupakan suatu bagian yang tidak dapat dipisahkan dari pertumbuhan dan perkembangan dunia industri karena las memegang peranan yang penting dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Dalam suatu proses pembangunan sebuah pabrik tidak mungkin terlepas dari unsur pengelasan. Sehingga peran las dalam proses produksi semakin hari semakin meningkat. Sebagai contoh, dalam proses produksi sarana transportasi, hampir semua orang

mau tidak mau pernah atau harus memakai sarana transportasi, las berperan sebagai proses penyambungan logam yang paling handal.

Awal mula penggunaan las untuk proses penyambungan logam berada jauh pada abad perunggu dan sulit diketahui kapan istilah "las" (*weld*) mulai dipakai. Pada tahun 3000 SM bangsa Mesopotamia telah menggunakan solder lunak, yaitu tanduk rusa disolderkan sebagai relief hiasan. Kemudian pada 2800 SM, solder perak dipakai dalam proses pembuatan vas bunga di Entena.

Para ahli sependapat bahwa pada 4000 tahun yang lalu bangsa Mesir sudah mengenal cara penyambungan logam dengan proses pemanasan dan penekanan. Salah satu buktinya, pada tahun 1922 ditemukan peti jenazah raja Tutankhaman di lembah kerajaan yang diperkirakan dibuat sekitar tahun 1360 SM dengan melibatkan proses pengelasan. Contoh yang lain adalah patung raksasa Rhodes setinggi 35 meter, yang termasuk salah satu dari tujuh keajaiban dunia, yang dibuat sekitar tahun 290 SM. Kerangka patung tersebut terbuat dari besi dengan konstruksi las. Sedangkan di Ukraina ditemukan sebuah pedang baja yang menerapkan proses las dan diperkirakan dibuat sekitar 1200 tahun yang lalu dan hingga kini dalam keadaan baik.

Era awal perkembangan peradaban teknologi las diawali dengan diketemukannya proses las tempa. Pada zaman *renaissance*, sudah terdapat tukang las tempa yang sangat terampil, seperti dikutip Vanancio Biringnecio dalam bukunya *Pyrotecnica* yang diterbitkan di Venice tahun 1540. Namun secara bertahap seiring dengan perkembangan teknologi dan peradaban, teknologi las terus berkembang dan bertambah maju.



Gambar 2.3 Skema Las Tempa
(Sumber: Teori & Praktek Las, Moch.Alip, hal 2)

Prinsip dasar daripada proses pengelasan terbagi menjadi dua bagian seperti di bawah ini yaitu:

a. Las penggabungan (Fusion welding)

Las penggabungan terbagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Las yang dibangkitkan dengan energi listrik. Jenis dan macam dari las dengan metode ini, diantaranya seperti: *electron beam*, *inert gas*, *submergarc*, *flux cored arc*, *shielded metal arc*, *carbon arc*, *electro gas*, *plasma arc*, *atomic hydrogen*, *laser beam* dan *stud weld*.
2. Las yang dibangkitkan dari energi kimia. Jenis dan macam dari las yang menggunakan metode ini, di antaranya seperti: *termite welding*, *oksiasetilin*.

b. Las bukan penggabungan (Non-fusion welding)

1. *Brazing*, jenis las dengan metode seperti: *torch*, *furnaces*, *induction*, *resistance*, dan *dip brazing*.
2. *Force welding*, jenis las dengan metode ini, terbagi lagi menurut sumber energi yang dipakai:

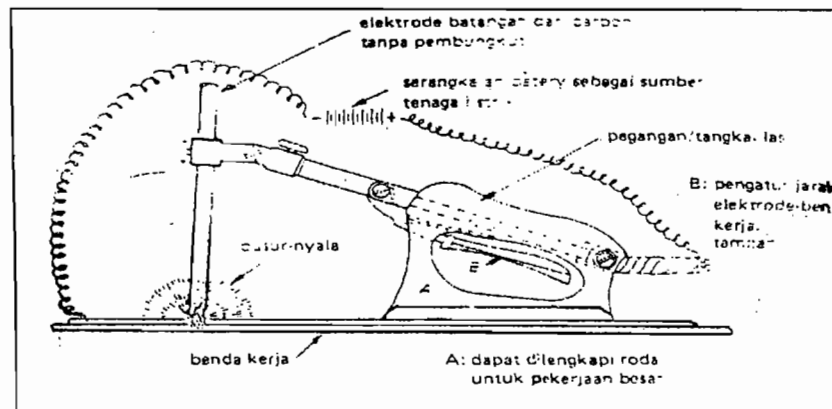
- a. Pembangkit energi kimia, seperti: *black smith, explosive, water gas*, dan *pressure gas welding*.
- b. Pembangkit energi mekanikal, seperti: *friction, ultrasonic, cold* dan *pressure welding*.
- c. Pembangkit energi listrik, seperti: *resistance, flash* dan *electro slag welding*.

Namun untuk membatasi permasalahan maka penulis akan membahas las oksiasetilin, las TIG dan las MIG, sesuai dengan pelaksanaan penelitian.

2.2.1 Las busur nyala listrik

Las busur nyala listrik ini, ditemukan sekitar awal abad 19, dengan memperkenalkan metode baru, yaitu las busur-nyala listrik (*Electric Arc Welding*) dengan elektroda karbon batangan tanpa pembungkus dengan menggunakan baterai sebagai sumber tenaga listrik. Disain peralatannya pun masih sederhana. Kelemahan utama proses las listrik—karbon adalah oksidasi yang sangat tinggi pada lasan (las mudah berkarat) sehingga las ini belum banyak dipakai.

Namun jenis las elektroda busur nyala api ini mampu bertahan cukup lama. Selama beberapa dekade las busur elektroda batangan mendominasi pasaran menggeser las oksiasetilin karena kemampuannya lebih besar dan prosesnya lebih cepat, terutama untuk benda-benda tebal. Keterbatasan las busur elektroda batangan adalah panjang elektroda relatif terbatas, sehingga setiap periode tertentu pengelasan harus berhenti mengganti elektroda.



Gambar 2.4 Peralatan las busur nyala listrik
(Sumber: Teori & Praktek Las, Moch.Alip, hal 4; *Copy of British patent, 1885*)

2.2.2 Prinsip Kerja

Pada dasarnya instalasi pengelasan busur logam terdiri dari bagian-bagian penting sebagai berikut:

1. Sumber daya, menggunakan arus bolak-balik (AC) atau arus searah (DC).
2. Kabel timbel las dan pemegang elektroda.
3. Kabel balik las (bukan timbel hubungan ke tanah) dan penjepit.
4. Hubungan ke tanah.

Dua tipe arus las yang digunakan: arus AC yang mengubah dari negatif menjadi positif pada frekuensi jaringan dan arus DC yang mengalir hanya dalam satu arah.

Sumber jaringan arus AC tidak sesuai dengan pengelasan karena voltase terlalu tinggi dan arus terlalu rendah. Transformator digunakan untuk mengubah ke nilai yang sesuai untuk pengelasan, yakni voltase rendah, kekuatan arus (*ampere*) tinggi, tapi masih merupakan arus bolak-balik.

2.2.3 Elektroda

Apabila ditinjau dari jenis logam yang dilas, kawat elektroda dibedakan menjadi lima elektroda yaitu elektroda untuk baja karbon rendah, elektroda untuk

baja karbon tinggi, elektroda untuk baja paduan, elektroda untuk besi tuang, elektroda untuk logam nonferro.

Berdasarkan fungsinya, elektroda berhubungan erat dengan pengelasan las listrik. Adanya loncatan busur nyala listrik diakibatkan adanya jarak yang disengaja dan dijaga ketepatan ukurannya antara elektroda tersebut dengan benda. Filter metal harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam induk, berarti tidak ada elektroda yang dapat dipakai untuk semua jenis pengelasan. Pemilihan ukuran diameter elektroda tergantung dari perencanaan, ukuran las, posisi pengelasan, input panas serta keahlian para operator las dalam proses pengelasan.

Elektroda perlu disimpan di tempat yang kering dan hangat (10° - 15° C), dengan kelembaban udara tidak melebihi angka 40. Kadang-kadang elektroda yang sudah sangat lama tersimpan mempunyai lapisan bulu berwarna putih yang disebabkan oleh kaca air pada elektroda. Las yang berkualitas jelek, apabila dipergunakan akan berakibat menyebabkan elektroda terkelupas, lembab atau rusak. Jika elektroda kering digetarkan di tangan akan menghasilkan bunyi logam yang kuat, sedangkan yang lembab mempunyai bunyi yang teredam. Fluks memegang peranan penting pada las elektroda, karena berfungsi untuk:

- a. membuat busur api stabil dan mudah dikontrol;
- b. melindungi logam cair terhadap udara di sekitarnya terutama oksigen dan nitrogen;
- c. menyediakan suatu terak pelindung yang membantu menurunkan kecepatan pendinginan logam las dengan demikian menurunkan kerapuhan akibat pendinginan.

Keterangan kode selengkapnya dapat dilihat dalam tabel keterangan kode elektroda (lampiran).

2.2.5 Sifat - sifat Penutup Elektroda

Sifat-sifat penutup pada elektroda dapat diterangkan menurut kode-kode huruf yang menyertainya. Keterangan berbagai kode huruf dapat diterangkan sebagai berikut (Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, 1985, hal 90).

Kode huruf A. Elektroda-elektroda tipe asam mempunyai penutup sedang atau tebal dan menghasilkan oksidasi besi/oksida mangan/terak silika, yang sifat metalurginya asam. Penutup terdiri dari oksida besi atau mangan, suatu persentase besi mangan yang agak tinggi dan atau pereduksi. Terak mengeras dalam struktur sarang madu yang khas dan mudah terlepas. Tipe elektroda ini biasanya mempunyai tingkat peleburan yang tinggi dan dapat digunakan dengan intensitas arus yang tinggi. Penetrasi akan baik khususnya, jika penutup tebal. Elektroda ini paling cocok untuk pengelasan dalam posisi mendatar akan tetapi dapat juga dipergunakan dalam posisi lain. Baik arus searah maupun bolak-balik dapat dipakai. Dengan elektroda tipe ini kemampuan las induk harus baik, karena jika tidak peretakan akibat pembekuan dapat terjadi. Kepekaan terhadap peretakan pembekuan terutama lebih ditandai dalam las horizontal vertikal atau las sudut tegak bila kadar karbon sebenarnya melampaui kira-kira 0,24 %, baja yang dipukul lebih peka daripada baja yang dirim, dan bila kadar sulfur melampaui 0,05 % pada baja yang dipukul dan 0,06% pada baja yang dirim.

Kode huruf AR. Elektroda tipe ini asam rutil biasa mempunyai suatu penutup yang tebal, yang menghasilkan suatu terak yang sangat menyerupai terak

yang diuraikan dalam tipe A. Biasanya terak ini agak bersifat sulfida. Sifat-sifat tipe AR umumnya sangat menyerupai tipe A dalam semua aspek, keadaan yang berbeda adalah penutup yang mengandung titanium oksida, jumlahnya tidak lebih dari 35%. Diantara kedua tipe A dan AR, beberapa campuran mungkin terjadi, akan tetapi bila jumlah oksida lebih besar daripada jumlah total besi dan atau oksida mangan, penutup dianggap tipe AR. Jika sebagai ganti campuran oksida besi dan oksida titanium, ilmenit yang dipergunakan, aturan yang sama dikenakan.

Kode huruf B. Elektroda tipe dasar yang biasanya mempunyai penutup yang tebal yang mengandung jumlah kalsium yang banyak atau karbonat dasar lainnya dan fluorspar, sehingga secara metalurgi merupakan sifat dasarnya. Terdapat terak sedang tebal, yang sering kali berwarna coklat sampai coklat tua dan mempunyai rupa yang megkilap. Mudah terlepas, dan karena dengan cepat ke permukaan las, termasuknya terak tidak mungkin terjadi. Tipe elektroda jenis ini menghasilkan suatu busur api untuk penetrasi rata-rata, dan secara umum cocok untuk pengelasan dalam segala posisi. Tipe ini sering dipergunakan untuk arus searah, elektroda positif, akan tetapi ada elektroda yang dapat digunakan pada arus bolak-balik.

Karena logam yang mengendap bersifat melawan terhadap pembekuan dan peretakan dingin, elektroda ini khususnya cocok untuk pengelasan bagian-bagian berat dan struktur baja karbon yang sangat kaku. Juga dianjurkan untuk pengelasan baja tarik sedang dan baja kadar karbon dan sulfurnya lebih tinggi daripada baja karbon yang berkualitas mampu las baik. Penutup elektroda dasar

haruslah sangat kering, karenanya elektroda ini perlu disimpan di dalam tempat yang sangat kering atau, jika elektroda ini sudah menghisap air, dikeringkan sebelum dipergunakan, sesuai dengan rekomendasi pabrik. Ini menjamin logam yang mengendap akan memiliki kadar hidrogen yang rendah, dan berkurangnya resiko keretakan lapisan bawah pada waktu pengelasan baja mungkin memperlihatkan suatu pengerasan yang nyata di daerah yang dipengaruhi panas.

Kode huruf C. Elektroda dari tipe ini selulosa yang mempunyai suatu penutup yang mengandung sejumlah besar bahan-bahan organik yang mampu bakar, sehingga endapan yang terakhir pada busur api menghasilkan perisai gas yang tebal. Jumlah terak yang diproduksi kecil dan terak mudah terlepas. Tipe elektroda ini ditandai dengan busur berpenetrasi tinggi dan kadar peleburan yang agak tinggi. Kehilangan percikan agak besar dan permukaan las agak kasar, dengan kerutan yang jaraknya tidak sama. Elektroda ini biasanya cocok untuk pengelasan segala posisi.

Kode huruf O. Elektroda dari tipe oksidasi yang mempunyai suatu penutup yang tebal terutama terdiri dari oksida besi dengan atau tanpa oksida mangan. Penutup menimbulkan suatu terak oksidasi sehingga logam yang mengendap mengandung hanya sejumlah kecil karbon dan mangan. Terak berat, padat dan sering terlepas sendiri. Tipe elektroda ini menghasilkan penetrasi yang tidak baik dan genangan fluida cair, dan terutama cocok apabila dibutuhkan suatu las yang kecil. Biasanya kegunaan terbatas pada pengelasan posisi las sudut horisontal vertikal dan posisi las sudut. Elektroda ini dipergunakan terutama untuk

pengelasan baja bila rupa las lebih penting daripada kekuatan mekanik sambungan.

Kode huruf R dan RR. Elektroda tipe rutil yang mempunyai suatu penutup yang terdiri dari sejumlah besar rutil atau komponen-komponen yang diterima dari oksida titanium. Biasanya jumlah ini sampai 50 % per kelompok (dengan tidak memperhitungkan bahan selulosa). Tipe R dapat dibedakan dari tipe AR melalui teraknya yang lebih berat. Kadang-kadang perbedaan ini tidak dapat dengan mudah dikenali, terutama elektroda yang mempunyai penutup sedang, akan tetapi jumlah rutil pada penutup yang baik adalah di atas 45 %. Karena perbedaan aplikasi dan juga sifat-sifat mekanik, sub bagian dibuat sesuai dengan ketebalan penutup, sebagai berikut:

1. R penutup dengan ketebalan sedang. Sejumlah kecil bahan selulosa, sampai dengan maksimum sebesar 15% mungkin ada pada penutup. Elektroda ini khususnya cocok untuk pengelasan posisi vertikal dan di atas kepala.
2. RR penutup dengan ketebalan berat. Sejumlah kecil bahan selulosa, sampai dengan maksimum sebesar 5%, kadang-kadang ada pada penutup. Terak berat, padat dan biasanya terlepas sendiri. Rupa las mirip dengan elektroda tipe O

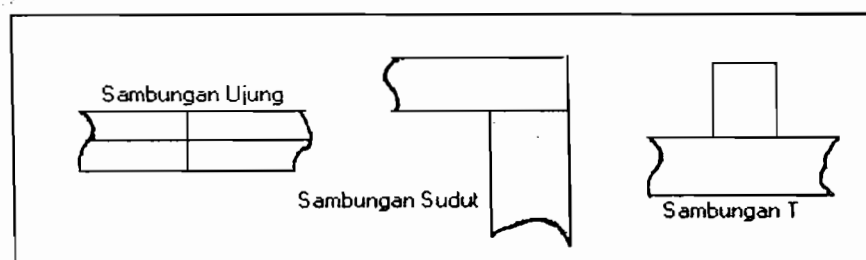
2.3 Disain Sambungan

Berbagai macam bentuk kampuh atau cara penyambungan las sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dalam pengelasan. Metode penyambungan tersebut telah distandarisasikan dan dibuat oleh berbagai kelompok professional,

antara lain *American Welding Society (AWS)*, *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*, dan *American Petroleum Institute (API)*. Ketiga lembaga tersebut merupakan kelompok profesional di Amerika yang bersifat non-pemerintah, yang ketetapannya dipatuhi bersama oleh produsen dan konsumen. Sedangkan di Jepang ada kelompok profesional yang disebut *Japan Industri Standart (JIS)*, dan di Indonesia ada *Standart Industri Indonesia (SII)*. Namun dalam bahasan ini, hanya akan diurai mengenai disain dan simbol menurut standar AWS.

2.3.1 Disain

Geometris sambungan lebih banyak ditentukan oleh hubungan antar bagian struktur benda kerja yang akan disambung. Geometris lasan ditentukan oleh geometris sambungan, ketebalan bagian yang disambung, efisiensi pengelasan dan kekuatan yang diharapkan. Konfigurasi bentuk sambungan dibedakan menjadi lima yaitu: sambungan ujung (bult), sambungan T, sambungan sudut, sambungan tumpang dan sambungan tepi, seperti tampak pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Berbagai bentuk sambungan
(Sumber: Teori dan Praktek Las, Moch Alip, hal 142)

Sambungan ujung dipakai bila:

1. kerataan permukaan kedua bagian yang disambung merupakan persyaratan atau dikehendaki, misal sambungan gelagar, rangka lantai dan sebagainya;

2. penembusan bisa sempurna sehingga kekuatan bisa disamakan dengan benda asli; dan
3. kekuatan mekanis yang diminta tidak terlalu besar atau sudah memenuhi syarat.

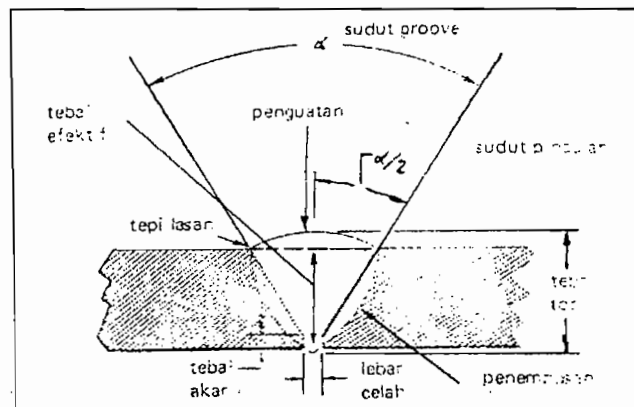
Sambungan T dan sambungan sudut sudah cukup jelas, dibuat untuk menyambung dua bagian benda yang berpotongan di tengah atau di ujungnya. Kedua bagian benda relatif tebal sehingga diperhitungkan mampu menumpu beban mekanis yang ada. Sambungan tumpang dipakai untuk menyambung dua bagian benda dengan karakteristik:

1. kedua bagian relatif tipis untuk dibuat sambungan ujung;
2. bila dibuat sambungan ujung, diperhitungkan lasan tidak mampu menahan beban mekanis yang ada; dan
3. kerataan permukaan sambungan tidak dipersoalkan.

Sambungan tepi dibuat sebagai bentuk lain dari sambungan ujung, T atau sambungan sudut. Langkah ini diambil apabila salah satu atau kedua bagian benda kerja terlalu tipis, sehingga diperhitungkan kurang kuat bila dilas dengan salah satu dari tiga bentuk sambungan tersebut. Tepi plat ditekuk sebelum dilas. Tekukan tersebut menambah ketegaran sambungan di samping menahan atau menghindari timbulnya defleksi yang sering timbul pada lasan plat tipis.

Konfigurasi lasan dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu *grove* dan *fillet*, yang dapat dilihat dalam Gambar 2.6 berikut ini.





Gambar 2.6 Lasan groove
(Sumber: Teori dan Praktek Las, Moch Alip, hal 144)

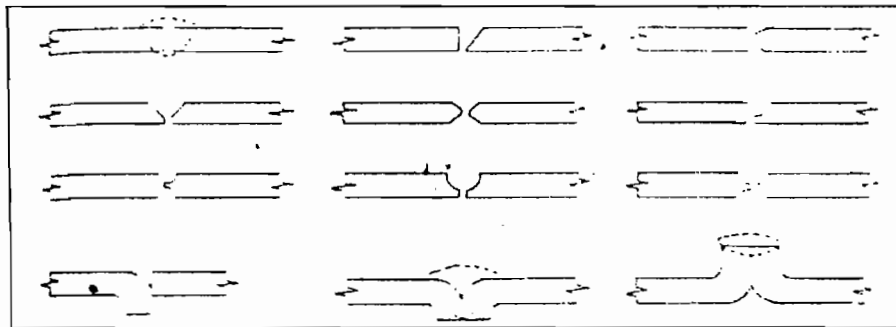
Lasan *grove* dapat dijumpai pada sambungan ujung dan tepi. Lasan *fillet* dipakai pada sambungan T, tumpang dan tepi. Untuk memenuhi kekuatan mekanis lasan, lasan *grove* sering dikombinasikan dengan *fillet*. Lasan kombinasi dapat dipakai bersama pada sambungan tepi. Ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam pengelasan. Untuk lasan *grove* meliputi tebal efektif, penguatan, tebal total, tebal akar, lebar celah, sudut pinggul (sudut *grove*), penembusan dan tepinya. Komponen-komponen lasan *fillet* yang perlu diperhatikan meliputi tebal riil terhadap tebal teoritis, penembusan, akar, kaki (tegak dan datar), penguatan dan permukaan lasan.

Untuk meningkatkan tercapainya penembusan, sebagai salah satu faktor utama kekuatan lasan, pada berbagai tebal benda kerja, maka dikembangkan berbagai bentuk *grove*. *Grove* dapat dibedakan menjadi beberapa bentuk, yaitu:

1. Bentuk I
2. Setengah I (bentuk T)
3. Bentuk V
4. V ganda (bentuk X)

5. Setengah V
6. Setengah V ganda (bentuk K)
7. Bentuk U
8. U ganda
9. Bentuk J (setengah U)
10. J ganda

Kombinasi berbagai bentuk lasan pada berbagai bentuk sambungan untuk berbagai tebal bahan dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7 Macam dan jenis kampuh penyambungan ujung
(Sumber: Teori dan Praktek Las, Moch Alip, hal 147)

Proses menentukan bentuk lasan berdasarkan tebal benda kerja, bukanlah pekerjaan mudah. Untuk memudahkan hal tersebut dibutuhkan standarisasi dari metode pengelasan yang tepat, seperti yang tercantum pada tabel hubungan antara bentuk sambungan, lasan dan tebal bahan serta dimensi lasan (lampiran).

2.4 Mesin Las

Mesin las digunakan untuk membagi tegangan agar mendapatkan nyala busur yang baik dan kontinyu, sehingga panas yang dihasilkan untuk proses mencairkan atau melumerkan logam-logam yang dilas atau disambung tidak terputus-putus. Dengan adanya sumber energi yang baik dan menghasilkan

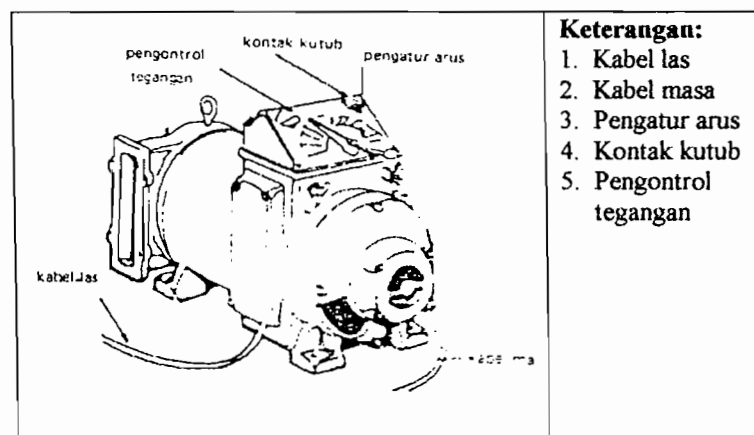
tegangan yang stabil, maka akan dihasilkan hasil lasan yang bermutu tinggi dan berkualitas.

Mesin-mesin las memperoleh sumber energi atau dinamo las yang dihasilkan dari beberapa sumber yaitu:

1. motor listrik, motor bensin atau motor diesel melalui generator;
2. aliran listrik dari gardu jaringan (jaringan kabel), di mana arus listrik dari gardu listrik masih mempunyai tegangan listrik yang tinggi dan dapat digunakan sebagai arus las, sehingga arus listrik ini diubah dahulu menjadi arus las searah melalui transformator.

2.4.1 Mesin Las Arus Searah (DC)

Pesawat las arus searah (DC) dapat berupa pesawat *transformator rectifier*, pembangkit listrik motor diesel atau motor bensin maupun pesawat pembangkit listrik yang digerakkan oleh motor listrik. Salah satu jenis dari pesawat las ini adalah yang digerakkan oleh motor listrik. Skema mesin las arus searah (DC) dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Mesin Las Arus Searah (DC)

Dalam penelitian ini penulis menggunakan dua macam mesin las arus searah, yaitu: Las TIG (*Tungsten Inert Gas*) dan Las MIG (*Metal Inert Gas*)

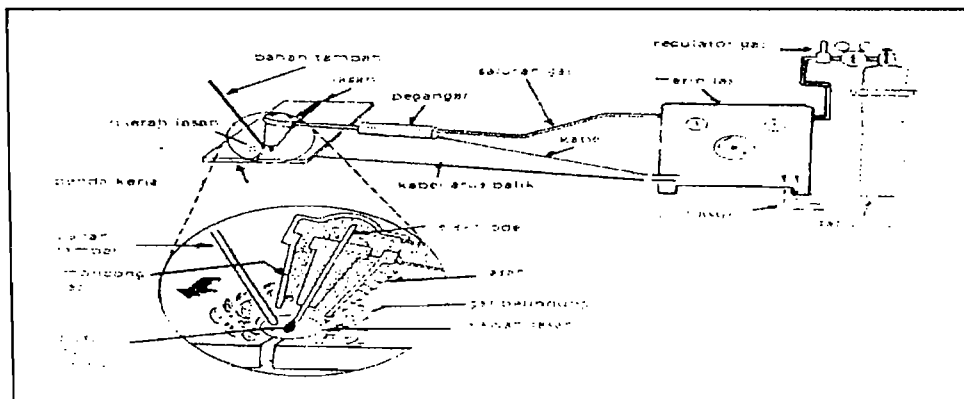
2.4.1.1 Las TIG

TIG atau *Tungsten Inert Gas* merupakan pengelasan dengan busur menyala di antara *tungsten/wolfram elektroda* (yang tidak mencair) dengan benda kerja. Sebagai gas pelindung dipakai gas mulia (*inert*) yaitu gas yang tidak bereaksi kimia dengan sekitarnya, misalnya: argon dan helium. Pada panas yang tinggi dapat dihindarkan terjadinya proses oksidasi antara elektroda, benda kerja dengan udara sekitarnya. Fungsi gas pelindung sama dengan mantel pada las busur elektroda, yaitu menjauhkan pengaruh buruk udara luar terhadap kampuh las. Dalam busur listrik akan dibangkitkan temperatur yang sangat tinggi dan melampaui titik cair logam. Kemudian busur akan mencairkan sisi kampuh dan menyatu satu dengan yang lain, yang akhirnya membeku tanpa halangan menjadi kampuh las. Elektroda yang dipakai pada las ini adalah *tungsten*. Tungsten tidak mencair oleh panasnya busur nyala listrik sehingga tidak terumpan ke dalam lasan. Gas inti disemburkan ke daerah lasan sehingga lasan terbebas dari oksidasi.

Daerah pemakaian las TIG dapat menjangkau proses pengelasan yang sangat luas, sehingga mempunyai kemampuan yang tinggi untuk menyatukan kampuh, dapat mengelas pada logam dengan kepadatan yang tinggi, dan daya busurnya tidak tergantung pada bahan tambahan yang diperlukan. Pada akhirnya las TIG dapat dipakai secara universal, yaitu dapat mengelas paduan logam. Secara ekonomis las TIG dipakai pada ketebalan plat 0,5 sampai dengan 4,0 mm.

Logam pengisi pada las TIG dimasukkan ke dalam daerah arus busur sehingga mencair dan terbawa ke logam induk. Tetapi untuk mengelas plat yang sangat tipis kadang-kadang tidak diperlukan logam pengisi. Las TIG dapat

dilakukan dengan tangan atau secara otomatis dengan mengoptimalkan cara pengumpanan logam pengisi. Penggunaan las TIG mempunyai 2 keuntungan yaitu: (1) kualitas yang lebih baik dari daerah las; dan (2) kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik, sehingga penetrasi ke dalam logam induk dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 2.9 Skema Las Tungsten (TIG)
(Sumber: Teori dan Praktek Las, Moch.Alip, hal 14)

2.4.1.2 Las MIG

Keberhasilan pemakaian gas inti pada las TIG dicobakan pula pada las elektroda gulungan. Proses ini sering disebut dengan las MIG (*Metal Inert Gas*). Karena gas argon cukup mahal maka diupayakan menggunakan gas lain, misalnya campuran argon dan oksigen atau gas monooksida (CO) yang cukup aktif, ternyata berhasil.

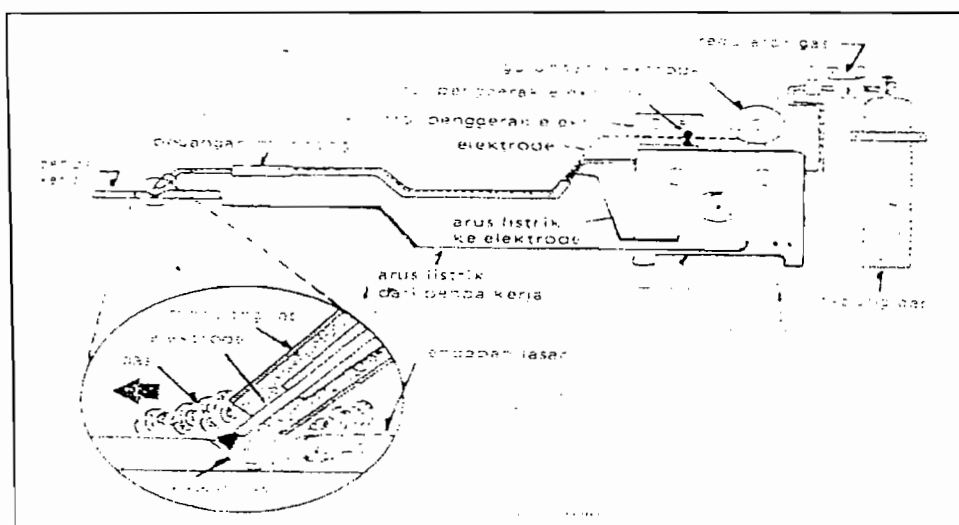
Proses pengelasan memakai gas aktif sebagai pelindung lasan sering disebut pula *Metal Active Gas* (MAG). Selain itu dapat dipakai gas pelindung dari campuran argon dengan karbonmonooksida dengan kadar tidak lebih dari 20 %. Hasilnya relatif baik, bahkan lebih baik dari pelindung kristal maupun pembungkus elektroda, karena tidak meninggalkan terak. Tidak adanya terak memudahkan kontrol terhadap kawah lasan dan mengurangi waktu maupun

tenaga untuk menghilangkan terak. Perlu diketahui, karena gas pelindung lebih mahal, maka cara ini hanya dipakai untuk keperluan pengelasan khusus.

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

1. efisiensinya sangat baik karena dapat menggunakan arus yang tinggi maka kecepatannya juga sangat tinggi;
2. memudahkan operasi pengelasan karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat mantap;
3. ketangguhan dan elastisitas, kedekatan udara, ketidakpekaan terhadap retak.

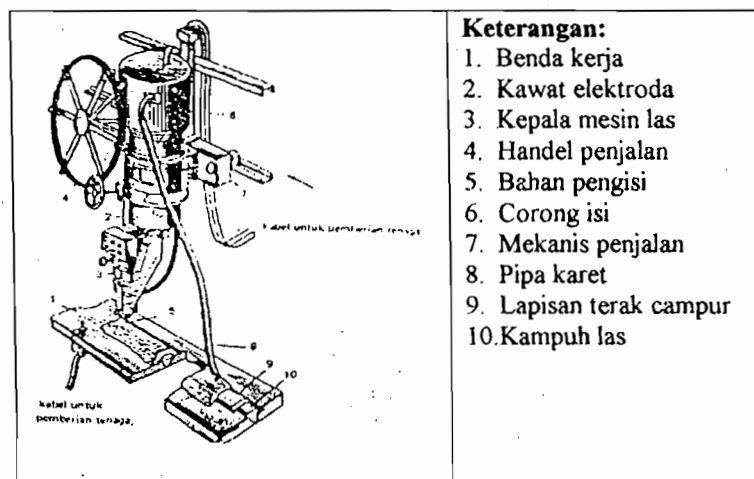
Las MIG biasanya menggunakan listrik arus searah dengan tegangan tetap sebagai sumber tenaga. Dalam las MIG keadaan busur selalu runcing, yang menyebabkan butir-butir logam cair menjadi halus dan pemindahannya berlangsung dengan cepat seakan-akan seperti disemburkan. Skema las busur MIG dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.10 Skema Las Busur-Gas (MIG / MAG)
(Sumber: Teori dan Praktek Las, Moch. Alip, hal 15)

2.4.2 Mesin Las Otomatis

Mesin las otomatis memberikan busur nyala dari pengisian kampuh las sewaktu mengelas dilakukan dengan pengaturan mekanik-mekanik khusus yang terdapat pada unit mesin las tersebut. Mesin las otomatis ini dapat menyelesaikan pengelasan secara produksi (massal), serta dapat mengelas benda kerja dan mesin-mesin berat yang berguna dalam dunia industri. Skema mesin las otomatis dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut ini.

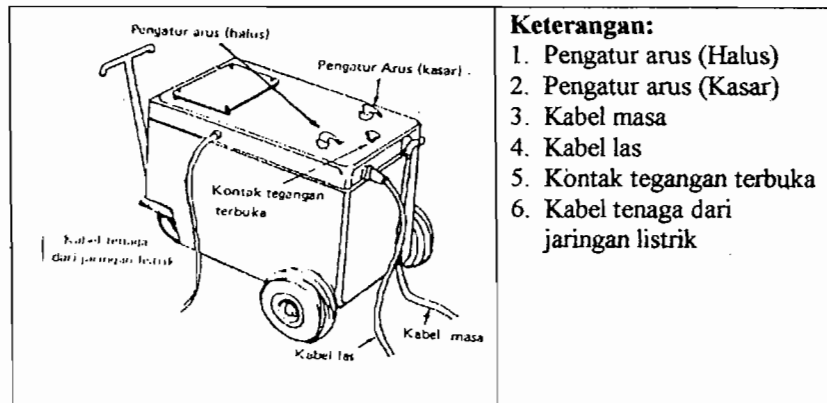


Gambar 2.11 Mesin Las Otomatis

2.4.3 Mesin Las Arus Bolak-balik (AC)

Mesin las arus AC memperoleh nyala busur dari transformator. Dalam pesawat ini arus dari jaring-jaring listrik diubah menjadi arus bolak-balik oleh transformator yang sesuai dengan arus yang digunakan untuk mengelas, sehingga mesin las ini disebut juga mesin las transformator. Transformator las mempunyai dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer dililit oleh kawat tembaga yang berukuran kecil dengan jumlah yang banyak, sedangkan kumparan sekunder dililit oleh kawat tembaga yang berukuran lebih besar dengan jumlah yang lebih sedikit. Dalam transformator terdapat

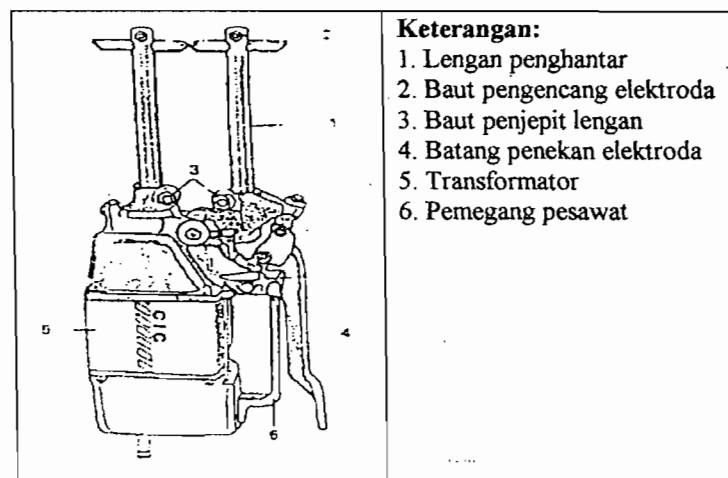
sebuah inti besi (*regulator*), yang dapat digerakkan untuk mengatur besarnya arus listrik dalam pengelasan.



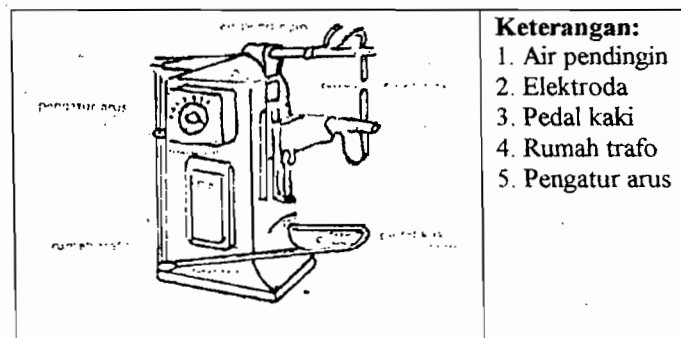
Gambar 2.12 Mesin Las Arus Bolak-balik (AC)

2.4.4 Mesin Las Titik

Pesawat las titik hanya dipergunakan untuk mengelas sambungan pada plat tipis. Benda kerja yang akan dilas dijepit di antara kedua elektroda yang bentuknya runcing. Elektroda ini dihubungkan dengan sumber arus. Biasanya sebuah transformator dapat memberikan arus yang besar dengan tegangan yang sangat rendah. Untuk benda-benda yang kecil dipakai las titik yang tetap, sedangkan untuk benda kerja yang besar dipakai las titik yang dapat dipindahkan.



Gambar 2.13 Mesin Las Titik yang dapat dipindah

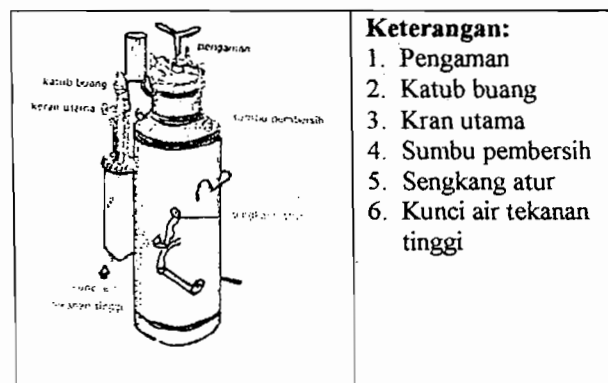
**Keterangan:**

1. Air pendingin
2. Elektroda
3. Pedal kaki
4. Rumah trafo
5. Pengatur arus

Gambar 2.14 Mesin Las Titik Tetap

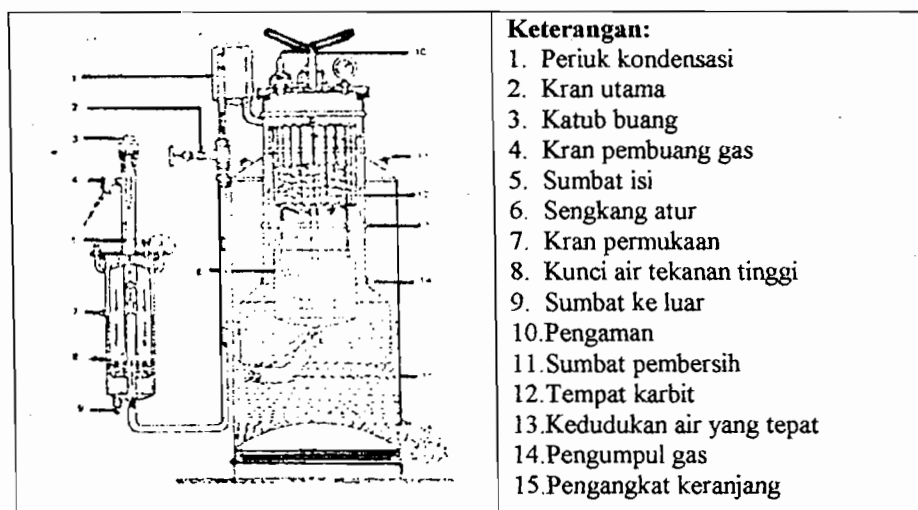
2.4.5 Pesawat Las Karbit

Pesawat ini dipakai untuk membangkitkan gas karbit dalam pengelasan las karbit atau gas otonen maupun gas asetilin. Tabung gas dan skema pesawat las karbit dapat dilihat pada Gambar 2.15 dan Gambar 2.16.

**Keterangan:**

1. Pengaman
2. Katub buang
3. Kran utama
4. Sumbu pembersih
5. Sengkang atur
6. Kunci air tekanan tinggi

Gambar 2.15 Tabung Gas

**Keterangan:**

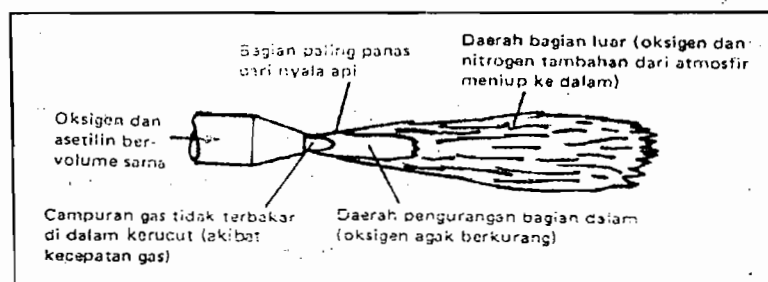
1. Periuk kondensasi
2. Kran utama
3. Katub buang
4. Kran pembuang gas
5. Sumbat isi
6. Sengkang atur
7. Kran permukaan
8. Kunci air tekanan tinggi
9. Sumbat ke luar
10. Pengaman
11. Sumbat pembersih
12. Tempat karbit
13. Kedudukan air yang tepat
14. Pengumpul gas
15. Pengangkat keranjang

Gambar 2.16 Mesin Las Karbit

2.4.5.1 Las Oksi-asetilin

Proses terlahirnya las oksi-asetilin melalui beberapa tahap yaitu pembuatan kalsium karbida sebagai bahan baku gas asetilin, produksi oksigen cair sebagai zat pembakar dan terungkapnya reaksi oksi-asetilin. Penemuan tersebut menjadikan kenyataan setelah diciptakannya brander pembakar yang operasional sehingga mendorong terwujudnya las oksi-asetilin.

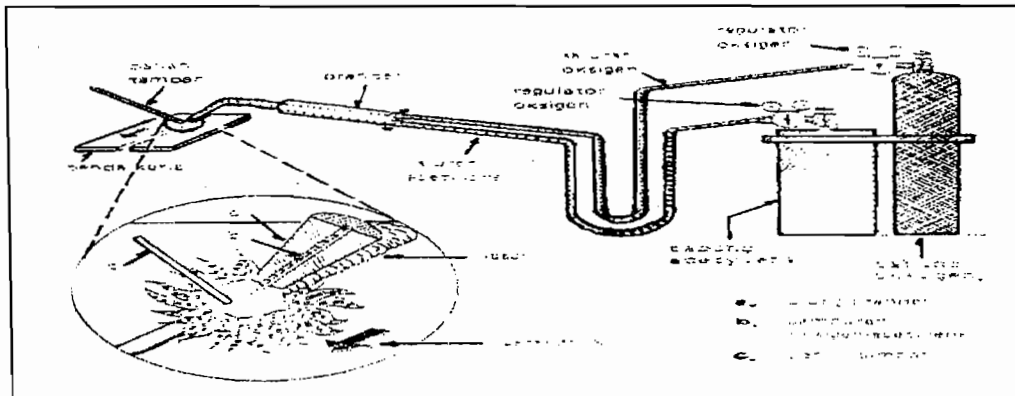
Asetilin terdiri atas hidrogen dan karbon, seperti sebagian besar gas-gas bahan bakar. Pada jenis karbon memberikan panas yang kuat dan temperatur api yang cukup tinggi (3100°C), jika dibakar dengan oksigen. Kalau tidak ada oksigen yang cukup, karbon akan dilepaskan ke udara sebagai bintik-bintik jelaga yang berwarna hitam. Asetilin memiliki perbandingan karbon yang sangat tinggi. Jika oksigen dikecilkan untuk memberikan suatu api dengan karbon yang berlebihan, maka karbon tersebut dimasukkan ke dalam lasan untuk memberikan suatu permukaan karbon yang halus. Api yang dipergunakan untuk proses pengelasan pada permukaan-permukaan yang keras ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Nyala api Oksiasetilin
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D. Ginting, hal 55)

Las oksi-asetilin adalah proses pengelasan yang menggunakan campuran oksigen dan bahan bakar gas untuk membuat api sebagai sumber panas untuk mencairkan benda kerja. Oksigen dan gas dicampur dalam suatu alat dengan

komposisi tertentu, sehingga api yang dihasilkan bisa mencapai maksimum. Skema las oksasi-asetilin dan perlengkapan peralatannya dapat dilihat pada Gambar 2.18 di bawah ini.



Gambar 2.18 Skema Las Oksasi-asetilin
(Sumber: Teori dan Praktek Las, Moch. Alip, hal 269)

Keuntungan las oksasi-asetilin ini adalah sebagai berikut:

- a. dapat mengontrol panas yang masuk ke benda kerja sehingga dapat terkontrol keenceran cairan logam;
- b. dapat mengontrol besar kawah yang terbentuk dan volume endapan lasan karena bahan tambahan terpisah dengan sumber panas;
- c. las oksasi-asetilin cocok untuk mengelas benda kerja tipis dan pekerjaan yang bersifat perbaikan (reparasi);
- d. ditinjau dari segi biaya awal dan operasional jauh lebih murah;
- e. peralatan yang relatif kecil dan portable sehingga memungkinkan untuk dibawa ke mana-mana dan tidak tergantung keberadaan sumber energi lain.

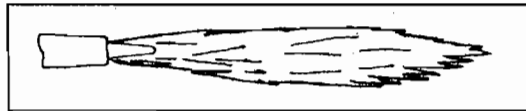
Keterbatasan las oksasi-asetilin adalah tidak ekonomis untuk benda kerja tebal dan besar, serta kurang sesuai untuk bahan benda kerja yang reaktif terhadap gas bahan bakar maupun yang dihasilkan dari proses pembakaran.

2.4.5.2 Penggunaan Api pada Las Asetilin

Dalam pengelasan las asetilin ada tiga jenis api dan penggunaannya sebagai berikut:

1. Api netral

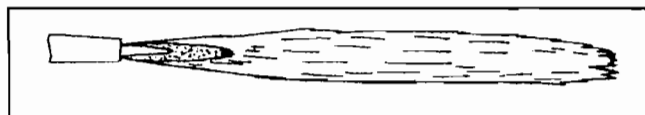
Api netral ini membakar dengan jumlah oksigen dan asetilin yang sama. Api netral biasanya dipergunakan dalam pengelasan baja, besi tuang, baja tahan karat, tembaga, dan alumunium. Gambar api netral adalah sebagai berikut:



Gambar 2.19 Nyala api Netral
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, hal 56)

2. Api Karburasi

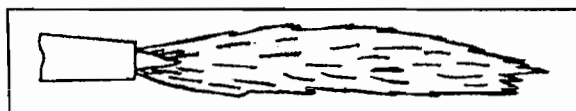
Api karburasi mempunyai kadar asetilin yang berlebihan sehingga mengakibatkan suatu daerah kaya dengan karbon yang memencar ke sekeliling dan di luar kerucut. Penggunaan api karburasi biasanya digunakan untuk permukaan yang keras serta batang-batang dengan permukaan yang keras, api ini sangat jarang dipergunakan untuk logam yang tidak mengandung besi di mana jumlah oksigen yang terkecil tidak diinginkan.



Gambar 2.20 Nyala api Karburasi
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, hal 56)

3. Api Oksidasi

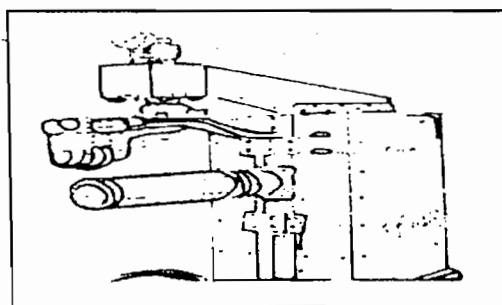
Api oksidasi mempunyai ciri oksigen yang berlebihan sehingga daerah yang kaya dengan oksigen tepat di luar kerucut. Api ini diperoleh dengan penyetulan secara netral dan kemudian memperkecil gas bahan bakar. Penggunaan api ini tidak dikehendaki bilamana oksidasi sangat kuat, kecuali untuk pengelasan kuningan. Sedangkan oksidasi yang kecil digunakan kalau mematri lembaran yang berlapis seng.



Gambar 2.21 Nyala api Oksidasi
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, hal 56)

2.4.6 Pesawat Las Roda

Prinsip kerja dari pesawat las roda sama dengan pesawat las titik, hanya perbedaannya terletak pada ujung elektroda yang berbentuk roda dapat berputar. Hasil proses pengelasan pada benda kerja terletak pada kampuh. Penyambungan pengelasan dilakukan dengan cara memanjang.



Gambar 2.22 Mesin Las Roda

2.5 Pengujian Besi Cor Kelabu

Sifat-sifat mekanik suatu logam dapat ditentukan dengan melakukan proses pengujian terhadap benda uji. Pada dasarnya pengujian material teknik dibedakan

menjadi dua kelompok besar, yaitu: (1) pengujian pengrusakan; (2) pengujian bukan pengrusakan. Pengujian mekanik logam dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut:

1. *static*, bila benda uji dikenai beban konstan atau beban ditambah secara perlahan;
2. *dynamic*, bila beban bertambah sesaat, misalnya dalam pengujian impact;
3. berulang, bila beban secara berulang berubah arah dan besarnya.

2.5.1 Pengujian Bersifat Merusak Benda Uji

2.5.1.1 Pengujian Tarik

Kekuatan tarik suatu benda uji dapat ditentukan dengan menarik sebuah benda sampai putus. Data yang diperoleh pada pengujian tarik dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran benda uji tersebut. Untuk memperoleh perbandingan nilai diperlukan pembuatan ketentuan-ketentuan mengenai ukuran-ukuran dan bentuk dari benda uji, yaitu batang uji tarik. Ketentuan-ketentuan tersebut kemudian ditetapkan dalam norma-norma. Norma-norma ini mengulas bagaimana bentuk suatu batang uji tarik untuk berbagai bahan beserta data-data sebelum dan sesudah pengujian.

Batang uji tarik yang dipakai merupakan sebuah batang yang bundar atau plat, dengan ujung-ujung tebal untuk pemasangan pada mesin uji tarik. Benda uji dijepit pada mesin dengan pembebanan secara perlahan, dan terus meningkat sampai suatu beban tertentu sehingga akhirnya benda uji tersebut patah. Beban tarik yang bekerja pada benda uji menimbulkan pertambahan panjang disertai

pegecilan diameter atau lebar pada tengah benda uji. Perbandingan antara pertambahan panjang (ΔL) dengan panjang benda uji (L) disebut regangan (ε).

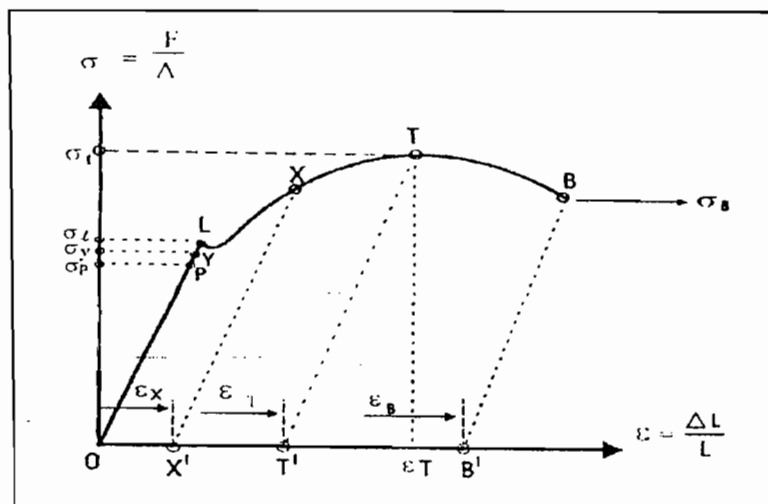
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

Perbandingan antara perubahan penampang setelah pengujian dan penampang awal (sebelum pengujian) disebut kontraksi (Ψ) atau pelentikan.

$$\Psi = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \quad \text{atau} \quad Z = \frac{A_0 - A_U}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

dengan : A_0 : luas penampang awal benda uji

A_f/A_U : luas penampang akhir benda uji



Gambar 2.23 Diagram hubungan σ dan ε uji tarik benda liat (Sumber: Bahan Teknik Manufaktur, Setyahandana. B, hal 47)

Hubungan antara tegangan yang timbul σ ($\sigma=F/A$) dan regangan yang timbul (ε) selama pengujian digambarkan seperti gambar 2.23.

Dengan :

σ_p : tegangan proporsional	σ_l : tegangan luluh
σ_t : tegangan tarik	σ_B : tegangan patah
σ_y : yielding stress (tegangan elastis)	
$\epsilon_x, \sigma_t, \sigma_B$: masing-masing merupakan regangan pada saat pembebanan berada pada titik-titik X, T, B (XX', //TT', //BB', PO').	

Tegangan pada titik P disebut tegangan batas proporsional (σ_p) yaitu tegangan tertinggi di mana hukum Hooke berlaku/dipenuhi.

Hukum Hooke:
$$\Delta L = \frac{1}{E} \frac{F.L}{A} = \frac{F.L}{E.A} \quad (3)$$

dengan mengambil $\sigma = \frac{F}{A}$ dan $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$, maka hukum Hooke di atas dapat

dinyatakan dalam bentuk $\sigma = \epsilon E$

Apabila beban tarik diperbesar sampai titik Y (ada pertambahan panjang ΔL), kemudian beban diturunkan sampai titik O (beban ditiadakan), maka benda uji akan kembali ke panjang semula (L). Tetapi bila pembebanan berada di atas titik Y (dengan pertambahan panjang tertentu), kemudian diturunkan sampai titik O (beban ditiadakan), maka benda uji tidak akan kembali ke panjang semula. Dalam hal ini benda uji telah mempunyai regangan plastis. Dalam kondisi ini dapat disimpulkan bahwa titik Y merupakan titik batas elastis benda uji dan tegangan pada titik Y disebut tegangan elastis bahan (σ_y).

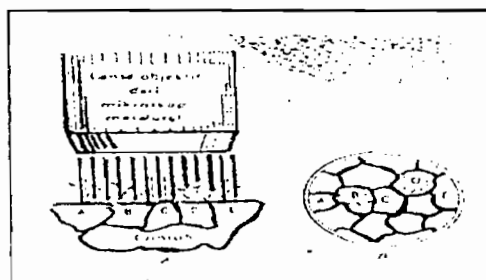
Tegangan maksimum σ_t disebut juga tegangan tarik (*tensile strength* = *ultimate stress*) merupakan tegangan tertinggi yang dimiliki benda uji sebagai reaksi terhadap beban yang diberikan. Tegangan tarik adalah nilai yang paling

sering dituliskan sebagai hasil uji tarik, tetapi pada kenyataannya nilai tersebut kurang bersifat mendasar dalam kaitannya dengan kekuatan bahan. Untuk logam-logam yang liat kekuatan tariknya harus dikaitkan dengan beban maksimum, di mana logam dapat menahan beban sesumbu untuk keadaan yang sangat terbatas. Setelah mencapai titik T, tegangan turun dan akhirnya benda uji putus pada saat tegangan σ_B . Selama pembebanan berlangsung dari titik O sampai titik T, diameter atau lebar benda uji mengecil secara seragam (terjadi pertambahan panjang). Selama pembebanan berlangsung dari titik T sampai titik B, diameter atau lebar benda uji berubah tidak seragam, melainkan terjadi pengecilan setempat lebih cepat dibandingkan dengan tempat-tempat lainnya. Pengecilan diameter setempat disebut “necking” dan pada akhirnya benda uji putus pada daerah *necking* tersebut.

2.5.2 Pengujian Bersifat Tidak Merusak Benda Uji

2.5.2.1 Pengujian Struktur Mikro

Sifat-sifat suatu logam dan paduannya dapat dipelajari dari struktur mikronya. Struktur mikro dapat dilihat dengan bantuan mikroskop. Untuk itu logam perlu dietsa dengan cara memoles logam sampai terbentuk permukaan yang halus seperti cermin. Kemudian permukaan yang halus tersebut diberi zat kimia tertentu untuk beberapa detik. Atom-atom pada daerah transisi di antara butiran akan lebih mudah larut dibandingkan atom-atom lainnya, dan akan meninggalkan gambar, seperti di bawah ini.



Gambar 2.24 Uji Struktur Mikro
(Sumber: Panduan Praktikum Proses Produksi II, hal 11)

Keterangan:

- A-- contoh yang sedang diuji sedang diperiksa dengan mikroskop
- B-- penampilan contoh melalui mikroskop.

Batas butir yang diuji tidak lagi merupakan permukaan yang halus sebagai bagian lainnya dari butiran, tetapi menjadi pori-pori struktur besi cor kelabu tersebut akan terbuka.

2.6 Retak Las

Salah satu pengaruh proses pengelasan adalah kegagalan hasil lasan dengan adanya cacat las yang berupa retak las-lasan. Oleh sebab itu diperlukan perencanaan parameter las dan prosedur pengelasan secara benar, yang akan menentukan keberhasilan hasil suatu proses pengelasan.

2.6.1 Retak Dingin di Daerah Pengaruh Panas

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

1. tegangan,
2. hidrogen difusi di daerah las,
3. struktur dari daerah pengaruh panas.

Struktur di daerah pengaruh lasan (HAZ) ditentukan oleh komposisi kimia dari logam induk dan kecepatan pendinginannya. Retak dingin di daerah HAZ ini dalam proses pengelasan logam biasanya terjadi pada daerah martensit. Karena itu pemilihan bahan dengan kadar unsur paduan 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 tebalnya plat yang sangat berpengaruh pada kekuatan lasan. Oleh sebab itu rancangan las, proses pengelasan, elektroda yang digunakan, akan menentukan kualitas lasan itu sendiri agar terbebas dari tegangan sisa yang bisa menyebabkan terjadinya keretakan.

2.6.2 Retak Panas

Retak panas biasanya terjadi pada waktu logam las mendingin setelah pembekuan selesai. Retak ini terjadi karena adanya tegangan yang timbul karena penyusutan. Dengan demikian maka retak ini akan terjadi pada batas butir, karena pada tempat tersebut biasanya terbentuk senyawa dengan titik cair rendah.

2.6.3 Usaha Menghindari Retak Las

Penyebab utama terjadinya retak las dikarenakan terjadinya hidrogen difusi pada logam las dan besarnya tegangan yang bekerja pada daerah las. Oleh karena itu dalam menghindari terjadinya retak las pada daerah pengaruh panas, faktor-faktor penyebabnya harus ditekan sekecil mungkin. Usaha penanggulangan untuk menghindari terjadinya retak las dapat diuraikan sebagai berikut:

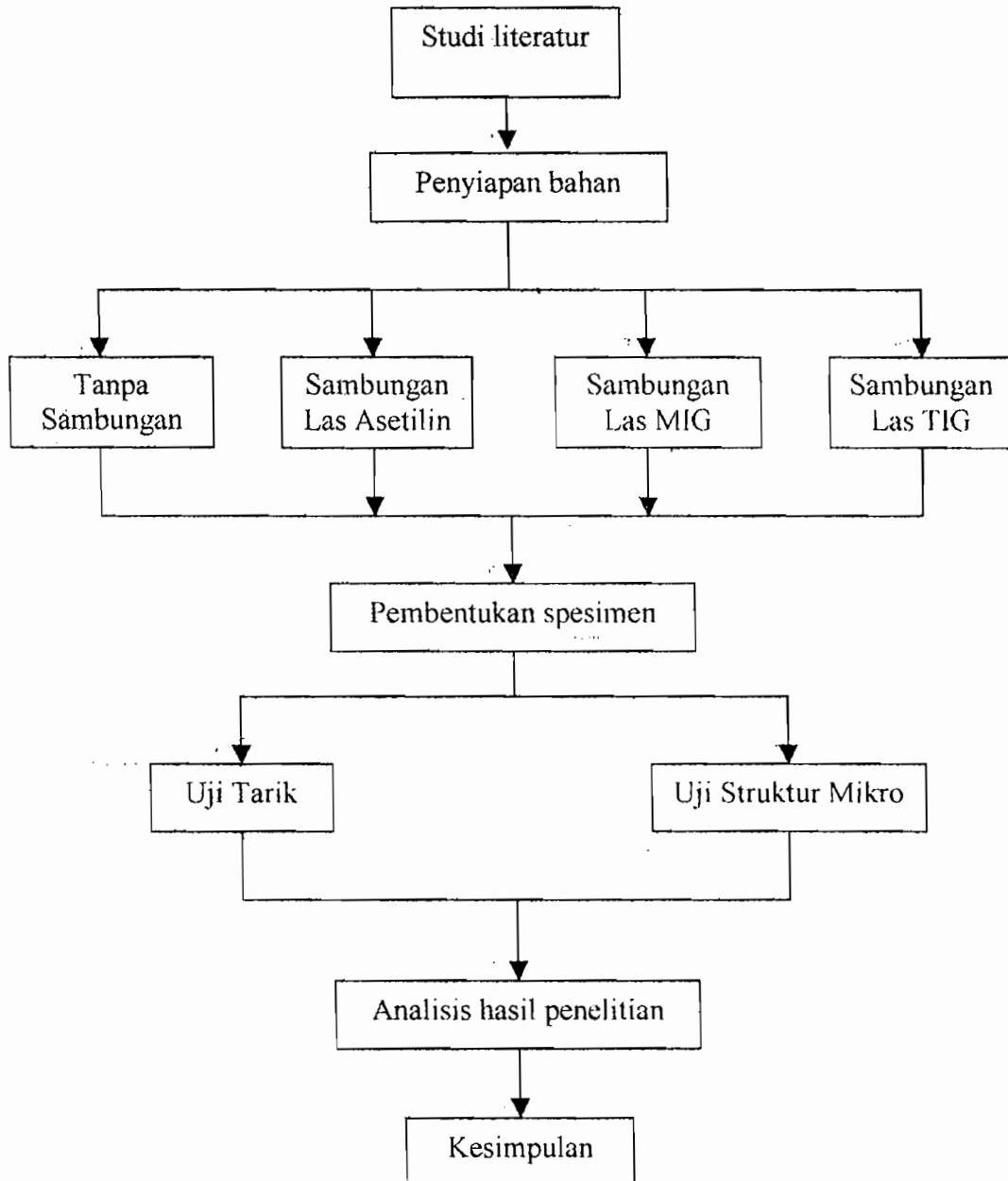
1. Mengontrol kecepatan pendinginan dengan pemanasan terlebih dahulu, kemudian dilakukan pengelasan.

2. Menjaga agar tingkat hidrogen serendah mungkin dengan menggunakan elektroda hidrogen berpotensi rendah dan memastikan elektroda kering serta tepi las harus bebas dari uap lembab.
3. Menghindari penambahan tegangan dengan mengontrol kecocokan sambungan las, mengontrol celah karena celah di atas 1,6 mm memperbesar resiko keretakan, mengontrol pengkeleman karena makin banyak pengkeleman memperbesar tingkat tegangan.

BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Proses pelaksanaan penelitian dari awal sampai akhir dapat dilihat pada bagan pelaksanaan penelitian berikut ini:



3.2 Persiapan Material

Proses pembuatan spesimen dilakukan dengan menggunakan mesin Frais (*milling machine*), sedangkan untuk proses pengelasan menggunakan mesin las spesial UNO yang ada di Laboratorium Teknologi Pengelasan INLASTEK (*Surakarta Welding Institute*, Jl.Joko Tingkir No.5 Pajang Surakarta 57146). Jumlah spesimen yang akan direncanakan sebanyak 16 buah. Terdapat banyak standarisasi pengujian tarik, karena keterbatasan bahan dan biaya, maka penulis memilih standar ASTM (Lampiran).

A. Material : Besi Cor Kelabu (Plat)

B. Ukuran material :

- a. 300 x 240 x 4 (mm)
- b. Plat besi cor kelabu ini dibentuk spesimen pengujian tarik sebanyak 16 buah dengan perincian sebagai berikut 4 buah spesimen tanpa las, 4 buah spesimen sambungan las Asetilin, 4 buah spesimen sambungan las MIG dan 4 buah spesimen sambungan las TIG.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Proses penelitian sifat-sifat fisis dan mekanis plat besi cor kelabu dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pengujian tarik, baik itu spesimen tanpa proses pengelasan maupun menggunakan proses pengelasan. Tahap kedua adalah pengujian struktur mikro spesimen tanpa las dan spesimen yang menggunakan proses pengelasan. Pada tahap pertama, pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan kekuatan tarik plat besi cor

kelabu tanpa proses pengelasan dengan spesimen melalui tahap penyambungan / penggabungan bahan dengan cara pengelasan (pengelasan Asetilin, MIG, dan TIG), sedangkan tahap kedua adalah pengujian struktur mikro dari plat besi cor kelabu sebelum dilakukan pengelasan dan sesudah dilakukan pengelasan terutama pada daerah logam induk, daerah HAZ dan logam lasan.

3.3.1 Kandungan Komposisi Kimia

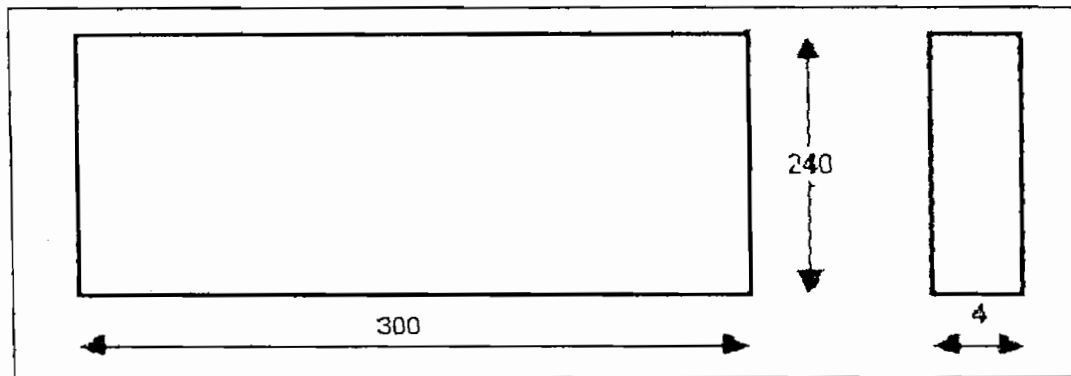
Berikut ini adalah hasil dari uji komposisi kimia pada material besi cor kelabu dapat kita lihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kandungan Komposisi Material Besi Cor Kelabu

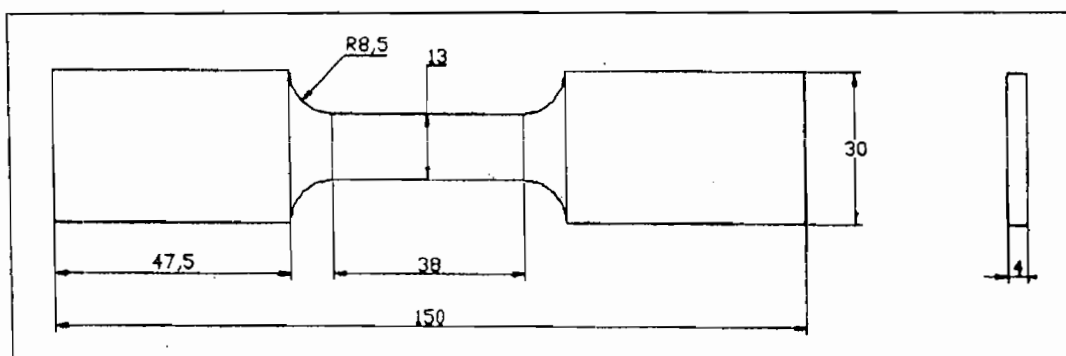
No	Kandungan (%)	Hasil	No	Kandungan (%)	Hasil
1	Fe	92,88	9	Mo	0,048
2	C	3,473	10	Cu	0,178
3	Si	2,022	11	Mg	0,000
4	Mn	0,794	12	V	0,013
5	P	>0,094	13	Ti	0,013
6	S	>0,074	14	Nb	<0,004
7	Ni	0,070	15	Al	0,023
8	Cr	0,086	16	W	0,015

3.3.2 Proses Pelaksanaan Pengelasan

Ukuran material yang digunakan untuk proses penelitian adalah 300 x 240 x 4 (mm), kemudian dibentuk spesimen pengujian tarik sebanyak 16 buah (4 buah spesimen tanpa las, 4 spesimen sambungan Las Asetilin, 4 spesimen sambungan las MIG, 4 spesimen sambungan las TIG). Proses pembuatan kampuh las dilakukan dengan pengelasan yang kontinyu dan merata sehingga lasan yang dihasilkan sesuai dengan standart proses pengelasan yang baik dan baku.

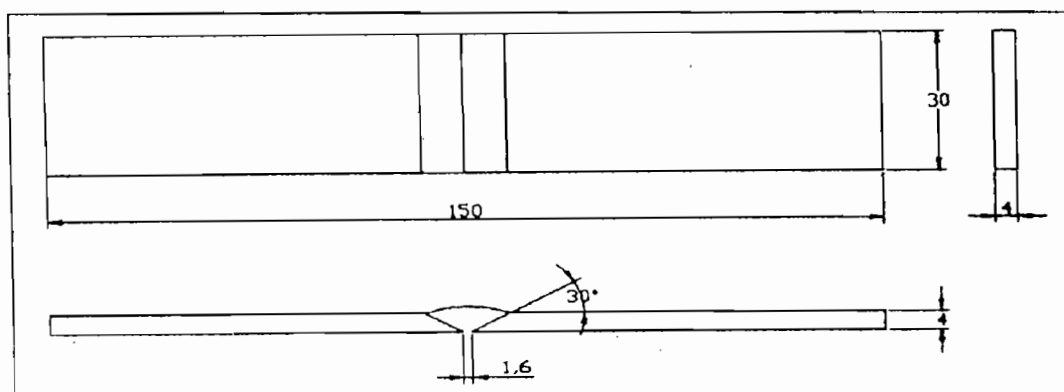


Gambar 3.1 Material Besi Cor Kelabu



Gambar 3.2 Spesimen Uji Tarik Standard ASTM

Setelah bahan material dipotong-potong sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan seperti gambar 3.2, kemudian bahan dibuat kampuh pada bagian tengah. Proses penelitian pengelasan las Asetilin, MIG dan TIG, menggunakan kampuh V tunggal dengan sudut 30° .



Gambar 3.3 Bentuk Sambungan V Tunggal

Pembuatan spesimen uji tarik menggunakan mesin Frais (*milling machine*). Pengelasan dilakukan dengan membuat kampuh las pada spesimen, setelah proses selesai kemudian didinginkan pada udara terbuka. Kampuh las diratakan dengan gerinda tangan agar rapi dan baik hasilnya. Sedangkan spesimen tanpa las langsung diteruskan pada proses pembentukan spesimen uji tarik dengan mesin Frais (*milling machine*). Berikut ini adalah data proses pengelasan:

1. Proses pembentukan spesimen tanpa sambungan las.

Untuk proses pembentukan spesimen tanpa sambungan las dengan mesin Frais (*milling machine*) sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan dan sesuai standar ASTM (Lampiran).

2. Proses pembentukan spesimen dengan sambungan las Asetilin

- | | |
|-----------------------------|-------------------|
| a. Bahan tambahan / pengisi | : kuningan |
| b. Tekanan gas | : 2,5 bar |
| c. Nomor Brander | : 2 (2 – 4 mm) |
| d. Gas pelindung | : $O_2 - C_2 H_2$ |
| e. Jenis Kampuh | : V (tunggal) |
| f. Jenis Nyala api | : netral |
| g. Media pendingin | : udara bebas |



3. Proses pembentukan spesimen dengan sambungan las MIG.

- | | |
|--------------|---|
| a. Tegangan | : 25 - 30 volt |
| b. Kuat arus | : 25 ampere |
| c. Elektroda | : kawat (ER 308; diameter 0,8 mm; silver) |

- d. Gas pelindung : Argon (Gas mulia: Helium, Argon)
 - e. Jenis Kampuh : V (tunggal)
 - f. Karakteristik : waktu cepat, banyak timbul spatter yang memercik, tidak bisa dicampur udara luar.
 - g. Media pendingin : udara bebas
4. Proses pembentukan spesimen dengan sambungan las TIG.
- a. Tegangan : 25 - 30 volt
 - b. Kuat arus : 25 ampere
 - c. Elektroda : kawat (ER 308; diameter 0,8 mm; silver)
 - d. Gas pelindung : Argon (Gas Mulia: Helium, Argon)
 - e. Jenis Kampuh : V (tunggal)
 - f. Karakteristik : tanpa ada percikan (spatter)
 - g. Media pendingin : udara bebas

3.3.3 Prosedur Pengujian Tarik

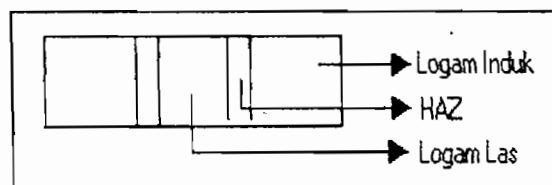
Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dan perubahan-perubahan benda uji terhadap pembebanan tarik. Dalam pengujian tarik ini, penulis menggunakan mesin uji tarik pada laboratorium ilmu logam di Akademi Perindustrian Yogyakarta.

Proses pengujian tarik adalah sebagai berikut: spesimen yang diuji antara lain, 4 spesimen tanpa sambungan las, 4 spesimen sambungan las Asetilin, 4 spesimen sambungan las MIG dan 4 spesimen sambungan las TIG. Prosedur pengujian tarik adalah sebagai berikut:

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 kode satuan dan besaran yang digunakan.
4. Tombol [AREA START], ditekan dua kali hingga lampu START menyala.
5. Selesai pengujian tombol [PRINT], ditekan untuk mencetak hasil yang berbentuk grafik.

3.3.4 Prosedur Pengujian Struktur Mikro

Proses pengujian struktur mikro bertujuan untuk membedakan struktur mikro logam yang satu dengan yang lainnya dengan cara mengamati bentuk butiran kristalnya. Dalam pengujian struktur mikro ini, penulis menggunakan mikroskop metalografi pada laboratorium ilmu logam di Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. Lebih jelasnya proses pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut :



Gambar 3.4 Benda Uji Struktur Mikro

1. Setelah mengalami proses pengelasan dan pembentukan spesimen, maka dilanjutkan dengan pengujian struktur mikro. Terlebih dahulu dilakukan pengampelasan pada sisi spesimen uji yang akan difoto. Ampelas yang digunakan dari yang paling kasar sampai yang paling halus (dengan menggunakan ampelas Duko dengan urutan nomor: 800, 1000, 1200, 1500). Proses penghalusan permukaan dimulai dengan ampelas 800 menggunakan bantuan air untuk menghilangkan kotoran supaya larut dan tidak menggores pada spesimen uji.
2. Setelah benda uji kelihatan halus dan tidak ada goresan, kemudian dilanjutkan penggosokan dengan *Autosol*, untuk memperoleh permukaan yang mengkilap. Tujuan penggunaan *Autosol* untuk menghilangkan kotoran, serta mengkilapkan spesimen yang akan di foto. Proses penggosokan *Autosol* dilakukan dengan satu arah dan menggunakan kain yang berserat halus.
3. Setelah spesimen uji telah selesai dihaluskan dan mengkilap, maka dilanjutkan dengan mempersiapkan alat-alat dan bahan etsa (tabung reaksi, gelas ukur, pipet, bahan etsa HNO_3 5% + alkohol 95%).
4. Spesimen dietsa dengan menggunakan campuran larutan HNO_3 5% + alkohol 95%.
5. Setelah dietsa, spesimen ditempatkan pada kedudukan mikroskop.
6. Mikroskop diatur perbesaran dan pencahayaannya. Dengan menggunakan kamera yang dirangkai jadi satu dengan mikroskop maka pemotretan telah siap dilakukan. Jika lampu menunjukkan tanda (-) berarti pencahayaan kurang.

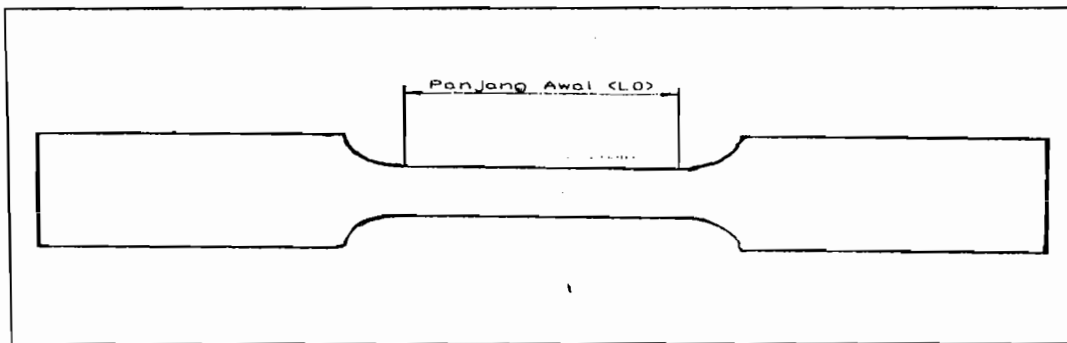
Jika menunjukkan tanda (+) berarti pencahayaan berlebih, dan jika menunjukkan tanda (O) berwarna hijau berarti pencahayaan tepat, sehingga proses pengambilan dapat dilakukan.

7. Untuk menghindari kaburnya gambar pada saat pemotretan diusahakan kondisi alat setenang mungkin dan pengambilan foto dilakukan pada masing-masing spesimen.

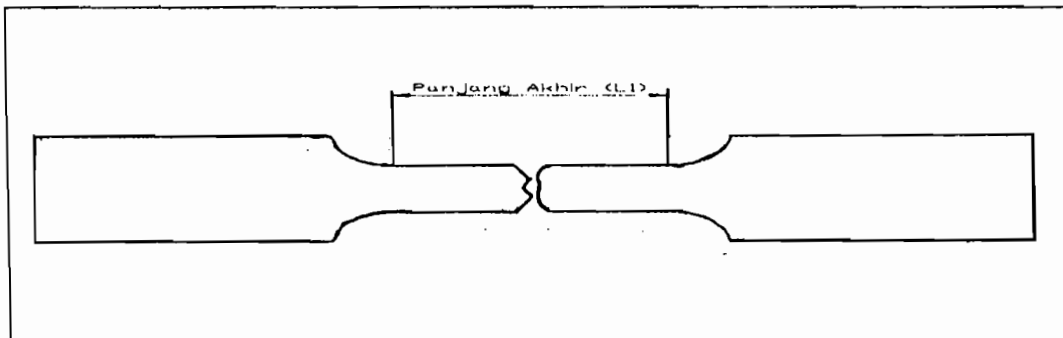
BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1 Pengujian Tarik

Kondisi awal spesimen besi cor kelabu sebelum dan sesudah dilakukan proses pengujian tarik dalam Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.1 Spesimen sebelum Pengujian Tarik (L_0)



Gambar 4.2 Spesimen setelah Pengujian Tarik (L_1)

4.1.1 Spesimen Tanpa Sambungan Las

Setelah melakukan pengujian tarik diperoleh data-data hasil pengujian, yang meliputi beban maksimum, beban patah dan pertambahan panjang sehingga menghasilkan perhitungan tegangan maksimum (σ_u) dan regangan. Tegangan maksimum disebut juga dengan kekuatan tarik (*Ultimate stress*).

1. Proses perhitungan uji tarik spesimen awal 1

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \frac{F_{\text{beban}}}{A_0} \\ &= \frac{1148}{52} \\ &= 22,08 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

b. Regangan / Elongation (%)

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \% \\ &= \frac{2,50}{38} \times 100 \% \\ &= 6,58 \%\end{aligned}$$

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Awal / Tanpa Sambungan Las

Spesimen Awal / Tanpa Sambungan Las										
No	L ₀ mm	L ₁ mm	ΔL mm	Lebar mm	Tebal mm	A ₀ (lebar x tebal) mm ²	F _{maks} kg	F _{patah} kg	σ _u kg/mm ²	ε %
1	38	40,50	2,50	13	4	52	1148	1148	22,08	6,58
2	38	41	3	12,95	4	51,80	1054	1045	20,35	7,89
3	38	42	4	13	4	52	1156	1127	22,23	10,53
4	38	41,30	3,30	13	4	52	1138	1108	21,88	8,68
Rata-rata							1124	1107	21,64	8,42

Keterangan:

- L₀ = panjang mula-mula (mm)
- L₁ = panjang setelah patah (mm)
- ΔL = pertambahan panjang (mm)
- A₀ = luas penampang (mm²)
- F_{maks} = beban maksimum (kg)
- F_{patah} = beban patah (kg)
- σ_u = tegangan tarik maksimal (kg/mm²)
- ε = elongation (%)

4.1.2 Spesimen Sambungan Las Asetilin

Setelah melakukan pengujian tarik diperoleh data-data hasil pengujian, sebagai berikut:

1. Proses perhitungan uji tarik spesimen las Asetilin 1

a. Tegangan tarik maksimum (σ_u)

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \frac{F_{beban}}{A_0} \\ &= \frac{1008}{52} \\ &= 19,38 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

b. Regangan / Elongation (%)

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \% \\ &= \frac{3}{38} \times 100 \% \\ &= 7,89 \%\end{aligned}$$

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Sambungan Las Asetilin
Spesimen Sambungan Las Asetilin

No	L ₀ mm	L ₁ mm	ΔL mm	Lebar mm	Tebal mm	A ₀ (lebar x tebal) mm ²	F _{maks} kg	F _{patah} kg	σ _u kg/mm ²	ε %
1	38	41	3	13	4	52	1008	1008	19,38	7,89
2	38	40,80	2,80	12,90	4	51,60	1008	1002	19,53	7,37
3	38	40	2	12,90	4	51,60	1021	973	19,79	5,26
4	38	41	3	12,85	4	51,40	935	905	18,19	7,89
Rata-rata							993	972	19,22	7,10

Keterangan:

- L₀ = panjang mula-mula (mm)
- L₁ = panjang setelah patah (mm)
- ΔL = pertambahan panjang (mm)
- A = luas penampang (mm²)
- F_{maks} = beban maksimum (kg)
- F_{patah} = beban patah (kg)
- σ_u = tegangan tarik maksimal (kg/mm²)
- ε = elongation (%)

4.1.3 Spesimen Sambungan Las MIG

Setelah melakukan pengujian tarik diperoleh data-data hasil pengujian, sebagai berikut:

1. Proses perhitungan uji tarik spesimen las MIG 1

a. Tegangan tarik maksimum (σ_u)

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \frac{F_{beban}}{A_0} \\ &= \frac{624}{51,80} \\ &= 12,05 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

b. Regangan / Elongation (%)

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \% \\ &= \frac{2,25}{38} \times 100 \% \\ &= 5,92 \%\end{aligned}$$

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Sambungan Las MIG

Spesimen Sambungan Las MIG										
No	L ₀ mm	L ₁ mm	ΔL mm	Lebar mm	Tebal mm	A ₀ (lebar x tebal) mm ²	F _{maks} kg	F _{patah} kg	σ _u kg/mm ²	ε %
1	38	40,25	2,25	12,95	4	51,80	624	605	12,05	5,92
2	38	41	3	13	4	52	823	823	15,83	7,89
3	38	40,75	2,75	12,90	4	51,60	749	719	14,52	7,24
4	38	40	2	13	4	52	688	665	13,23	5,26
Rata-rata							721	703	13,91	6,58

Keterangan:

- Lo = panjang mula-mula (mm)
- L1 = panjang setelah patah (mm)
- ΔL = pertambahan panjang (mm)
- A = luas penampang (mm²)
- F_{maks} = beban maksimum (kg)
- F_{putus} = beban putus (kg)
- σ_u = tegangan tarik maksimal (kg/mm²)
- ε = elongation (%)

4.1.4 Spesimen Sambungan Las TIG

Setelah melakukan pengujian tarik diperoleh data-data hasil pengujian, sebagai berikut:

1. Proses perhitungan uji tarik spesimen las TIG 1

a. Tegangan tarik maksimum (σ_u)

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \frac{F_{\text{beban}}}{A_0} \\ &= \frac{687}{52} \\ &= 13,21 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

b. Regangan / Elongation (%)

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \% \\ &= \frac{3}{38} \times 100 \% \\ &= 7,89 \%\end{aligned}$$

Table 4.4 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Sambungan Las TIG

Spesimen Sambungan Las TIG										
No	L ₀ mm	L ₁ mm	ΔL mm	Lebar mm	Tebal mm	A ₀ (lebar x tebal) mm ²	F _{maks} kg	F _{patah} kg	σ _u kg/mm ²	ε %
1	38	41	3	13	4	52	687	687	13,21	7,89
2	38	40	2	12,80	4	51,20	591	591	11,54	5,26
3	38	40,50	2,50	12,95	4	51,80	617	617	11,91	6,58
4	38	40	2	13	4	52	573	573	11,02	5,26
Rata-rata							617	617	11,92	6,25

Keterangan:

L₀ = panjang mula-mula (mm)

L₁ = panjang setelah patah (mm)

ΔL = pertambahan panjang (mm)

A = luas penampang (mm²)

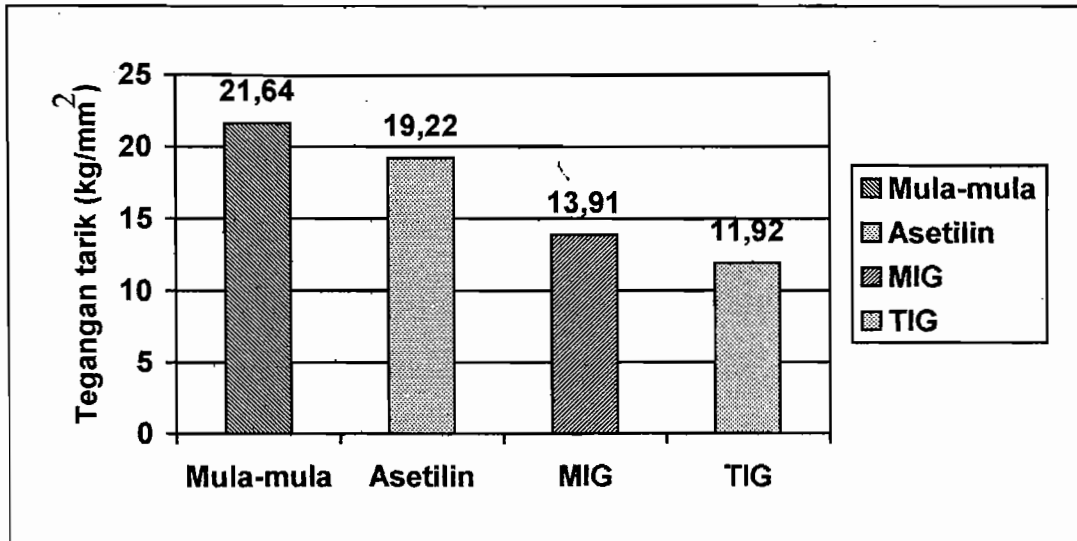
F_{maks} = beban maksimal (kg)

F_{putus} = beban putus (kg)

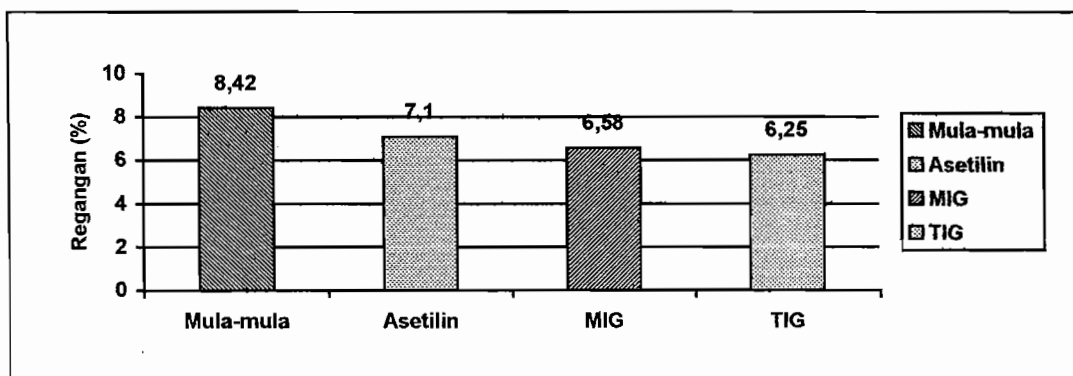
σ_u = tegangan tarik maksimal (kg/mm²)

ε = elongation (%)

4.1.5 Grafik hasil pengujian tarik



Gambar 4.3 Grafik Tegangan Tarik Benda Uji (σ_{maks})



Gambar 4.4 Grafik Regangan / Elongation (%)

4.1.6 Pembahasan pengujian tarik

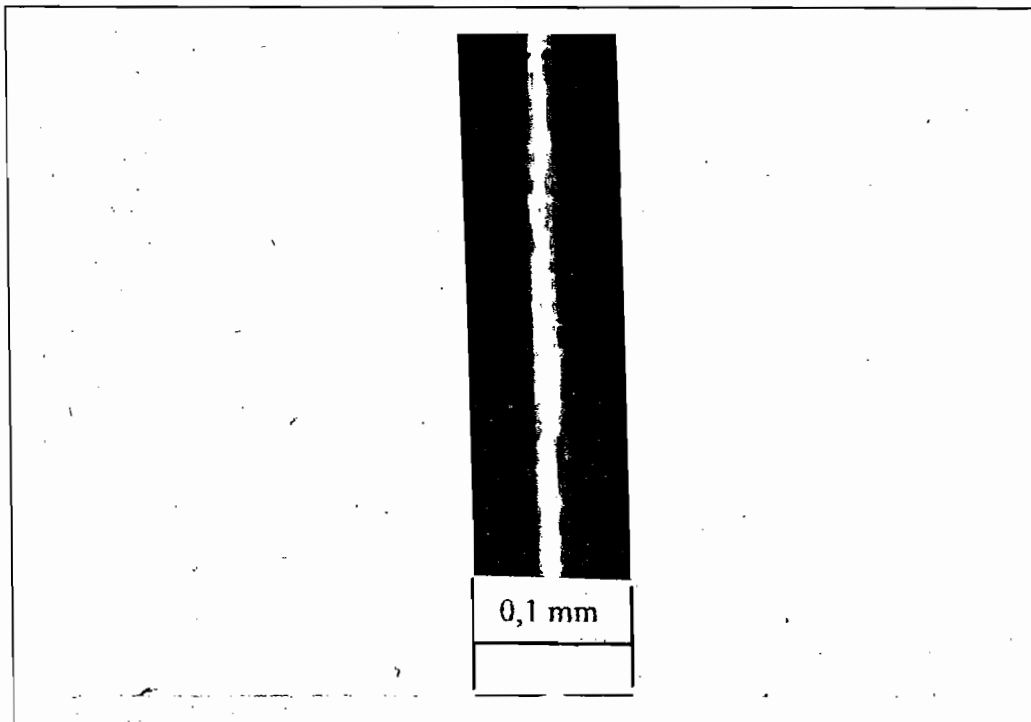
Pengujian tarik ini mendapatkan hasil spesimen material mula-mula tanpa sambungan las memiliki tegangan maksimal rata-rata $21,64 \text{ kg/mm}^2$ dan rata-rata regangan $8,42 \%$. Hasil yang diperoleh pengujian tarik spesimen mula-mula dan spesimen tiga macam sambungan las (las Asetilin, las MIG, las TIG) mendapatkan nilai rata-rata tegangan maksimum dan regangan yang berbeda-beda, hal tersebut disebabkan karena bahan tambah yang berbeda, proses pengelasan yang berbeda, getasnya bahan material dan adanya cacat lasan.

Setelah melihat analisa pengujian tarik ternyata hasil pengelasan besi cor kelabu dari tiga macam pengelasan yang diteliti (las Asetilin, las MIG dan las TIG), yang paling baik adalah pengelasan menggunakan las Asetilin.

4.2 Pengujian Struktur Mikro

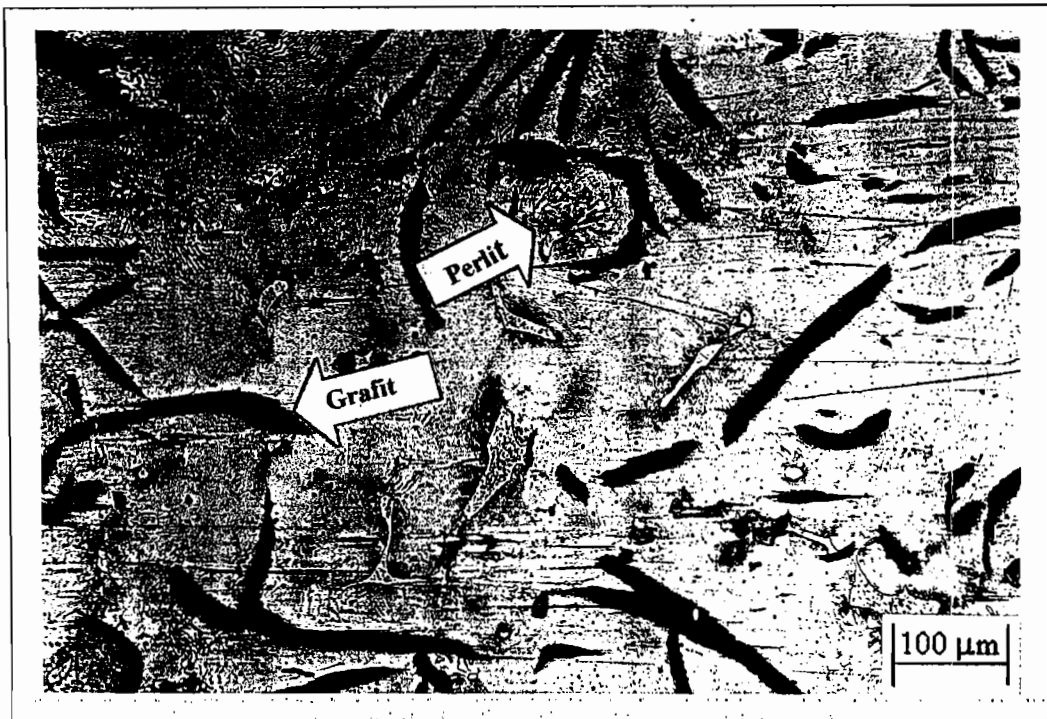
4.2.1 Perhitungan Skala Gambar

Kawat diameter 0,1 mm difoto pada mikroskop dengan perbesaran 100 X kali dan dicetak foto ukuran 3R, setelah dicetak diameter kawat menjadi 20 mm.



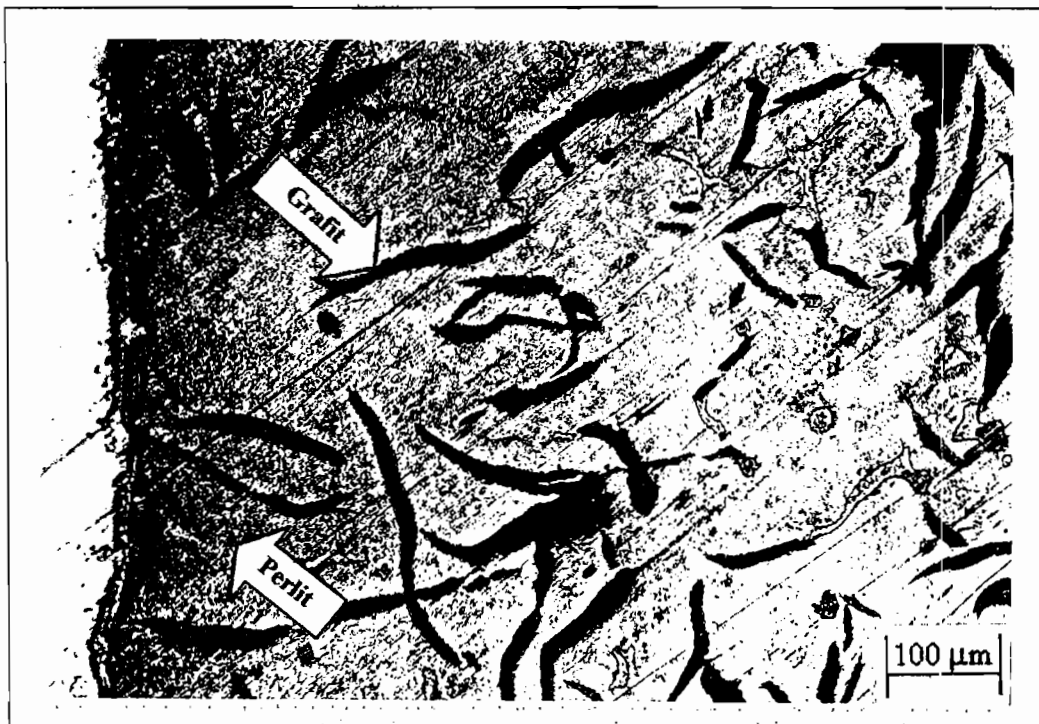
Gambar 4.5 Kawat Kalibrasi

4.2.2 Hasil pengamatan struktur mikro besi cor kelabu

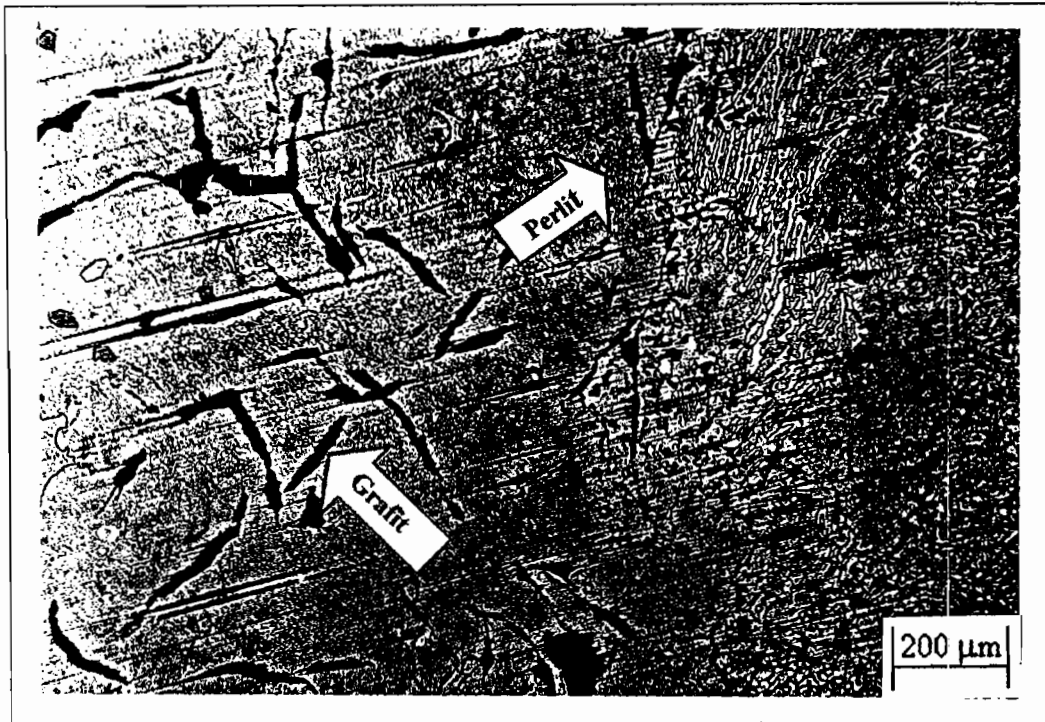


Gambar 4.6 Struktur Mikro Besi Cor Kelabu (perbesaran 100 kali)

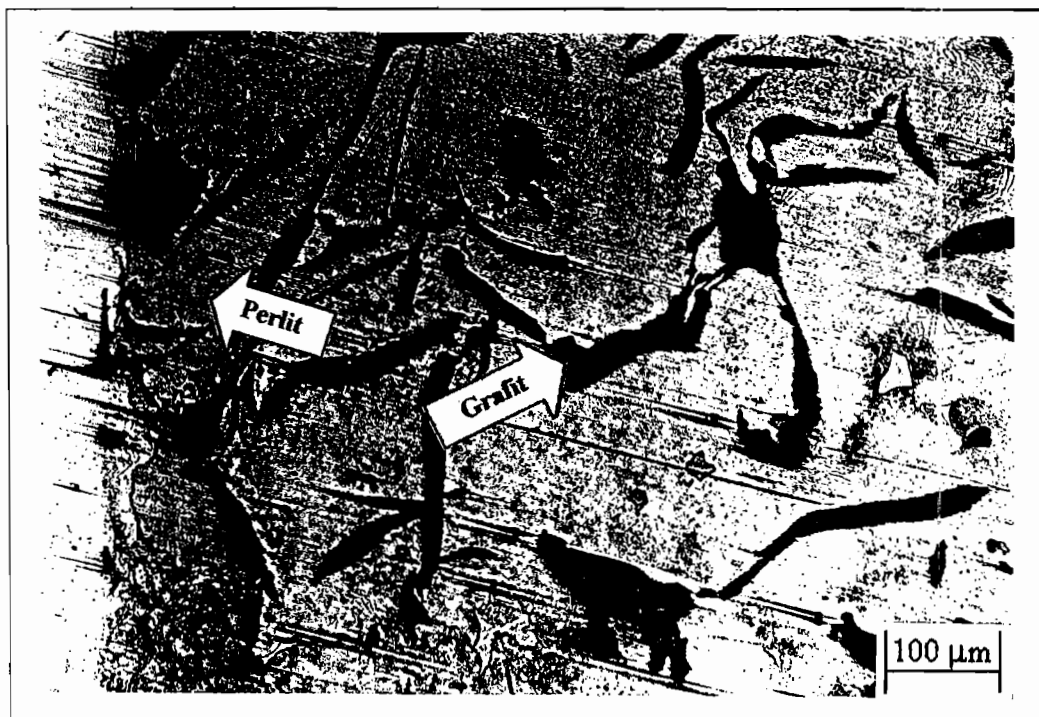
4.2.3 Hasil pengamatan struktur mikro logam induk sambungan las



Gambar 4.7 Logam Induk Sambungan Las Asetilin (perbesaran 100 X)

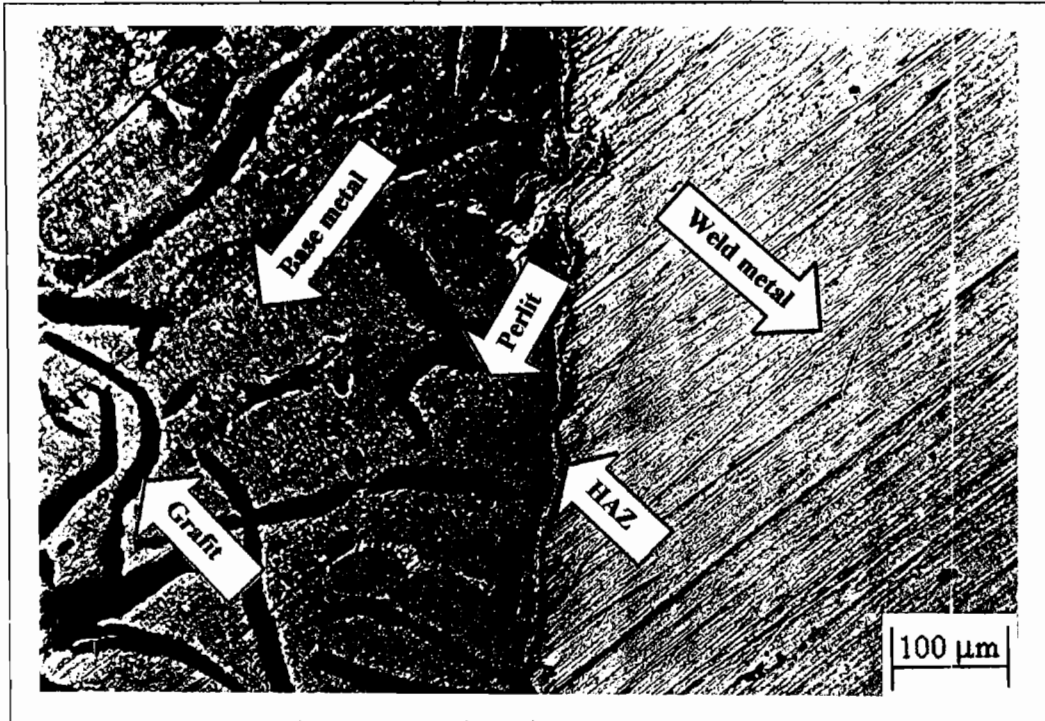


Gambar 4.8 Logam Induk sambungan Las MIG (perbesaran 50 kali)

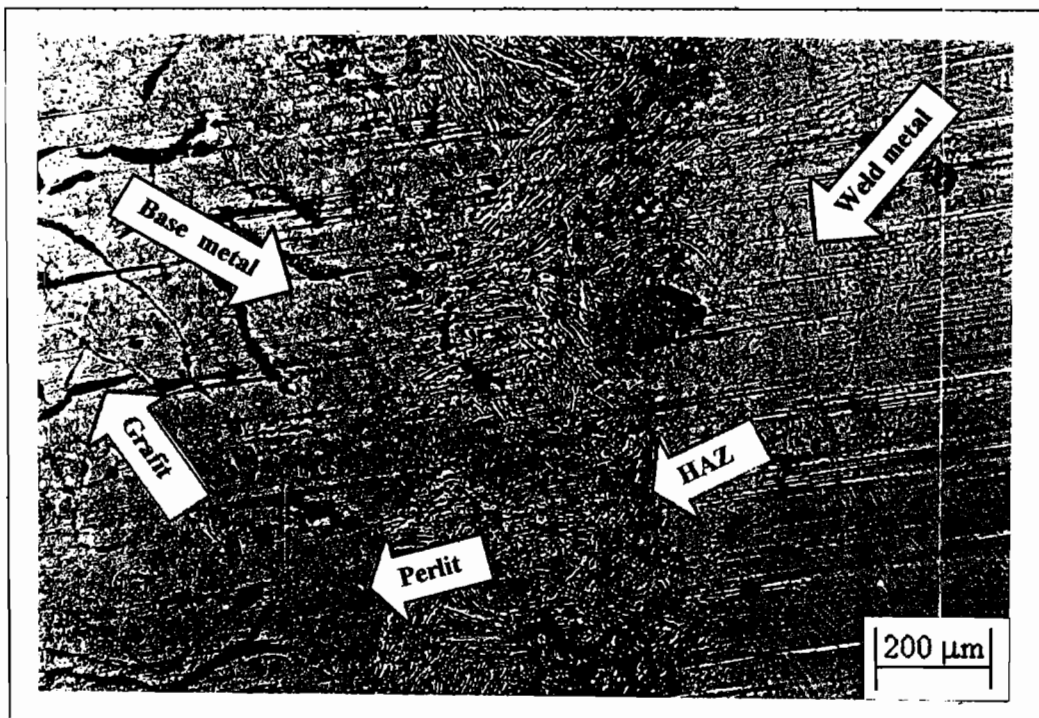


Gambar 4.9 Logam Induk sambungan Las TIG (perbesaran 100 kali)

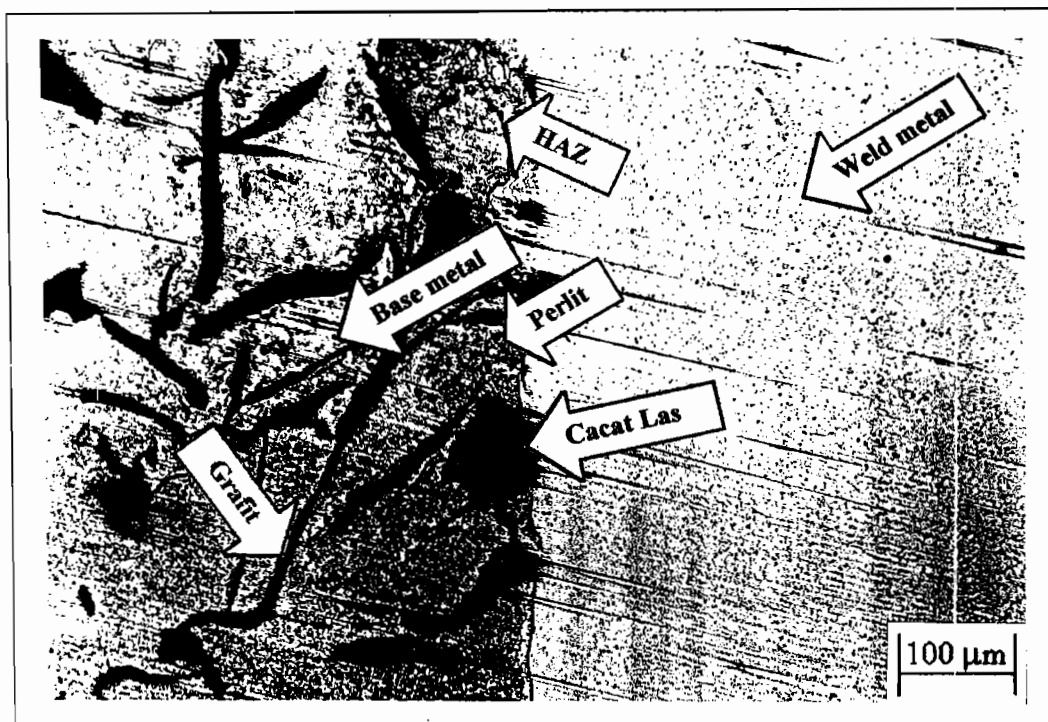
4.2.4 Hasil pengamatan struktur mikro daerah HAZ (Heat Affective Zone)



Gambar 4.10 Heat Affective Zone sambungan Las Asetilin (perbesaran 100 kali)

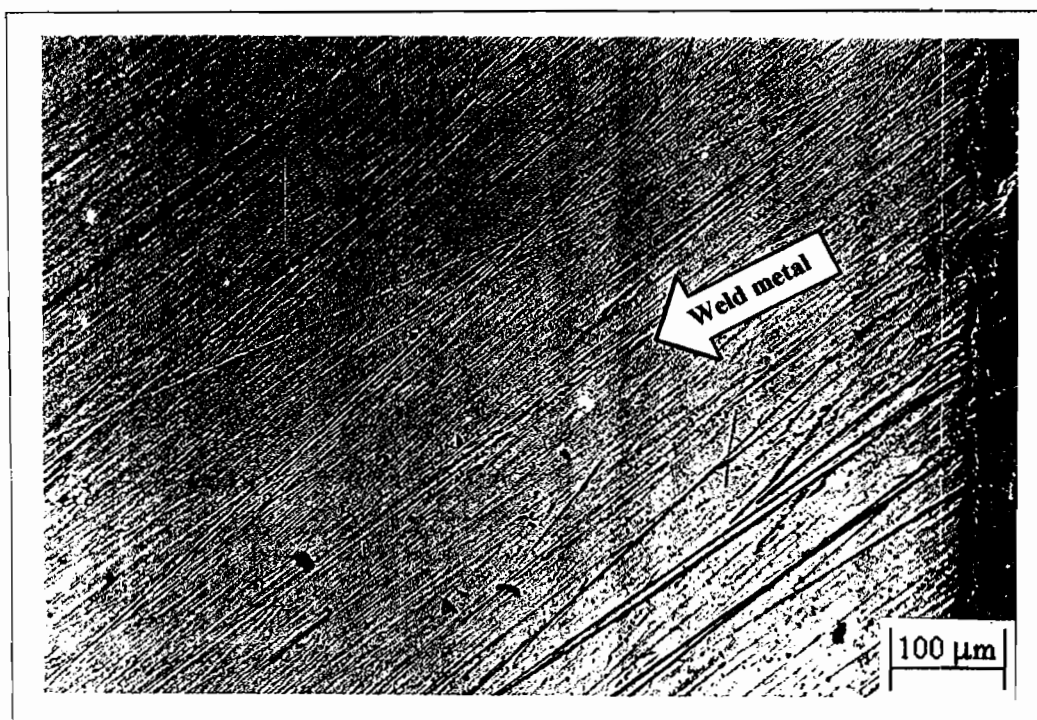


Gambar 4.11 Heat Affective Zone sambungan Las MIG (perbesaran 50 kali)

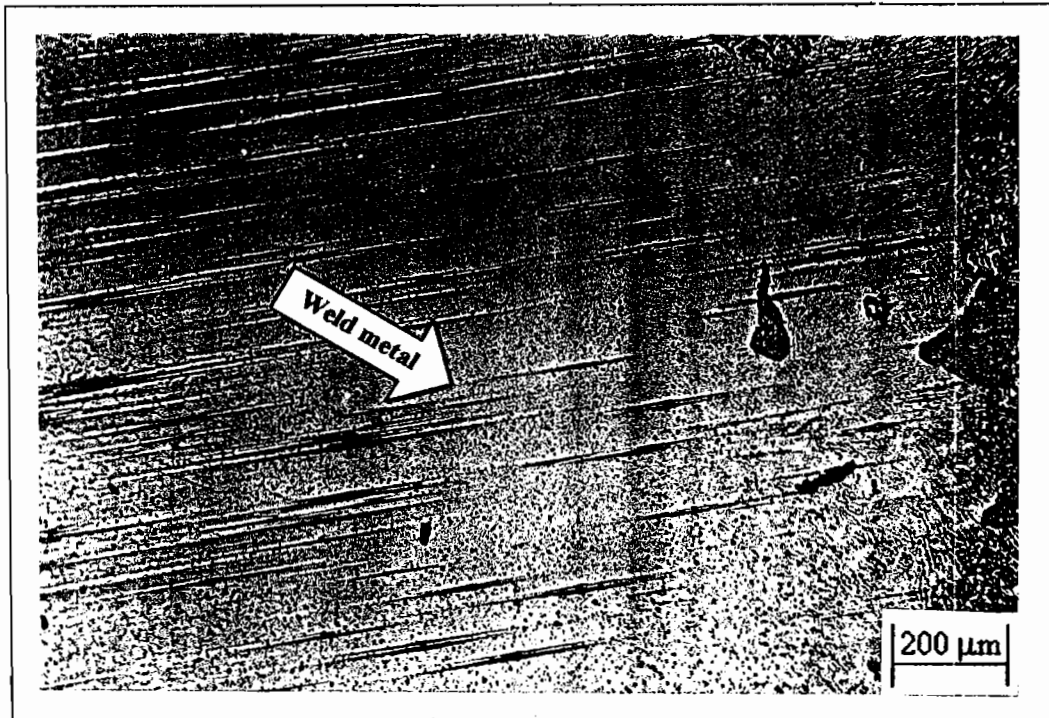


Gambar 4.12 Heat Affective Zone sambungan Las TIG (perbesaran 100 kali)

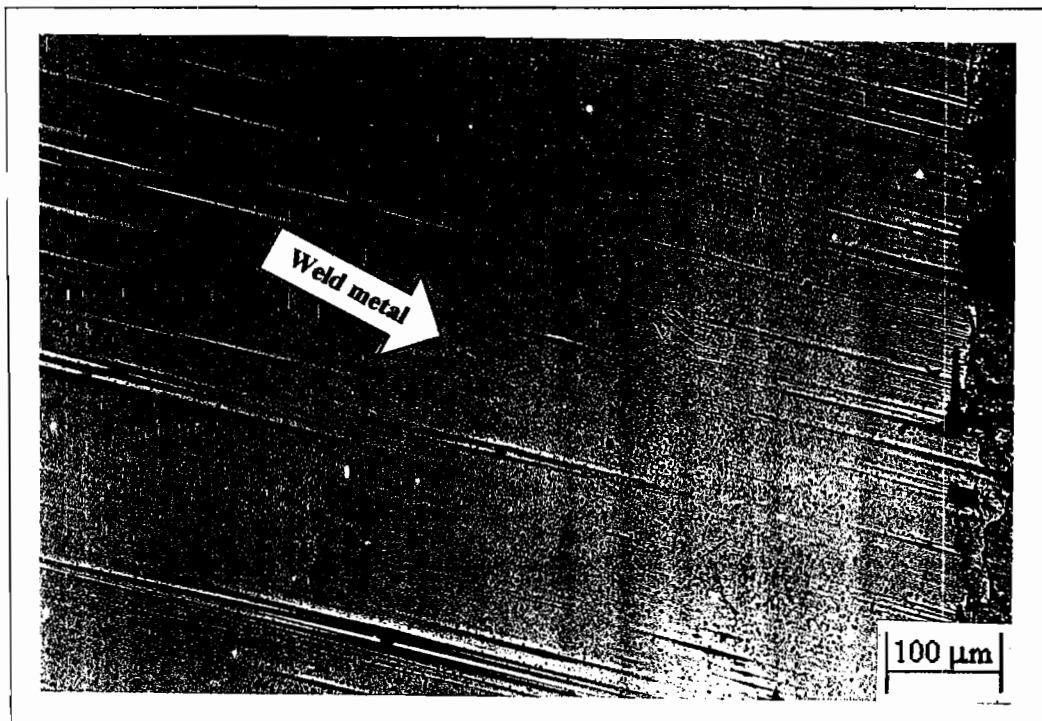
4.2.5 Hasil pengamatan struktur mikro daerah bahan tambah (logam las)



Gambar 4.13 Logam Las sambungan Las Asetilin (perbesaran 100 X)



Gambar 4.14 Logam Las sambungan Las MIG (perbesaran 50 X)



Gambar 4.15 Logam Las sambungan Las TIG (perbesaran 100 X)

4.2.6 Pembahasan struktur mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur logam logam besi cor kelabu setelah mengalami proses pengelasan baik itu las asetilin, las MIG maupun las TIG. Hasil pengamatan pada material mula-mula menunjukkan grafit yang terdistribusi sebarang, sehingga proses pengecoran material besi cor kelabu tergolong baik. Pada daerah HAZ las asetilin nampak terlihat perbedaan antara logam induk dengan bahan tambah. Daerah HAZ pada las MIG ferit tampak pada daerah persambungan.las. Daerah HAZ pada las TIG nampak terlihat garis batas antara logam induk dengan bahan tambah.

Dari pengamatan struktur mikro terlihat batas antara bahan tambah, daerah HAZ dan bahan induk sehingga memudahkan pengamatan. Pada pengamatan visual, daerah sambungan las nampak lubang-lubang hitam (cacat lasan) yang menyebabkan getas dan keropos sehingga apabila diuji tarik kekuatan berkurang dan rapuh, hal tersebut disebabkan karena kotoran-kotoran pada daerah las dan kurang pemanasan awal pada material besi cor kelabu yang akan dilas.

BAB V

KESIMPULAN DAN PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian uji tarik maupun uji struktur mikro dan data hasil analisis yang telah diperoleh maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian tarik menunjukkan specimen mula-mula lebih baik kekuatan tariknya dibandingkan las Asetilin, las MIG maupun las TIG. Pengelasan besi cor kelabu dengan las Asetilin hasil kekuatan tariknya lebih baik dibandingkan las MIG dan las TIG.
2. Pengujian struktur mikro menunjukkan bahan tambah yang dipergunakan memiliki kandungan unsur yang berbeda dengan logam induk sehingga batas antara daerah HAZ, logam induk dan bahan tambah terlihat jelas. Pengamatan visual pada daerah persambungan las terdapat lubang-lubang hitam.

5.2 Penutup

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

DAFTAR PUSTAKA

- Alip, M. 1989. *Teori dan Praktek Las*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan: Jakarta.
- Degarmo, P. 1997. *Materials and Processes in Manufacturing*, Prentice Hall, Inc: New Jersey.
- Groover, M. 1996. *Modern Manufacturing*, Prentice Hall, Inc: New Jersey.
- Kenyon, W. 1985. *Dasar - dasar Pengelasan*, Diterjemahkan oleh Dines Ginting Erlangga: Jakarta.
- Suharto. 1991. *Teknologi Pengelasan Logam*, PT.Rineka Cipta: Jakarta.
- Surdia, T. 1984. *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita: Jakarta.

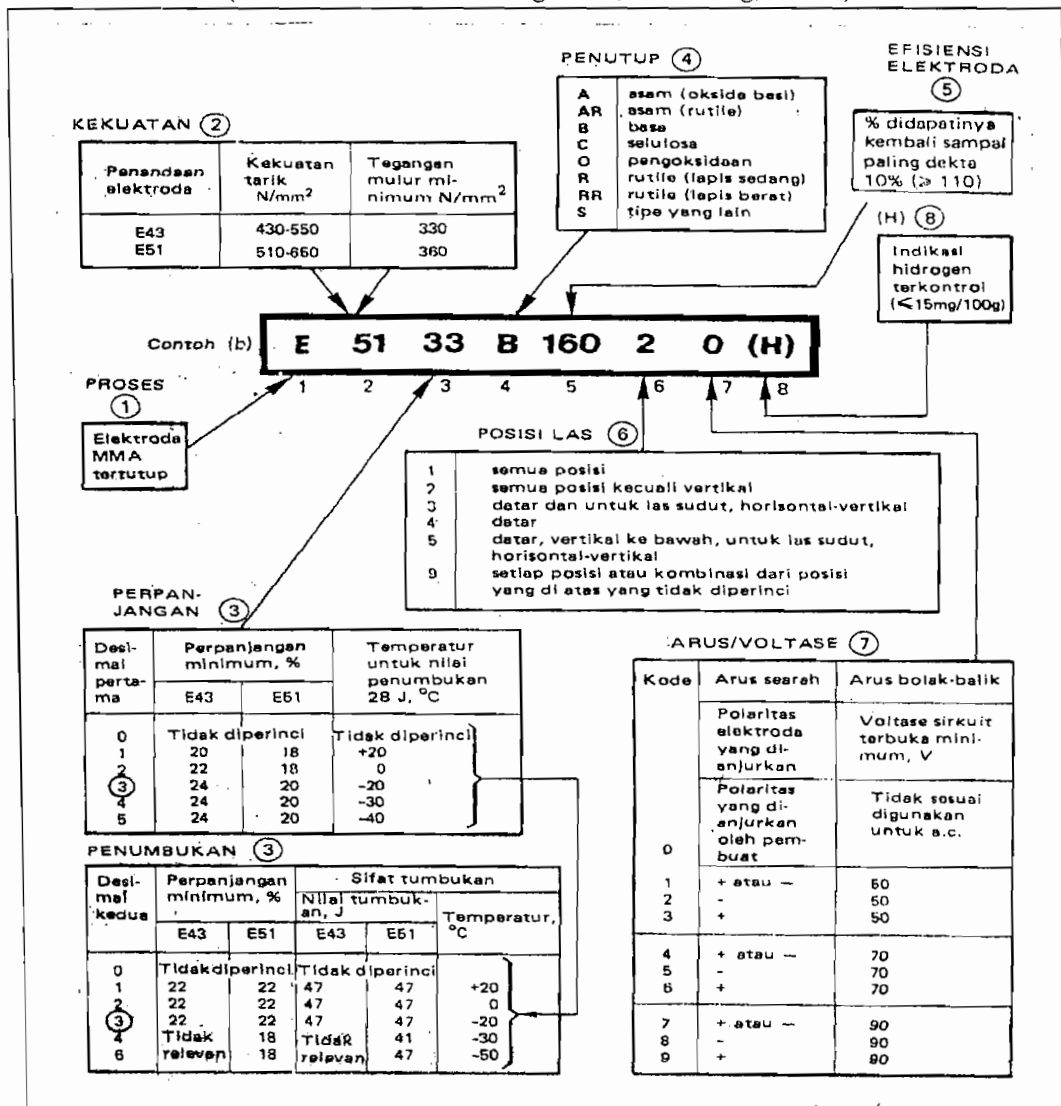
LAMPIRAN

Tabel 1 Komposisi Kimia Tipikal dan Sifat-sifat Mekanik Besi Cor
(Sumber: Pengetahuan Bahan Teknik, Tata Surdia, Hal 113)

Jenis	Komposisi kimia (%)				(a) Karbon ekivalen rata-rata	Ketebalan logam (mm)	Keterasan Brinell	(b) Beban lentur (kg)	Defeksi (mm)	Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Keterangan
	Karbon total	Si	P	Lainnya							
Besi cor kelabu:											
AISI Kelas 20	3,1-3,8	2,2-2,4	0,20-0,40	0,80-0,13 S 0,5-0,7 Mn	3,98	≥ 25	130-180	2000-3000	2,5-3,8	12,7-18,3	Kira-kira ada enam kelas di setiap standar suatu negara.
AISI Kelas 40	2,75-3,0	1,5-1,9	0,07-0,15		3,42	≥ 25	180-217	1800-4500	7,3-9,7	28,8-31,5	
AISI Kelas 60	2,5-2,8	1,2-1,5	0,07-0,15		3,09	≥ 25	212-248	5200-6200	8,9-12,7	42,2-45,0	
Besi cor kekuatan tinggi (A. F. Mechan)	2,9-3,3	1,1-1,7	<0,12	0,8-1,0 Mn	—	≥ 22	≥ 217	1400-1600	7-8,5	≥ 35,0	
Besi cor maleabel inti kelabu (perlit)	2,30-2,50	0,90-1,20	<0,1	0,70-0,35 Mn	—	—	114-140 201-269	—	—	≥ 35,0 ≥ 60,0	JIS Kelas 3 JIS Kelas 3
Besi cor nodular	3,4-4,1	2,1-2,7	—	—	—	—	120-190	—	—	≥ 40,0	Jis Kelas 1 dinormalkan dicelup dingin dan ditemper.
	4	—	—	0,04 ≤ Mg	—	—	230-350	—	—	≥ 70,0	

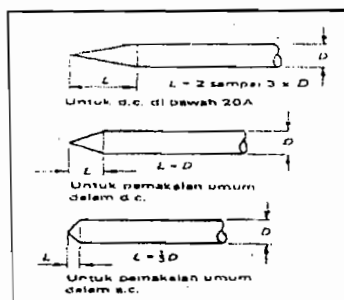
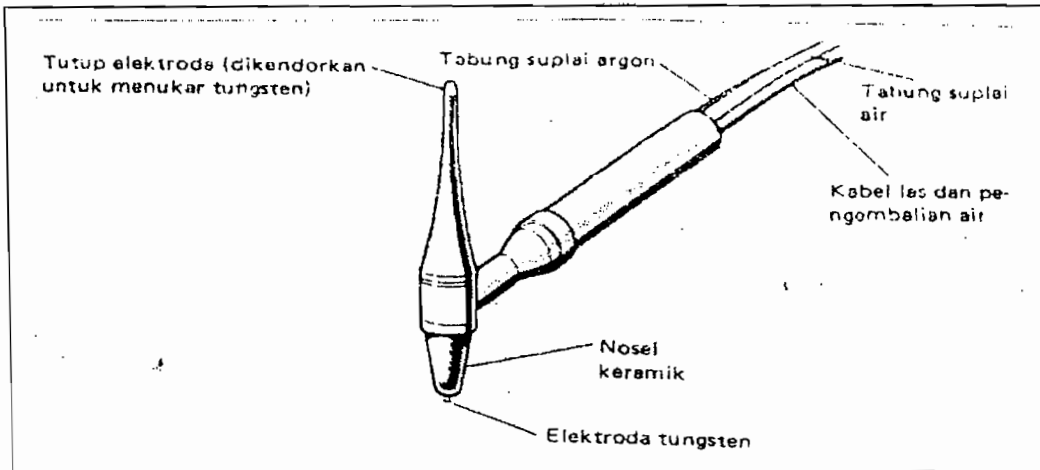
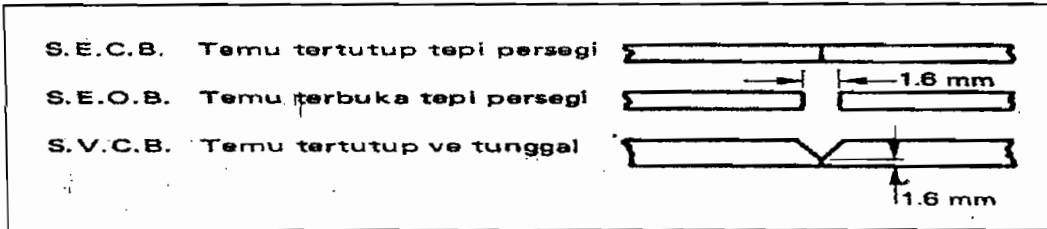
(a): Karbon ekivalen = %C + 0,3 (%Si + %P)
(b): Pengujian lentur: Diameter 30,0 dan bentangan 450 mm, defeksi, diameter 1/8 bentangan.

Tabel 2 Keterangan Kode Elektroda
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D. Ginting, Hal 90)



Tabel 3 Tingkat Arus untuk Elektroda Busur Api Tungsten
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, Hal 110)

Diameter elektroda mm	Kapasitas pembawa arus maksimum dalam amper		Rekomendasi B.S. untuk Las Kelas 1	
	Ditoriasi		Disirkonisasi A.C.	Disirkonisasi A.C. (dengan alat penekan)
	D.C.	A.C.		
0.8	45	30	—	—
1.2	70	40	40	—
1.6	145	55	55	50
2.4	240	90	90	80
3.2	380	140	150	120
4.0	440	195	210	160
4.8	500	250	275	200
5.6	—	275	320	250
6.4	—	320	370	320
7.9	—	410	—	—
9.5	—	500	—	—



Gambar 1 Suluh Berpendingin Air dan Bentuk-bentuk Elektroda Las TIG
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, Hal 109)

Tabel 4 Persiapan Tepi, Teknik dan Konsumsi Gas Pengelasan Asetilin
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, Hal 50)

(T) Tebal Logam mm	Celah Pelat (maks) mm	Diameter Kawat Las mm	Tipe Persiapan Tepi	Nama Sambungan	Kecepatan Rata-rata cm/jam (jengkap)	Ukuran Nosel	Tekanan Operasi Oksi bar	Aset bar	Konsumsi Gas Oksi bar	Aset bar
0.9	nil	—		Temu Tepi Dinaikkan		1	0.14	0.14	28	28
1.2	1/8 T	1.6	atau	Temu Persegi Terbuka		2	0.14	0.14	57	57
2.0	1/4 T					3	0.14	0.14	86	86
2.6	1/4 T	untuk		Temu Ve Tunggal		5	0.14	0.14	140	140
3.2	1/2 T	3.2				7	0.14	0.14	200	200
4.0	3.2			Temu Persegi Terbuka		10	0.21	0.21	280	280
5.0	3.2					13	0.28	0.28	370	370
6.5	3.2			Temu Ve Tunggal		18	0.28	0.28	520	520
8.2	1.6					25	0.42	0.42	710	710
10.0	3.2					35	0.63	0.63	1000	1000
Las Pelat Tumpang										
1.6		1.6		Pelat Tumpang		3	0.14	0.14	86	86
3.2	nil					7	0.14	0.14	200	200
5.0		3.2		Pelat Tumpang		10	0.21	0.21	280	280
8.2						18	0.28	0.28	520	520
Las Pelat Te										
1.6		1.6		Pelat Te Tertutup		3	0.14	0.14	86	86
3.2	nil	to 3.2				7	0.14	0.14	200	200
5.0				Pelat Te Tertutup		13	0.28	0.28	370	370
8.2						25	0.42	0.42	710	710
Sambungan Sudut (Pelat)										
1.6		1.6		Sudut Tertutup		3	0.14	0.14	86	86
3.2	1/8 T	to				7	0.14	0.14	200	200
5.0		3.2	atau	Sudut Terbuka		18	0.28	0.28	520	520

Tabel 5 Gas Bahan Bakar Las Asetilin
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, Hal 144)

Rumus Kimia Bahan Bakar Gas	Metode Produksi dan Penyimpanan	Warna Silinder	Temperatur Nyala Api Kira-Kira dengan oksigen	Aplikasi dan Keuntungan
Asetilin C_2H_2	Dilakukan dalam silinder berpori. Kalsium Karbid + air	Merah tua	$3100^{\circ}C$	Pengelasan, Penyolderan, pengelasan perunggu, pemotongan penampang tebal. Pemanasan awal permulaan cepat. Nilai kalor paling tinggi.
Propan (L.P.G.) C_3H_8	(Gas Minyak Cair) Dalam silinder atau muatan "Pemberuan" (Reforming) parafin	Merah	$2820^{\circ}C$	Muatan csir. Memotong bersih. Pemanasan awal. Penyolderan, pengelasan perunggu penampang tebal. Jelaga sedikit. Bersifat umum.
Gas Alam (L.N.G.) $CH_4+C_2+H_6$	Gas Laut Utara (gas cair yang didinginkan). Saluran pipa bertekanan tinggi.	Merah	$2800^{\circ}C$	Penyolderan, Pengelasan perunggu. Pemotongan. Pemanasan awal. Penyolderan.
Hidrogen H_2	Gas bertekanan tinggi dalam silinder. "Pemberuan" Minyak.	Merah	$2830^{\circ}C$	Pemotongan bawah air. Penyolderan dan pengelasan perunggu. Penyolderan (tanur)
Metan CH_4	Gas bertekanan tinggi dalam silinder laut Utara dan penguraian sisa.	Merah	$2770^{\circ}C$	Penyolderan. Pemanasan awal. Pemotongan.
Campuran gas perantara. Nama dagang M.A.P.P. APACHI	Campuran berbagai gas hidrokarbon. Dicairkan dalam muatan atau silinder.	Merah	$2920^{\circ}C$	Pemotongan. Pemanasan awal. Lebih irit daripada asetilin.

Tabel 6 Macam-macam Gas dan kegunaannya
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, Hal 44)

Gas	Warna Dasar Silinder	Kegunaan yang khas
Asetilin	MERAH TUA	Pengelasan, Pemotongan Pematrian T.A.G.S., M.A.C.S., P.I.C.
Udara	KELABU	
Argon.	BIRU	
Karbon dioksida	{ Strip putih Tipe sifon HITAM	M.A.G.S.
Helium	COKLAT SEDANG	T.A.G.S., M.A.G.S.
Hidrogen	MERAH	Pengelasan, Pemotongan
Metan	MERAH	Pengelasan, Pemotongan
Nitrogen	ABU-ABU GELAP (LEHER HITAM)	T.A.G.S.
Oksigen	HITAM	Pengelasan, Pemotongan

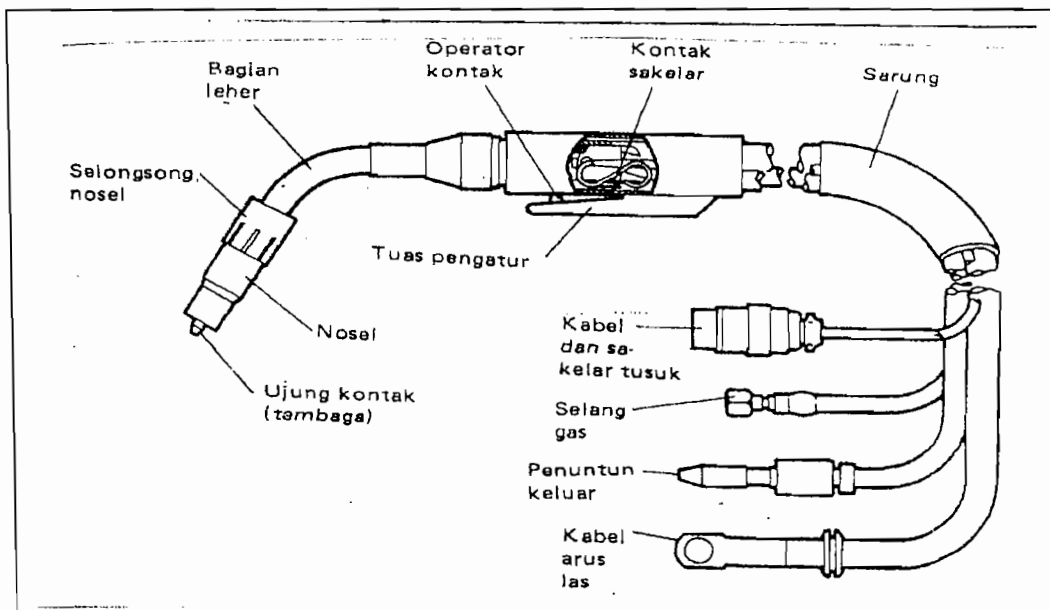
T.I.G. atau T.A.G.S. = Pengelasan dilindungi gas busur api tungsten
M.I.G. atau M.A.G.S. = Pengelasan dilindungi gas busur api logam
P.I.C. = Pemotongan plasma

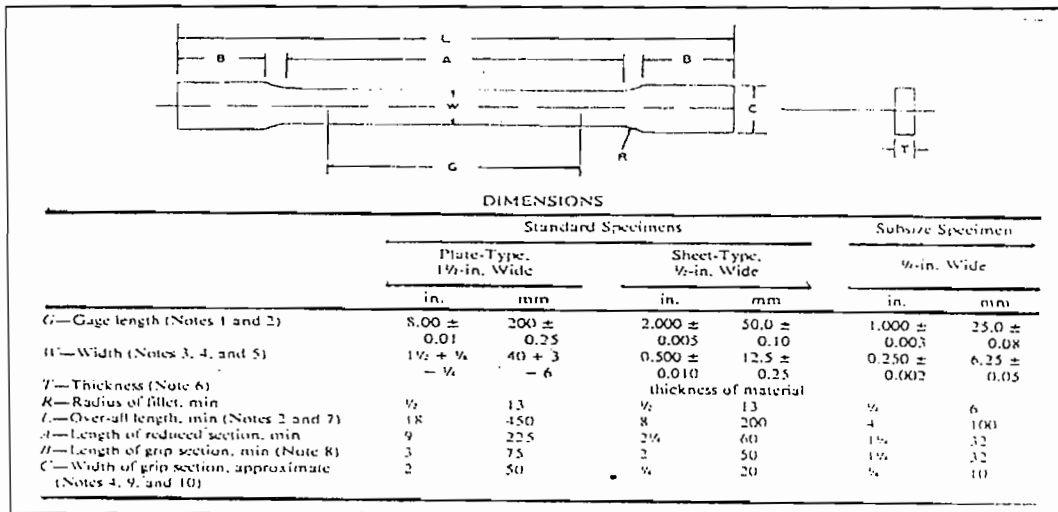
Beberapa campuran gas lainnya yang dipergunakan secara umum adalah sebagai berikut:

Gas	Warna Dasar Silinder	Warna Pita	Kegunaan
Argon + Karbon dioksida	BIRU	HIJAU	M.A.G.S.
Argon + Oksigen	BIRU	HITAM	T.A.G.S., M.A.G.S.
Argon + Oksigen	BIRU	HITAM	M.A.G.S.
Karbon dioksida + Argon	BIRU	HIJAU	M.A.G.S.
Hidrogen + Nitrogen	MERAH	ABU-ABU	P.I.C.
Argon + Nitrogen	BIRU	ABU-ABU	P.I.C.
Argon + Hidrogen	BIRU	MERAH	P.I.C.

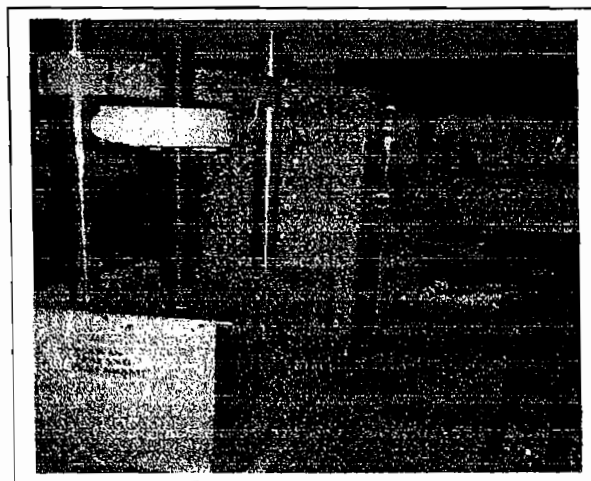
CATATAN PENTING Kode warna yang baru diperkenalkan dengan Kode ISO baru untuk selang-selang:
BIRU—Oksigen
MERAH—Gas Bahan Bakar (kecuali LPG)
HITAM—Udara dan Gas-gas yang Tidak Mampu Bakar
ORANYE—L.P.G. (propan dan butan)

Gambar 2 Suluh Leher Angsa Beban Ringan Las MIG
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, Hal 116)



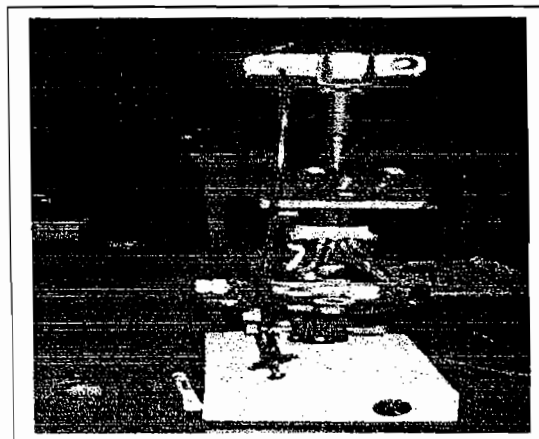


Gambar 3 Standart Spesimen ASTM



Gambar 4 Mesin Uji Tarik

(Sumber: Laboratorium Teknologi Mekanik, UST Akprind Yogyakarta)



Gambar 5 Mikroskop Metalografi

(Sumber: Laboratorium Ilmu Logam, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta)

COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : BESI COR – HARIWIDIYANTO – SANATA DHARMA
 FURNACE : JD2709A – 03 / 71
 OPERATOR : MARYADI
 Alloy : C1 Mode : PA 28 – Juni – 2005 Time 10 : 33

Burn 1

Fe	92.80	C	3.529	Si	2.015	Mn	0.808	P>	0.094
S>	0.074	Ni	0.070	Cr	0.087	Mo	0.048	Cu	0.178
Mg	0.000	V	0.013	Ti	0.014	Nb<	0.004	Al	0.024
W	0.016								

Burn 2

Fe	92.91	C	3.462	Si	2.024	Mn	0.783	P>	0.094
S>	0.074	Ni	0.071	Cr	0.086	Mo	0.047	Cu	0.178
Mg<	0.000	V	0.013	Ti	0.013	Nb<	0.004	Al	0.024
W	0.015								

Burn 3

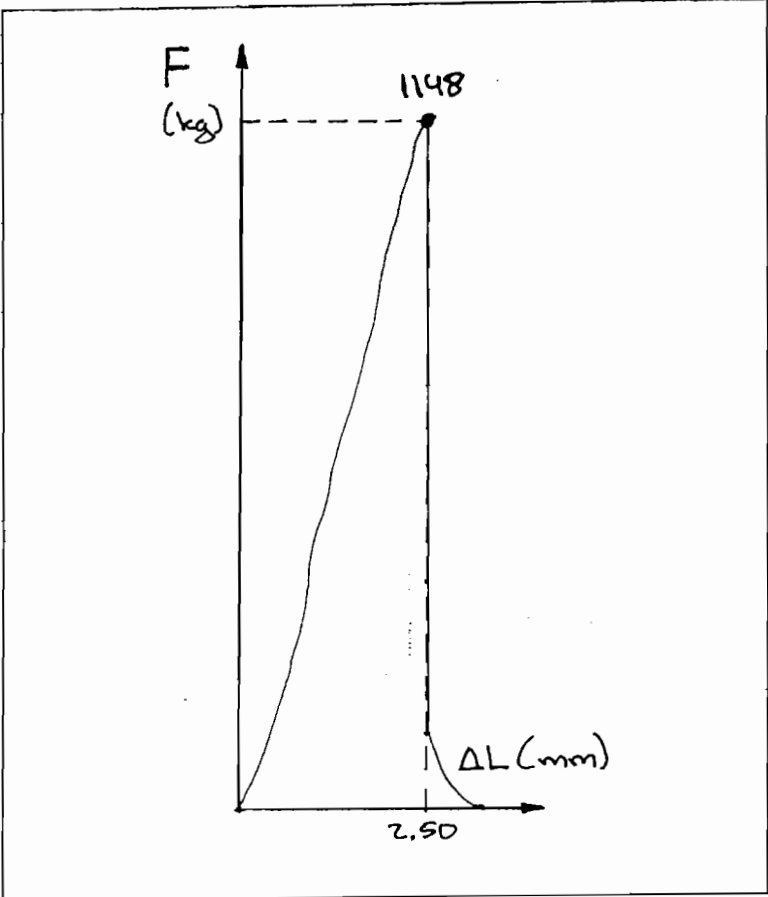
Fe	92.92	C	3.428	Si	2.027	Mn	0.791	P>	0.094
S>	0.074	Ni	0.070	Cr	0.086	Mo	0.048	Cu	0.177
Mg	0.000	V	0.013	Ti	0.013	Nb<	0.004	Al	0.023
W	0.015								

Average

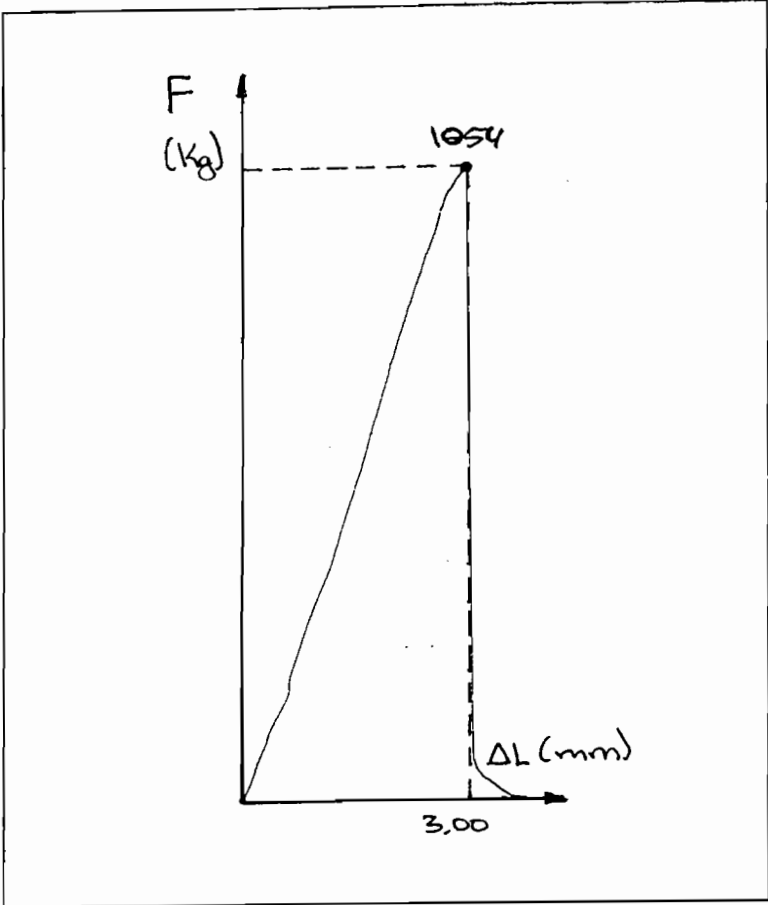
Fe	92.88	C	3.473	Si	2.022	Mn	0.794	P>	0.094
S>	0.074	Ni	0.070	Cr	0.086	Mo	0.048	Cu	0.178
Mg	0.000	V	0.013	Ti	0.013	Nb<	0.004	Al	0.023
W	0.015								



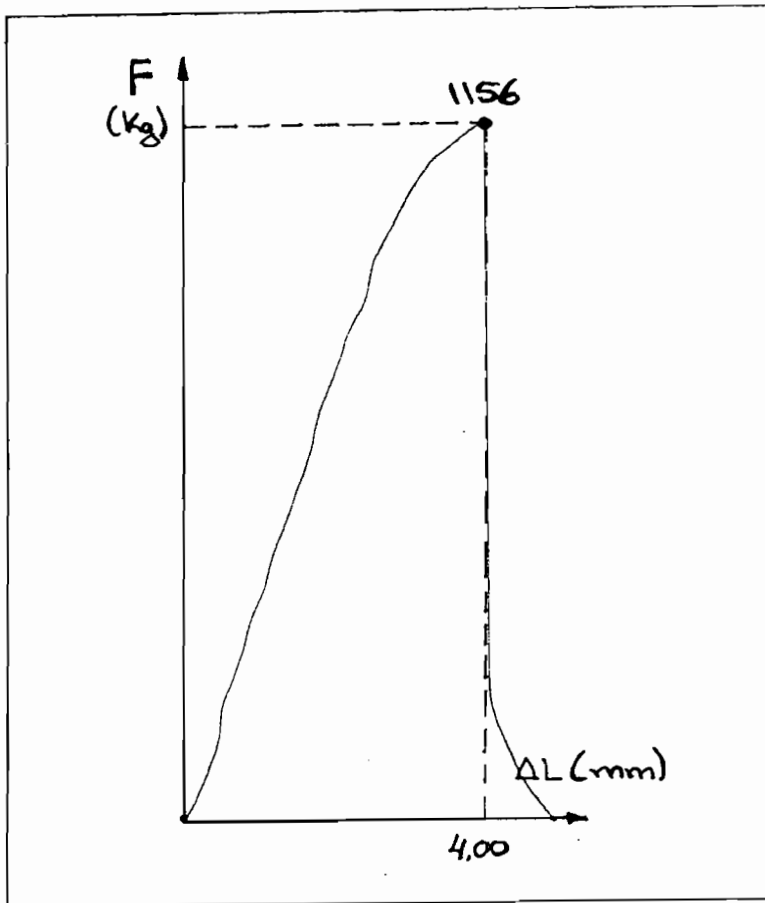
Gambar 6 Grafik Uji Tarik Spesimen tanpa Sambungan Las (mula-mula)



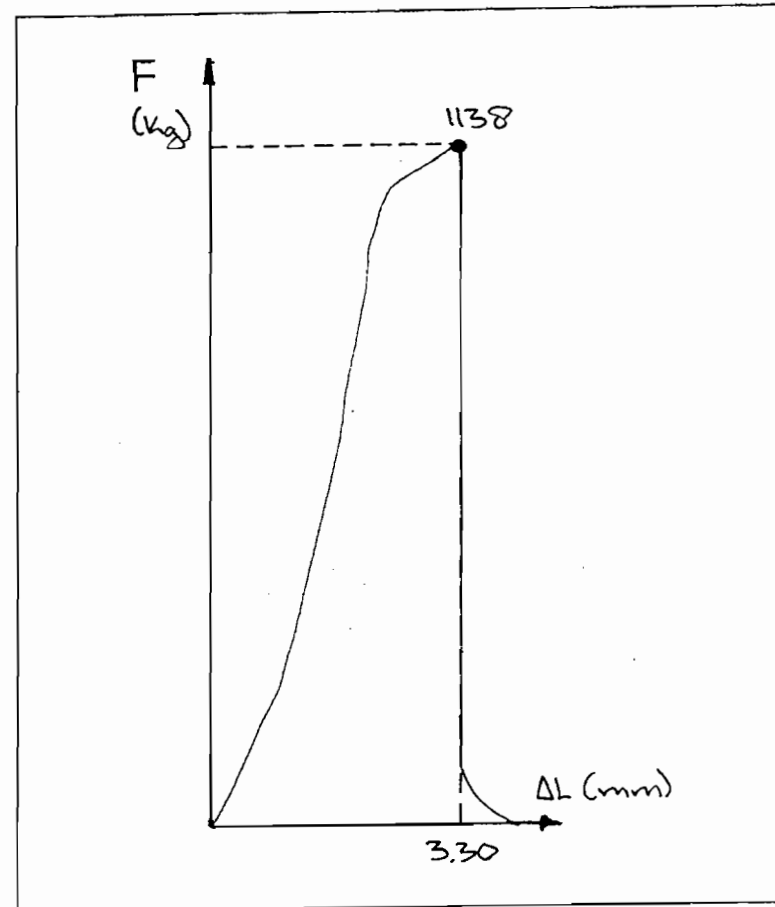
Spesimen mula-mula 1



Spesimen mula-mula 2

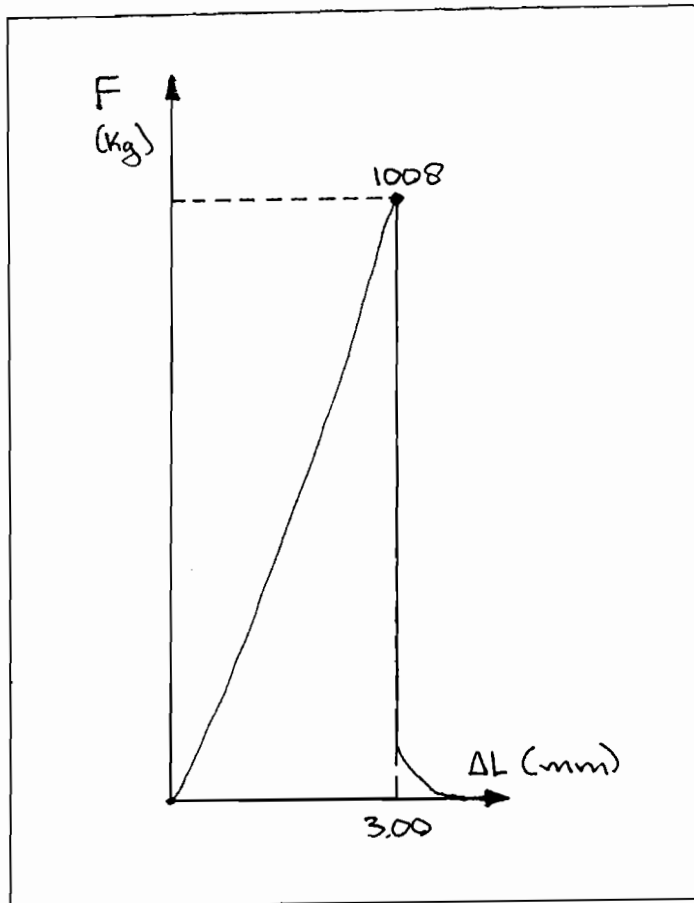


Spesimen mula-mula 3

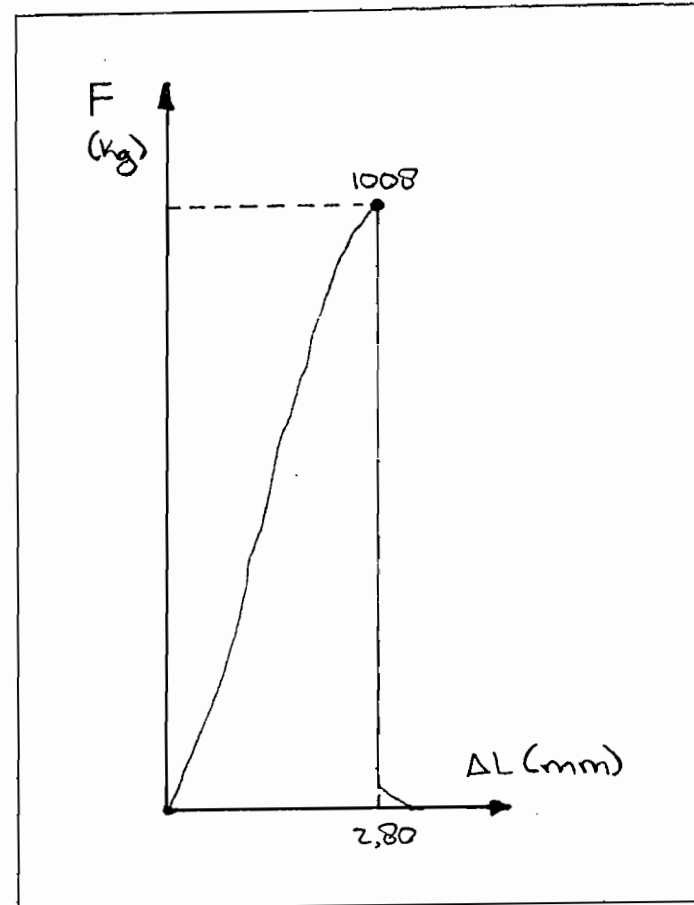


Spesimen mula-mula 4

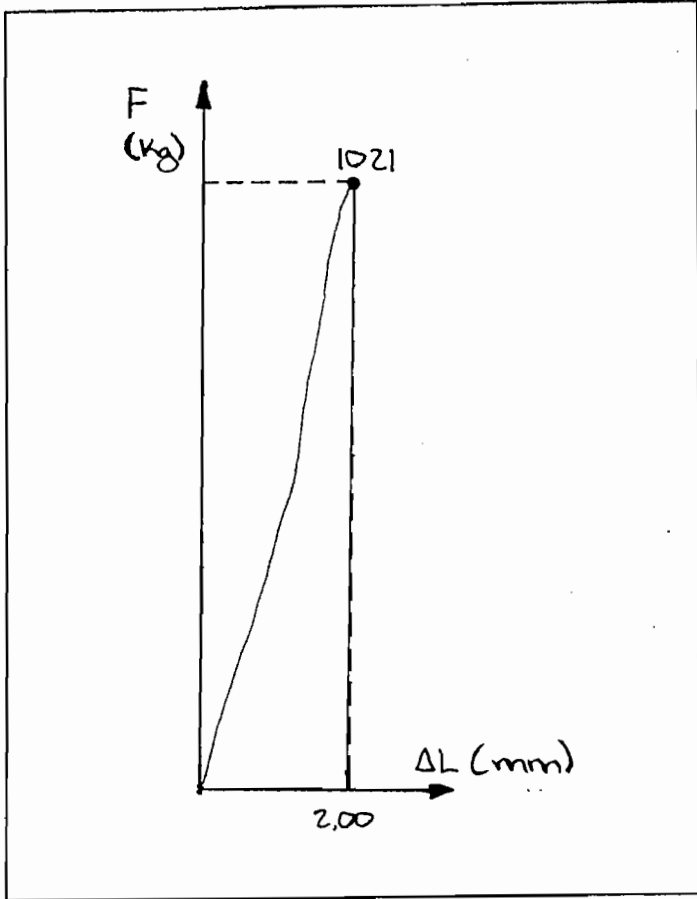
Gambar 7 Grafik Uji Tarik Spesimen Las Asetilin



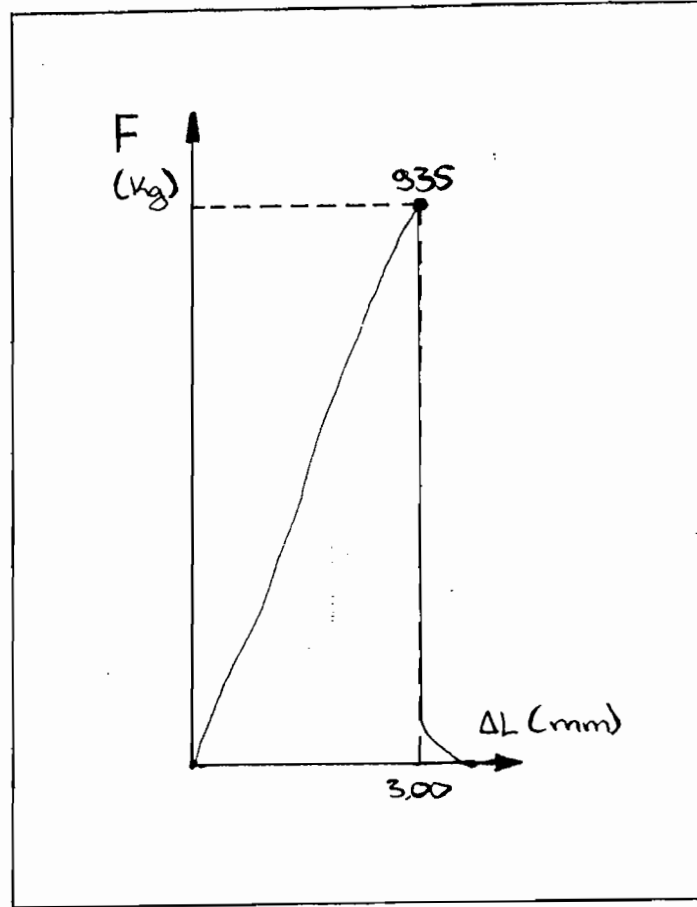
Spesimen las Asetilin 1



Spesimen Las Asetilin 2

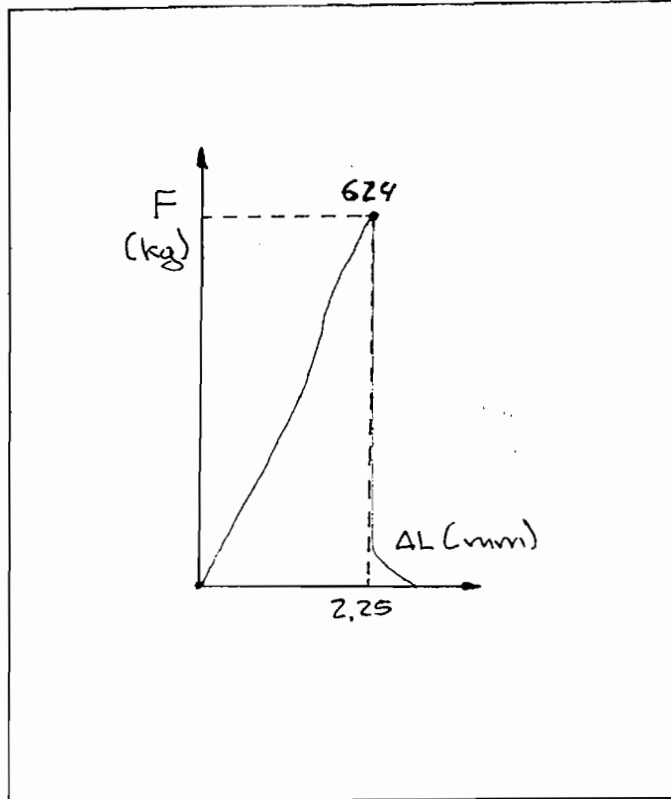


Spesimen las Asetilin 3

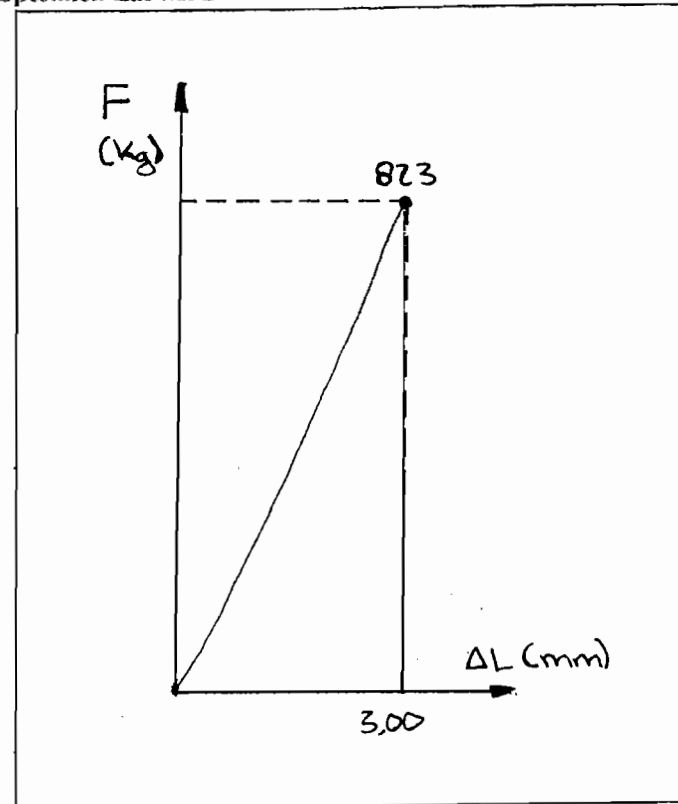


Spesimen Las Asetilin 4

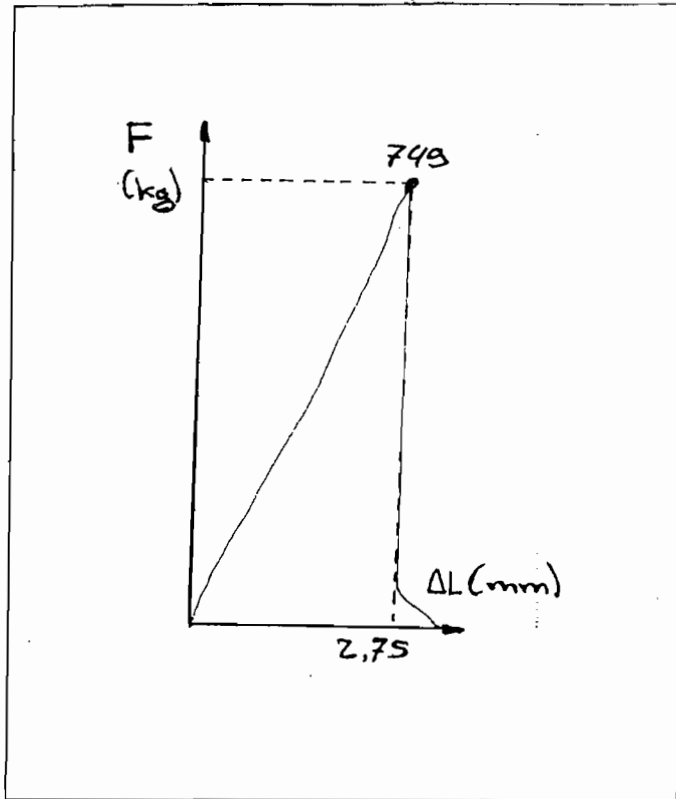
Gambar 8 Grafik Uji Tarik Spesimen Las MIG



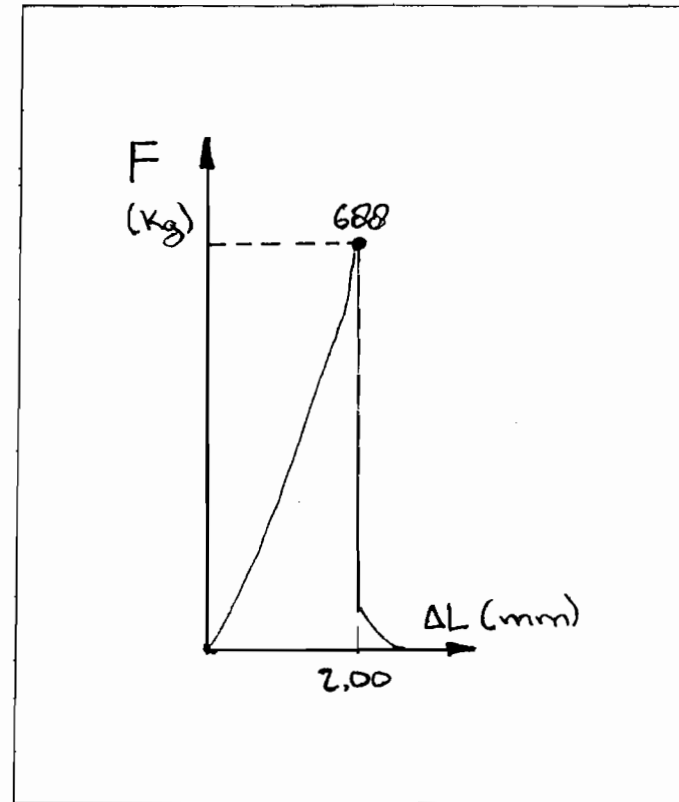
Spesimen Las MIG 1



Spesimen Las MIG 2

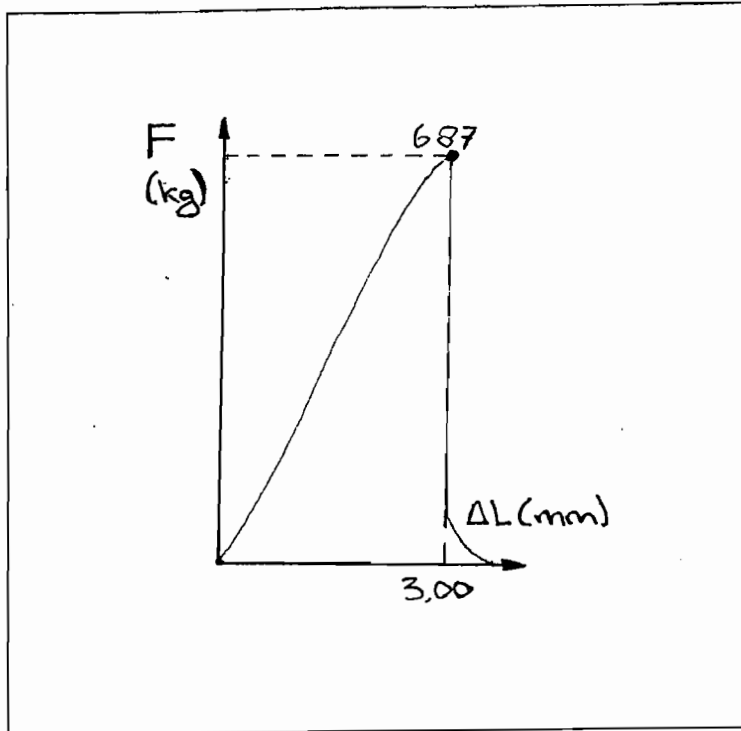


Spesimen Las MIG 3

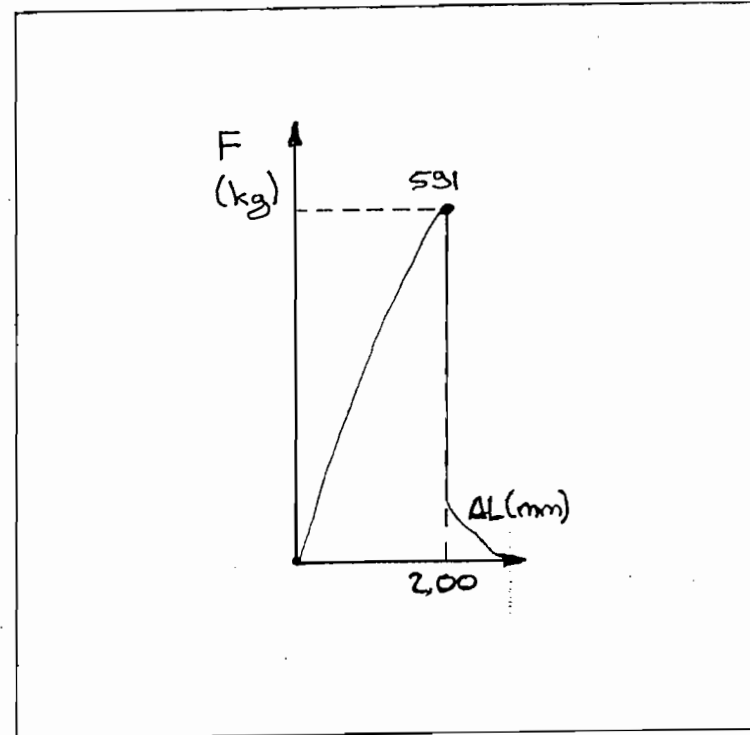


Spesimen Las MIG 4

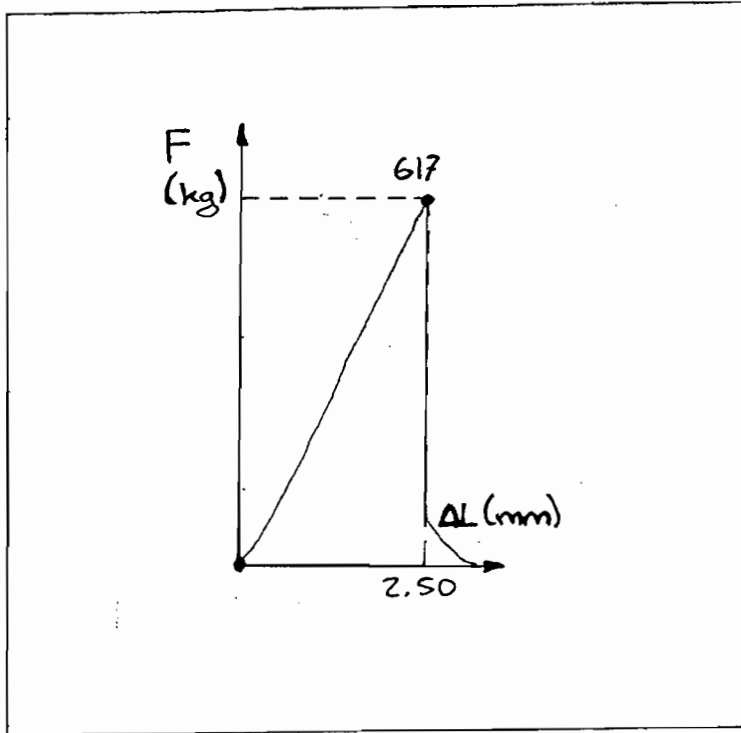
Gambar 9 Grafik Uji Tarik Spesimen Las TIG



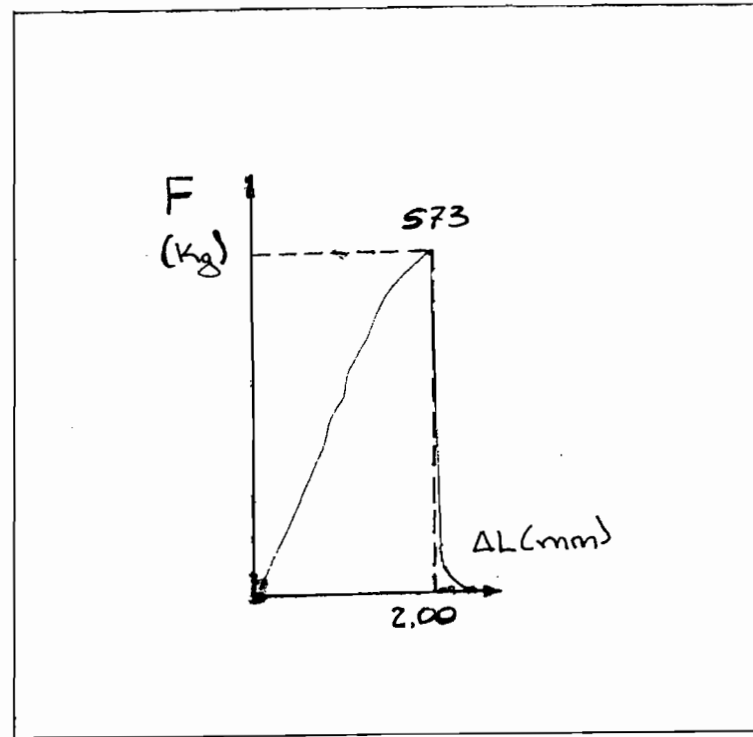
Spesimen Las TIG 1



Spesimen Las TIG 2



Spesimen Las TIG 3



Spesimen Las TIG 4

DATE : 21.10.05 LOT NO : 1
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1148 15.69
BREAK : 1148 15.69

AVERAGE
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1148 15.69
BREAK : 1148 15.69

DATE : 21.10.05 LOT NO : 2
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 51.80 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1054 14.36
BREAK : 1045 14.23

AVERAGE
AREA : 51.80 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1054 14.36
BREAK : 1045 14.23

DATE : 21.10.05 LOT NO : 3
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1156 14.95
BREAK : 1127 14.76

AVERAGE
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1156 14.95
BREAK : 1127 14.76

DATE : 21.10.05 LOT NO : 4
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1138 14.87
BREAK : 1108 14.09

AVERAGE
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1138 14.87
BREAK : 1108 14.09

DATE : 21.10.05 LOT NO : 5
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1008 13.23
BREAK : 1008 13.23

AVERAGE
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1008 13.23
BREAK : 1008 13.23

DATE : 21.10.05 LOT NO : 6
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 51.60 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1008 13.35
BREAK : 1002 13.09

AVERAGE
AREA : 51.60 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1008 13.35
BREAK : 1002 13.09

DATE : 21.10.05 LOT NO : 7
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 51.60 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1021 13.89
BREAK : 973 13.03

AVERAGE
AREA : 51.60 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 1021 13.89
BREAK : 973 13.03

DATE : 21.10.05 LOT NO : 8
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 51.40 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 935 16.57
BREAK : 905 16.35

AVERAGE
AREA : 51.40 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 935 16.57
BREAK : 905 16.35

DATE : 21.10.05 LOT NO : 9
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 51.80 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 624 9.24
BREAK : 605 9.13

AVERAGE
AREA : 51.80 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 624 9.24
BREAK : 605 9.13

DATE : 21.10.05 LOT NO : 10
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 823 12.68
BREAK : 823 12.68

AVERAGE
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 823 12.68
BREAK : 823 12.68

DATE : 21.10.05 LOT NO : 11
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 51.60 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 749 10.64
BREAK : 719 10.29

AVERAGE
AREA : 51.60 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 749 10.64
BREAK : 719 10.29

DATE : 21.10.05 LOT NO : 12
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 688 9.95
BREAK : 665 9.72

AVERAGE
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 688 9.95
BREAK : 665 9.72

DATE : 21.10.05 LOT NO : 13
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 687 9.79
BREAK : 687 9.79

AVERAGE
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 687 9.79
BREAK : 687 9.79

DATE : 21.10.05 LOT NO : 14
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 51.20 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 591 8.67
BREAK : 591 8.67

AVERAGE
AREA : 51.20 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 591 8.67
BREAK : 591 8.67

DATE : 21.10.05 LOT NO : 15
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 51.80 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 617 9.43
BREAK : 617 9.43

AVERAGE
AREA : 51.80 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 617 9.43
BREAK : 617 9.43

DATE : 21.10.05 LOT NO : 16
MAX LOAD : 10000. KG

TEST NO : 1
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 573 6.54
BREAK : 573 6.54

AVERAGE
AREA : 52.00 MM2
FORCE (KG) STRESS (KG / MM2)
PEAK : 573 6.54
BREAK : 573 6.54



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 : 559 / TA / FT-USD / TM Agustus/ 2005

Nama : Yosef Hariwidayanto
NIM : 005214084
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma Yogyakarta

Judul :

Selidiki Pengaruh Berbagai-macam Las pada Besi Cor Kelabu.

Tanggal dimulai : 15 Agustus 2005

Pembimbing II

Yogyakarta, 3 Agustus 2005

Pembimbing I

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



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

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA

YOGYAKARTA

Nomor : /FT.USD/TM/ 2004

Diberikan kepada :

NAMA

Yosep Hariwidianto

NIM

985214075

NIRM

980051123109120075

Judul: naskah soal


"
selidiki pengaruh bermacam-macam las pada
besi cor kelabu

Tanggal dimulai

Yogyakarta, Agustus 2004.

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing Utama


(Budi Setyabandana)

MAHASISWA DIMOHON UNTUK SEGERA
MENGUMPULKAN BLANKO INI
DI SEKRETARIAT JURUSAN
(UNTUK MENDAPATKAN NOMOR SOAL TGA)



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 TUGAS AKHIR

Telah diselenggarakan Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta


Nama : Yosef Hariwidiyanto
NIM : 985214075
Prog. Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
Judul TA :

Pengaruh Las Astelin, MIG dan TIG terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro besi carbon kelabu

Hari, tgl : Kamis, 05 Januari 2005
Tempat : K. 2.05
Pukul : 09.00 WIB

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

Dihadiri Dosen :

1.	Budi Setyahandana, S.T, M.T.	Tanda Tangan	
2.		Tanda Tangan	
3.		Tanda Tangan	
4.		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 TUGAS AKHIR JURUSAN TEKNIK MESIN FT USD

Nama : Yosef Hariwidianto
NIM : 985214075
Prog. Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
Judul TA :

Pengaruh Las Astelin, MIG dan TIG terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro besi carbon kelabu

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

Pemb II :

NO	NIM	Nama	Tanda Tangan
1	98-94	E. Parjo urdosto	
2	97-010	Sandi	
3	98-003	Yulius Torohantolo	
4	98-006	CORNELIUS ARI BUDIHARSA	
5	98-032	r. Hanstyalca Pudyantara	
6	98-098	Wulstiono	
7	98-022	Eko P	
8	98-031	Calyo Y	
9	00-105	F. Karna Aji W	
10	97-046	Liqqit. N.	
11	00-079	Heriadi Dedet	
12	98-053	Rony Prabawo Wiyanto	
11	00-000	A. N. .	



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 : 30 Januari 2006

NAMA Mhs. : Yosep Hariwidiyanto

NIM : 985214075

JUDUL :

Pengaruh las asetilin, MIG dan TIG terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro besi cor kelabu.

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

- ad
- pada kotak sambungan las asetilin dan Mig di beri tanda panah ke bawah - &
 - las penggabungan (fusion welding) .
 - las bakam penggabungan (non - fusion welding) &
 - 62. perhitungannya menggunakan persen dihilangkan & Daftar Pustaka , spasi terlalu banyak . &