

**PENGARUH POLA PEMBANGKITAN MEDAN MAGNET
SOLENOIDA TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN
IMPAK PADA PENGELASAN BAJA St37 DENGAN EMS45**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi
Diajukan guna memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh :

MOHAMMAD IRWAN HAMBALI
NIM. 0210623048-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007

**PENGARUH POLA PEMBANGKITAN MEDAN MAGNET
SOLENOIDA TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN
IMPAK PADA PENGELASAN BAJA St37 DENGAN EMS45**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi
Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

MOHAMMAD IRWAN HAMBALI
NIM. 0210623048-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Winarno Yahdi Atmodjo. MT
NIP. 131 280 655

Sugiarto, ST., MT
NIP. 132 137 966

**PENGARUH POLA PEMBANGKITAN MEDAN MAGNET
SOLENOIDA TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN
IMPAK PADA PENGELASAN BAJA St37 DENGAN EMS45**

Disusun oleh :

**MOHAMMAD IRWAN HAMBALI
NIM. 0210623048-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 31 Juli 2007

DOSEN PENGUJI

SKRIPSI I

SKRIPSI II

Ir. Wardi Kasim. MT
NIP. 130 531 844

Ir. Djoko Sutikno. M.Eng
NIP. 131 276 249

Komprehensif

Ir. Masduki. MM
NIP. 130 350 754

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi. ST., MT
NIP. 132 159 708

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah saya ucapkan kehadiran Allah Subhaanahu Wata'ala atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul **“Pengaruh Pola Pembangkitan Medan Magnet Solenoida Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Impak Pada Pengelasan Baja St37 Dengan EMS45 ”** dapat terselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Ir. Imam Zaky. selaku Dekan fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Bapak Dr. Slamet Wahyudi. ST., MT, selaku Ketua Jurusan Mesin
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc, selaku Sekretaris Jurusan Mesin
4. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin
5. Bapak Ir. Winarno Yahdi Atmojo, MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan saran dalam menyusun skripsi ini
6. Bapak Sugiarto,S.T., MT, selaku Dosen Pembimbing II yang juga telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan saran dalam menyusun skripsi ini
7. Seluruh staf pengajar dan staf administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (bu hermin, pak yoyok, mas heru, pak kus, thanks for all)
8. Terima kasih tak terhingga kepada kedua orang tua saya (**Ayahanda H. Asrowi Sahlan & Ibunda Hj. Istiqomah**) yang telah banyak berdo'a dan memberikan dukungan yang tak ternilai bagi diri saya, yang mampu membangkitkan semangat ketika aku rapuh dan bimbang.
9. Saudara-saudaraku tercinta (**Nahdiyah Hidayati. S.ag, Mochammad Iqbal.ST, Mochammad Irza Ghozali. A.md. ST**) kalian adalah orang-orang hebat yang telah banyak memberikan dukungan, dan arti dalam hidup ini
10. Spesial buat seseorang yang pernah memberikan cahaya *“Noer”* dalam hati, sampai kapanpun *“Noer”* itu akan tetap bercahaya di relung hati ini.
11. Keluarga tante Eva dan om Dwi Permana (juga Aa Adam dan adek aisyawa) yang selalu mendukung cita-cita dan keinginan saya agar tercapai. *i love you all...*Semoga jalinan silaturahmi kita tidak akan putus sampai kapanpun jua.

12. Teman seperjuanganku dalam *"welding project"*, **Bahrul Anwar, ST., Hery "G.A.M" Juansyah. ST., Aris "Napi" pribadi. ST., Sasmita "Brutus" Ajie. ST.**, atas seluruh kebersamaan dan kerjasama yang diberikan selama ini. *Spesial Thanks to my welding project partner, Yanuar Wakhid S. "siwer".ST* Mesin 2001 atas diskusi malemnya mulai H-7 hingga H-1 sebelum aku maju kompre
13. My sweet apartment Tapak Doro¹⁴, yang telah memberiku tempat terindah meski hanya sesaat, spesial buat teman sekamarku Tulus *"kaskus"* Gunawan yang selalu menemani tidurku tiap malam, teman berbagi cerita dan lainnya (*Thanks bro...nTargue pinjem BMW nya yach..?hehe..*). Juga buat Hendy, TopeNk, Bams and N-arrow. *U're my best friend...Ayo Nandang cepet Lulus*
14. Teman-teman seperjuangan di apartemen Remujung indah dulu.(c-PeNk, B!eNk, roSSa *"jelendhu"*, Dadang *"enthis"* ST, cak Ruby, Top-1, B-Joel, Indra), ayo cepet lulus ojo *"enthis"* and NgGame tok ae..!!
15. Seluruh keluarga besar Mesin *"Oxygen"* 2002 atas persahabatan dan kekompakan selama ini (Jack, viri, ebek *"cilacap"*, catur *"sekak"*, Nafi, Wawok, Miftakul *"pak cik"*(*ayo liburan ke Malaysia pak cik*), ephan, Dayat, Gerry, Pak Lek, Beckantan, Rici, Prima, Aripin *"ipin"*, su-MAEL.ST, Aneng Wicaksono, Rasfan (*kapan ke pamulang lagi raf..??*) dan semua teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Salam **BIRU ABANG Arek Mesin...!!**
16. Semua pihak yang telah memberikan dorongan, semangat, dan do'a dalam penyelesaian skripsi ini yang tak bisa disebutkan penulis satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna karena kesempurnaan hanyalah milik *"Sang Maha Sempurna"*, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pihak lain yang tertarik untuk mengembangkannya.

Malang, Agustus 2007

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR SIMBOL	x
RINGKASAN	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2. Pengelasan Logam	5
2.2.1. Definisi dan klasifikasi Pengelasan	5
2.2.2. Las MIG (<i>Metal Inert Gas</i>).....	6
2.3. Pengelasan Baja Karbon	9
2.3.1. Klasifikasi baja karbon	9
2.3.2. Pengelasan baja karbon rendah.....	10
2.3.3. Pengelasan baja karbon sedang dan tinggi	10
2.4. Klasifikasi Sambungan Las	10
2.5. Berbagai Posisi Pengelasan	10
2.6. <i>Carbon Equivalent</i> Pada Baja.....	11
2.7. Konveksi Pada <i>Weld Pool</i>	12
2.8. Pengaruh Konveksi Pada Pengelasan	16
2.8.1. Pengaruh konveksi terhadap penetrasi.....	16
2.8.2. Pengaruh konveksi terhadap segregasi	17
2.8.3. Pengaruh konveksi terhadap porositas.....	17

2.9. Medan Magnet Solenoda	18
2.10. Pengujian Kekerasan.....	20
2.11. Pengujian Impak	20
2.12. Hipotesa	23

BAB III. METODE PENELITIAN..... 24

3.1. Metode Penelitian	24
3.2. Tampak dan Waktu Penelitian.....	24
3.2.1. Tempat penelitian	24
3.2.2. Waktu penelitian.....	24
3.3. Alat dan Bahan Yang Digunakan	24
3.3.1. Alat yang digunakan	24
3.3.2. Bahan yang digunakan.....	27
3.4. Variabel Penelitian.....	27
3.4.1. Variabel bebas.....	27
3.4.2. Variabel terikat	28
3.4.2. Variabel terkontrol.....	28
3.5. Bentuk dan Dimensi Spesimen Pengelasan.....	29
3.6. Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji Mikrostruktur dan Uji Kekerasan.....	29
3.7. Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji Impak.....	29
3.8. Instalasi Alat Penelitian	30
3.9. Prosedur Penelitian	30
3.9.1. Prosedur pengambilan data induksi magnet.....	30
3.9.2. Prosedur proses pengelasan	31
3.9.3. Prosedur pengujian dan pengambilan foto mikro dan uji kekerasan	31
3.9.4. Prosedur pengujian dan pengambilan data kekuatan impak.....	32
3.9.5. Pengambilan data pengujian impak.....	32
3.10. Diagram Alir Penelitian.....	33

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... 35

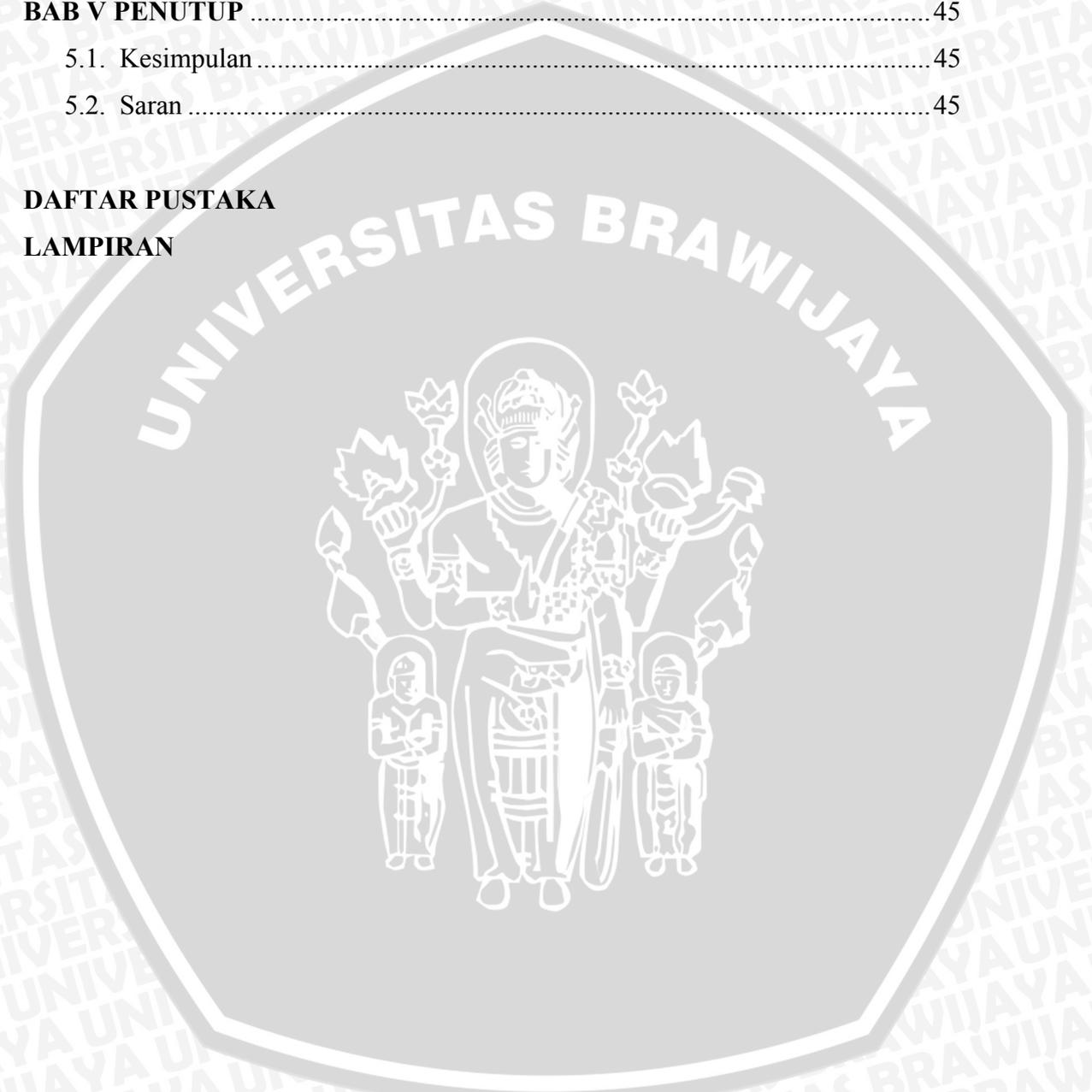
4.1. Nilai <i>Carbon Equivalent</i>	35
4.2. Pengujian Kekerasan.....	36
4.2.1. Data kekerasan.....	36



4.2.2. Analisa grafik kekerasan rata-rata	36
4.3. Pengujian Impak	39
4.3.1. Data dan pengolahan data uji impak	39
4.3.2. Analisa grafik kekuatan impak rata-rata	40
BAB V PENUTUP	45
5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran	45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Klasifikasi baja karbon	9
Tabel 2.2.	Nilai permeabilitas relatif beberapa material	19
Tabel 3.1.	Kandungan unsur kimia St37	27
Tabel 3.2.	Kandungan unsur kimia EMS45	27
Tabel 3.3.	Rancangan tabel data pengujian impak	32
Tabel 4.1.	Kandungan unsur kimia kedua logam induk	35
Tabel 4.2.	Data pengujian kekerasan	36
Tabel 4.3.	Data besar sudut α dan β pada pengujian impak	39
Tabel 4.4.	Data perhitungan kekuatan impak	40
Tabel 4.5.	Data besar energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen impak	40



DAFTAR GAMBAR

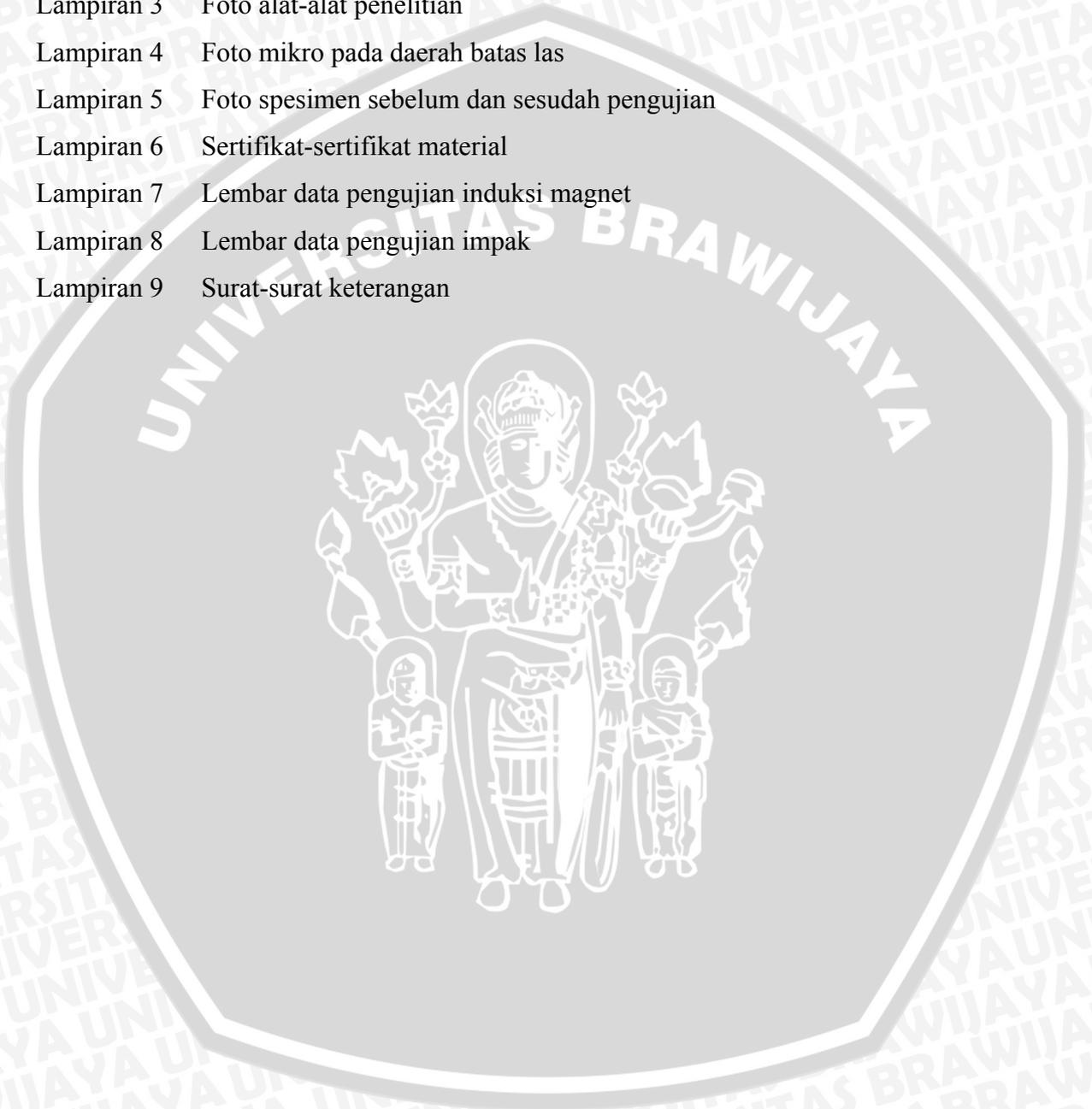
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	a) Gambar pola pembangkitan <i>magneto-fluid dynamics system</i>	4
	b) Arah gaya medan magnet	4
Gambar 2.2.	Klasifikasi proses pengelasan	5
Gambar 2.3.	Pemindahan sembur pada las MIG	6
Gambar 2.4.	Pengaruh perubahan arus terhadap ukuran dan frekwensi	7
Gambar 2.5.	Hubungan antara arus kritik dan diameter kawat	7
Gambar 2.6.	Pengaruh gas pelindung terhadap penetrasi	8
Gambar 2.7.	Mesin las MIG semi – otomatis	8
Gambar 2.8.	Pemindahan logam dan bentuk gelombang arus pada las busur pulsa	9
Gambar 2.9.	Jenis-jenis sambungan dasar	10
Gambar 2.10.	Berbagai posisi pengelasan	11
Gambar 2.11.	Sirkulasi logam cair akibat gaya <i>bouyancy</i>	13
Gambar 2.12.	Tegangan permukaan logam cair dan sirkulasi yang terjadi	14
Gambar 2.13.	Arus konveksi karena pengaruh gaya elektromagnetik	15
Gambar 2.14.	Penetrasi yang ditimbulkan gaya elektromagnetik	15
Gambar 2.15.	Pengaruh peningkatan konveksi terhadap nilai efektif konduktifitas termal logam las cair	16
Gambar 2.16.	Efek konveksi terhadap porositas	18
Gambar 2.17.	Arah garis medan magnet dalam solenoida	18
Gambar 2.18.	Skema pengujian impak dengan metode <i>charpy</i>	21
Gambar 2.19.	Skema pengujian impak dengan metode pukul takik	22
Gambar 3.1.	pola pembangkitan arus medan magnet	28
Gambar 3.2.	Bentuk dan dimensi benda kerja	29
Gambar 3.3.	Spesimen uji mikro struktur dan uji kekerasan pada <i>weld pool</i>	29
Gambar 3.4.	Spesimen uji impak berdasarkan standar ASTM /A.360	29
Gambar 3.5.	Instalasi pengelasan	30
Gambar 4.1.	Perbandingan kekerasan rata-rata berbagai pola	

	pembangkitan medan magnet	37
Gambar 4.2.	foto mikro pada daerah batas las	38
Gambar 4.3.	Perbandingan kekuatan impak pada berbagai pola pembangkitan medan magnet	41
Gambar 4.4.	Patahan spesimen setelah uji impak	43



DAFTAR LAMPIRAN

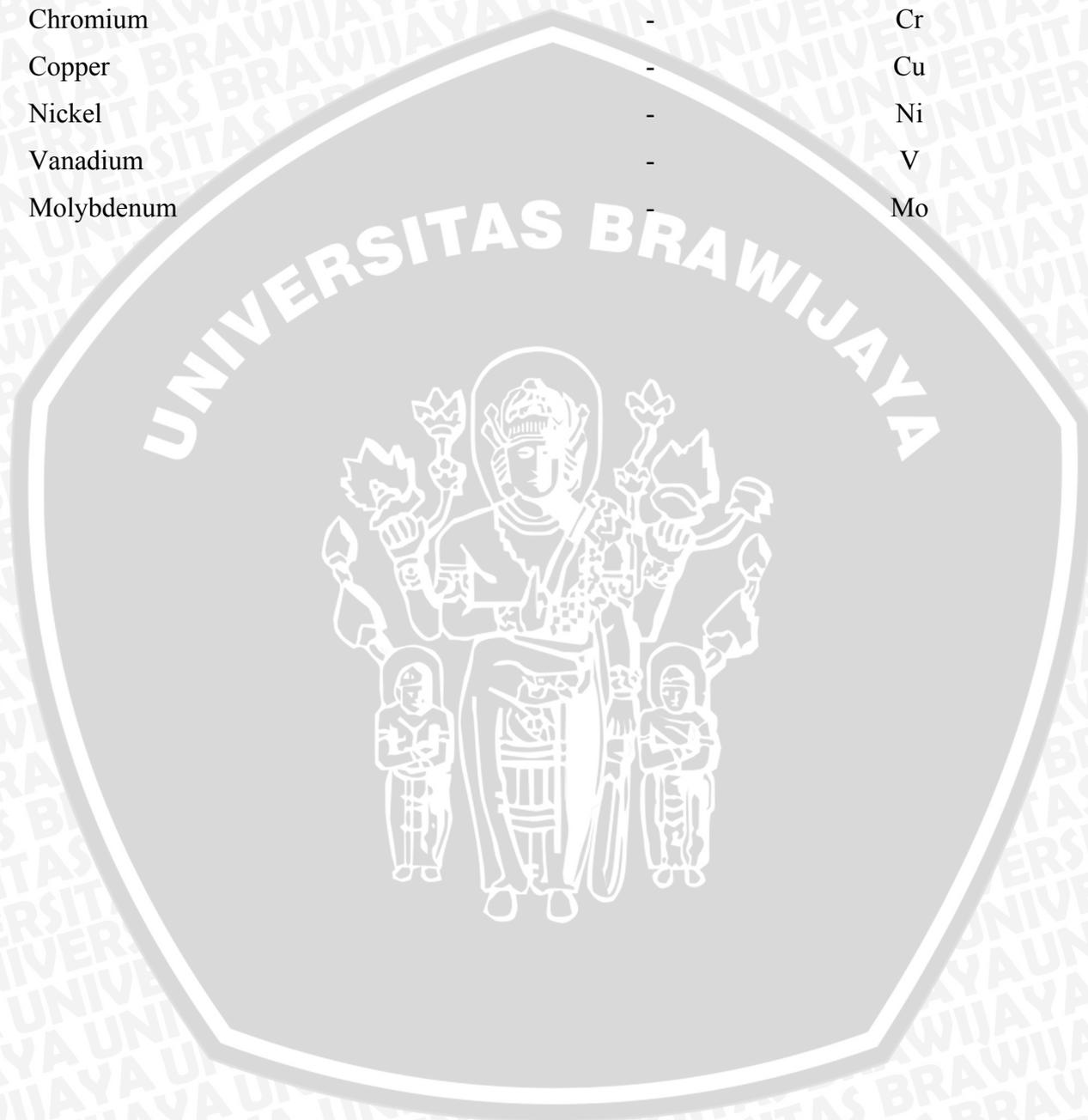
No.	Judul
Lampiran 1	Foto instalasi penelitian
Lampiran 2	Foto kegiatan penelitian
Lampiran 3	Foto alat-alat penelitian
Lampiran 4	Foto mikro pada daerah batas las
Lampiran 5	Foto spesimen sebelum dan sesudah pengujian
Lampiran 6	Sertifikat-sertifikat material
Lampiran 7	Lembar data pengujian induksi magnet
Lampiran 8	Lembar data pengujian impak
Lampiran 9	Surat-surat keterangan



DAFTAR SIMBOL

Keterangan simbol	Satuan	Simbol
Arus listrik	Ampere	I
Rapat arus	-	J
Induksi medan magnet	Tesla = 1 N/A.m	B
Jumlah lilitan	-	N
Kuat medan magnet	-	H
Permeabilitas magnetik	$\text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$	μ
Densitas	kg/m^3	ρ
Gaya	N	F
Induksi magnet	Tesla	B
Kecepatan	m/s	V
Luas area	m^2	A
Massa	kg	m
Muatan listrik	Coulomb	q
Panjang	m	l
Jari - jari	m	r
Percepatan gravitasi	m/s^2	g
Suhu celcius	$^{\circ}\text{C}$	T
Gradien temperatur	-	VT
Tegangan permukaan logam cair	-	γ
Tegangan	Pascal	σ
Tegangan listrik	Volt	V
Waktu	s	t
Energi Impak	Joule	E_i
Gesekan	-	f
Radius lintasan pendulum	-	R
Berat pendulum	-	G
<i>Carbon Equivalent</i>	-	C_{equiv}
Silisium	-	Si
Oxygen	-	O

Sulfur	-	S
Selenium	-	Se
Tellurium	-	Te
Carbon	-	C
Manganese	-	Mn
Chromium	-	Cr
Copper	-	Cu
Nickel	-	Ni
Vanadium	-	V
Molybdenum	-	Mo



RINGKASAN

MOHAMMAD IRWAN HAMBALI, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2007, *Pengaruh Pola Pembangkitan Medan Magnet Solenoida Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Impak Pada Pengelasan Baja St37 Dengan EMS45*, Dosen Pembimbing: Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT. dan Sugiarto, ST.,MT.

Teknologi pengelasan sampai saat ini masih digunakan secara luas dalam metode penyambungan logam. Akan tetapi masih ada beberapa permasalahan yang sering timbul, mengingat sambungan las merupakan salah satu bagian yang rentan terhadap kegagalan mekanis. Permasalahan tersebut akan lebih besar lagi jika pengelasan dilakukan pada dua jenis baja yang memiliki kandungan karbon berbeda. Untuk memperoleh hasil pengelasan yang memiliki sifat mekanis sesuai dengan konstruksi yang direncanakan terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam proses pengelasan. Salah satu hal yang kemudian menjadi perhatian dalam teknologi pengelasan logam adalah pergerakan logam cair dan konveksi massa yang terjadi dalam kolam lasan. Konveksi yang terjadi pada kolam lasan dipengaruhi oleh beberapa gaya salah satunya adalah gaya elektromagnetik. Gaya elektromagnetik memegang peranan penting dalam merubah bentuk kolam las, dimana gaya ini memberi peranan cukup besar dalam meningkatkan homogenitas struktur pada daerah kolam las, yang mana hal ini berpengaruh pada sifat mekanis. Konveksi pada kolam lasan dapat ditingkatkan dengan menambahkan medan magnet secara eksternal.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimanakah pengaruh pola pembangkitan medan magnet terhadap kekerasan dan kekuatan impak pada pengelasan baja St37 dengan EMS45. Pengujian dilakukan secara eksperimental, yaitu membandingkan antara perlakuan dengan tanpa perlakuan. Pola pembangkitan yang digunakan yaitu pola I (hanya bahan EMS45 yang dialiri medan magnet), Pola II (hanya bahan St37 yang dialiri magnet), Pola III (kedua bahan dialiri magnet secara bersamaan), Pola IV (Kedua bahan dialiri magnet secara bergantian)

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa penambahan induksi magnet eksternal pada kolam las mempengaruhi laju konveksi yang terjadi dan hal ini mempengaruhi homogenitas kolam las. Perubahan pola pembangkitan medan magnet pada saat proses pengelasan mengakibatkan terjadinya perubahan pola konveksi pada kolam las tergantung dari arah gaya medan magnet yang dibangkitkan. Dengan semakin meningkatnya laju konveksi menyebabkan kekerasan menurun dan kekuatan impak meningkat akibat pendinginan lambat menyebabkan butiran tumbuh menjadi besar. Hal ini berarti material tersebut berubah menjadi material yang ulet.

Kata kunci : Medan magnet, kekerasan, kekuatan impak, pengelasan, konveksi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Untuk memperoleh sambungan logam hasil pengelasan yang memiliki sifat mekanik sesuai dengan konstruksi yang direncanakan terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam proses pengelasan. Dalam teknologi pengelasan sering kali terjadi suatu permasalahan yang menyebabkan terjadinya kegagalan mekanik. Kegagalan mekanik tersebut dikarenakan pada sambungan las dimungkinkan terjadi inhomogenitas pada *weld pool*, segregasi, dan tegangan sisa yang besar. Permasalahan tersebut lebih rumit lagi jika pengelasan dilakukan pada baja yang memiliki kandungan karbon yang berbeda. Hal ini dapat di temui pada konstruksi gerbong kereta api dimana pada gerbong kereta api tersebut terdapat pengelasan dua logam yang memiliki kandungan karbon berbeda yaitu pada dinding (*body*) gerbong kereta yang menggunakan SUS 304 dan rangka yang menggunakan SS400 (Leman dkk, 2003) dan itu semua berpotensi terhadap kegagalan mekanik. Proses pengelasan ini tentu lebih rumit dibandingkan dengan pengelasan satu jenis logam, sehingga dalam pelaksanaannya membutuhkan beberapa teknik tertentu, misalnya pemilihan logam yang akan disambung, pemilihan elektroda, pengaturan *heat input* sampai pada perlakuan panas pasca pengelasan dimana daerah sambungan atau kolam las (*weld pool*) memiliki karakteristik yang rumit karena terjadi penggabungan dua logam yang berbeda.

Salah satu hal yang kemudian menjadi perhatian dalam teknologi pengelasan logam adalah pergerakan logam cair dan arus konveksi dalam kolam lasan (*weld pool*) selama proses pengelasan berlangsung. Konveksi yang terjadi pada *weld pool* dipengaruhi oleh beberapa gaya antara lain gaya *Bouyancy* (dipengaruhi perbedaan temperatur dan densitas logam las cair), gaya tekan permukaan (gaya *marangoni*), dan konveksi akibat gaya elektromagnetik. Dari ketiga gaya yang bekerja tersebut ternyata gaya elektromagnetik memberi pengaruh paling dominan terhadap sirkulasi *weld pool* (Herrera, N.D., dkk, 2003). Hal ini diperkuat oleh pernyataan Messler, R.W., (1999; 298) dimana gaya elektromagnetik memberi peranan cukup besar dalam menentukan homogenitas struktur, *hydrogen porosity* dan terlarutnya unsur-unsur lain pada logam las yang tentunya berpengaruh pada kekuatan mekanik daerah las.

Laju konveksi pada *weld pool* dapat ditingkatkan dengan meningkatkan gaya aktivasinya, salah satunya adalah dengan cara memperbesar gaya elektromagnetik

melalui penambahan medan magnet disekitar daerah logam las cair (magnet eksternal). Peletakan medan magnet disekitar daerah lasan akan berpengaruh pada besar dan arah induksi magnetik (Kostov and Andonov, 2005).

Besar gaya elektromagnetik yang dibangkitkan bergantung pada besar arus yang diberikan, jumlah lilitan dan pola pembangkitan medan magnet. Oleh karenanya perlu dikaji lebih lanjut pengaruh pola pembangkitan medan magnet solenoida sehingga nantinya dapat mengatasi permasalahan yang sering dihadapi dalam proses pengelasan dan juga dapat memperbaiki sifat mekanik logam hasil lasan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti, yaitu: bagaimanakah pengaruh pola pembangkitan medan magnet terhadap kekerasan dan kekuatan impak pada pengelasan baja St37 dengan EMS45?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Posisi pengelasan yang digunakan *flat position*
2. Jenis sambungan las yang digunakan adalah *butt joint*
3. Jenis mesin las yang digunakan adalah MIG
4. Kecepatan pengelasan diasumsikan sama
5. Jumlah lilitan solenoida yang digunakan sebanyak 200 lilitan
6. Daerah pengujian kekerasan meliputi daerah HAZ EMS45, logam las dan HAZ St37.
7. Dimensi material dan variabel pengelasan lain dijaga konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pola pembangkitan medan magnet terhadap kekerasan dan kekuatan impak pada pengelasan baja St37 dengan EMS45, sehingga diperoleh sifat mekanis yang paling baik dari variasi pola pembangkitan medan magnet yang diteliti.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana.
2. Mampu menerapkan teori – teori yang didapatkan selama perkuliahan terutama berkenaan dengan teknologi pengelasan logam
3. Dapat digunakan sebagai informasi dalam rangka optimalisasi proses pengelasan

4. Dapat digunakan sebagai referensi awal untuk pengembangan penelitian lebih lanjut terutama tentang teknologi pengelasan

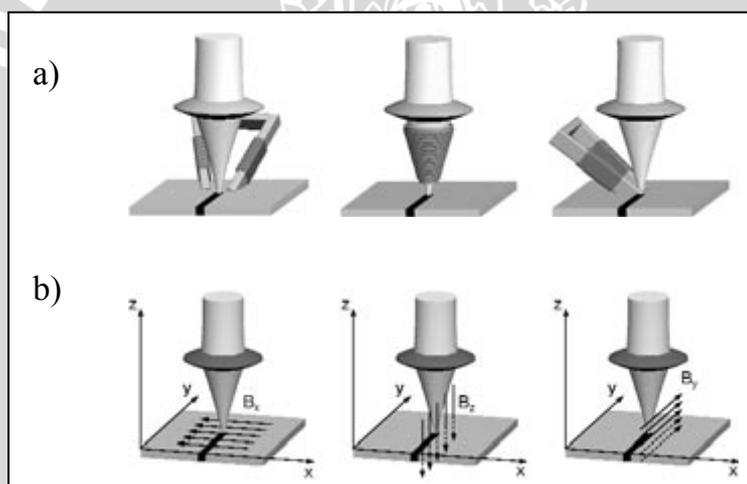


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Kern, M. *et al.* (2000) telah melakukan penelitian dengan judul “*Magneto-Fluid Dynamics Control of Seam Quality in CO₂ Laser Beam Welding*”. Penelitian dilakukan dengan menggunakan las sinar laser dan selama proses pengelasan dibangkitkan medan magnet eksternal dengan tiga arah orientasi yang berbeda dan diteliti pengaruhnya terhadap *weld pool*. Dalam penelitian tersebut didapatkan bahwa dengan penambahan mekanisme *magneto-fluid dynamics* pada *laser beam welding* memiliki efek yang sangat berarti dan efektif, karena dapat merubah kondisi aliran logam cair dan melakukan modifikasi terhadap distribusi kecepatan pada *weld pool*, sehingga akan dapat meningkatkan stabilitas proses. Pola pembangkitan *Magneto-Fluid Dynamics* tampak seperti gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1. a) Pola pembangkitan *magneto-fluid dynamics system*
b) Arah gaya medan magnet

Sumber : <http://www.aws.org>

Michael Hughes, *et al* (2000) telah melakukan penelitian yang berjudul “*Thermocapillary and Magnetohydrodynamics Effect in Modelling The Thermodynamics of Stationary Welding Processes*”. Dalam penelitian tersebut dilakukan pemodelan terhadap pola aliran logam cair dalam *weld pool* dengan memfokuskan pada 2 hal yaitu fluida dan termodinamika lokal pada *weld pool* dan kemungkinan untuk memodelkan perilaku *thermomechanical* pada struktur las. Pada penelitian tersebut didapatkan bahwa interaksi antara gaya *bouyancy*, *tensile surface* (gaya Marangoni) dan gaya elektromagnetik dapat terkombinasi untuk menghasilkan pola aliran yang kompleks. Pola aliran yang dihasilkan tergantung pada besar dan arah relatif dari gaya-gaya tersebut dan

dapat mempengaruhi bentuk baik daerah cair (*fusion zone*) maupun daerah pengaruh panas (HAZ).

2.2. Proses Pengelasan

2.2.1. Definisi dan Klasifikasi Pengelasan

Berdasarkan definisi dari DIN (*Deutsche Industrie Normen*), Las merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. (Wiryosumarto, 1994, 1).

Berdasarkan cara kerja, proses pengelasan dapat dibagi dalam 3 kelas utama yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian.

- Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
- Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
- Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang memiliki titik lebur rendah. Dalam cara ini logam induk tidak ikut mencair.

Adapun perincian lebih lanjut mengenai klasifikasi proses pengelasan dapat digambarkan dalam gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2. Klasifikasi proses pengelasan
Sumber: Wiryosumarto, 1994: 8

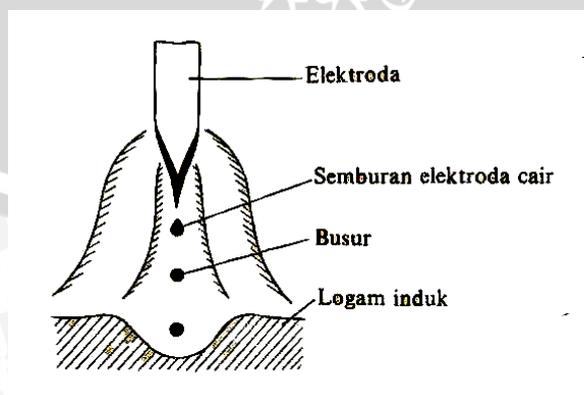
2.2.3. Las MIG (*Metal Inert Gas*)

Dalam las logam gas mulia, kawat las pengisi yang juga berfungsi sebagai elektroda diumpankan secara terus menerus. Busur listrik terjadi antara kawat pengisi dan logam induk. Skema dari las ini ditunjukkan dalam gambar 2.2. Gas pelindung yang digunakan adalah gas argon, helium atau campuran dari keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas O₂ antara 2 sampai 5% atau CO₂ antara 5 sampai 20%. Dalam banyak hal penggunaan las MIG sangat menguntungkan. Hal ini disebabkan karena sifat-sifatnya yang baik, misalnya :

1. Karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat mantap dan percikannya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasan.
2. Karena dapat menggunakan arus yang tinggi maka kecepatannya juga sangat tinggi, sehingga efisiensinya sangat baik.
3. Terak yang terbentuk cukup banyak.
4. Ketangguhan dan elastisitas, kedekatan udara, ketidakpekaan terhadap retak dan sifat-sifat lainnya lebih baik dari pada yang dihasilkan dengan cara pengelasan yang lain.

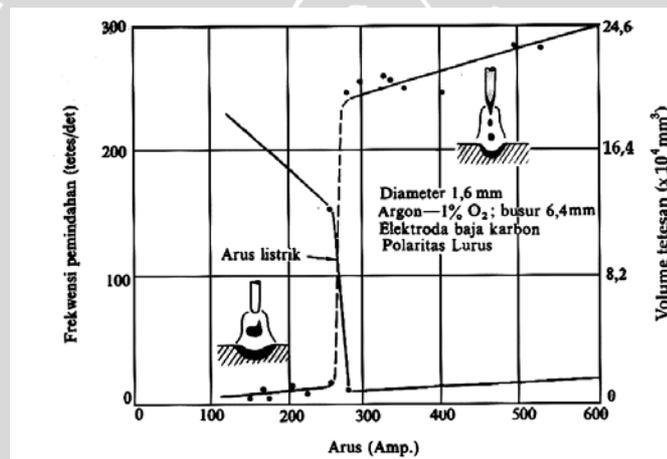
Las MIG banyak sekali digunakan terutama untuk pengelasan baja-baja kualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja kuat dan logam-logam bukan baja yang tidak dapat dilas dengan cara yang lain.

Sifat-sifat seperti diterangkan diatas sebagian besar disebabkan oleh sifat dari busur yang dihasilkan. Dalam Gambar 2.3. ditunjukkan keadaan busur dalam las MIG dimana terlihat ujung elektroda yang selalu runcing. Hal inilah yang menyebabkan butir-butir logam cair menjadi lebih halus dan pemindahannya berlangsung cepat seakan-akan seperti disemburkan.

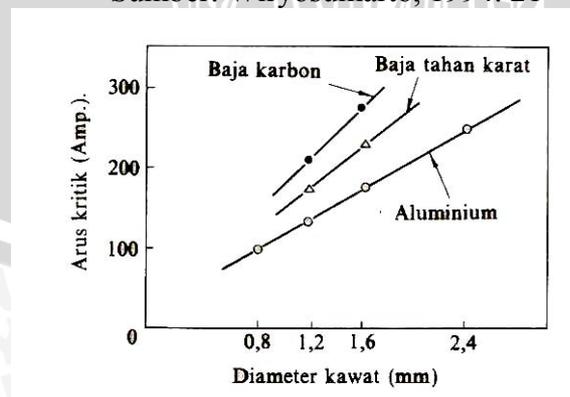


Gambar 2.3. Pemindahan sembur pada las MIG
Sumber: Wiryosumarto, 1994: 20

Terjadinya penyemburan logam cair seperti diterangkan diatas disebabkan oleh beberapa hal, antara lain polaritas listrik dan arus listrik. Dalam las MIG biasanya digunakan listrik arus searah dengan tegangan tetap sebagai sumber tenaga. Dengan sumber tenaga ini biasanya penyemburan terjadi bila polaritasnya adalah polaritas balik. Di samping polaritas ternyata bahwa besar arus juga memegang peranan penting, bila besar arus melebihi suatu harga tertentu yang disebut harga kritik barulah terjadi pemindahan sembur. Diagram dalam gambar. 2.4. menunjukkan hubungan antara arus kritik dan terjadinya penyemburan. Besarnya arus kritik tergantung dari pada bahan kawat las, garis tengah kawat dan jenis gas pelindungnya. Bila diameternya mengecil, besarnya arus kritik yang diperlukan juga menurun. Penambahan gas CO₂ ke dalam gas Argon akan menaikkan besarnya arus listrik. Dalam gambar.2.5. ditunjukkan hubungan antara besarnya arus Kritik dan ukuran kawat untuk beberapa kawat las.



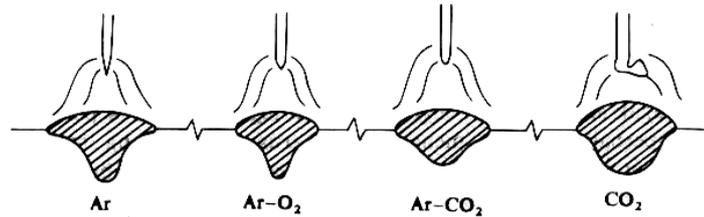
Gambar 2.4. Pengaruh perubahan arus terhadap ukuran dan frekwensi
Sumber: Wiryosumarto, 1994: 21



Gambar 2.5. Hubungan antara arus kritik dan diameter kawat
Sumber: Wiryosumarto, 1994: 21

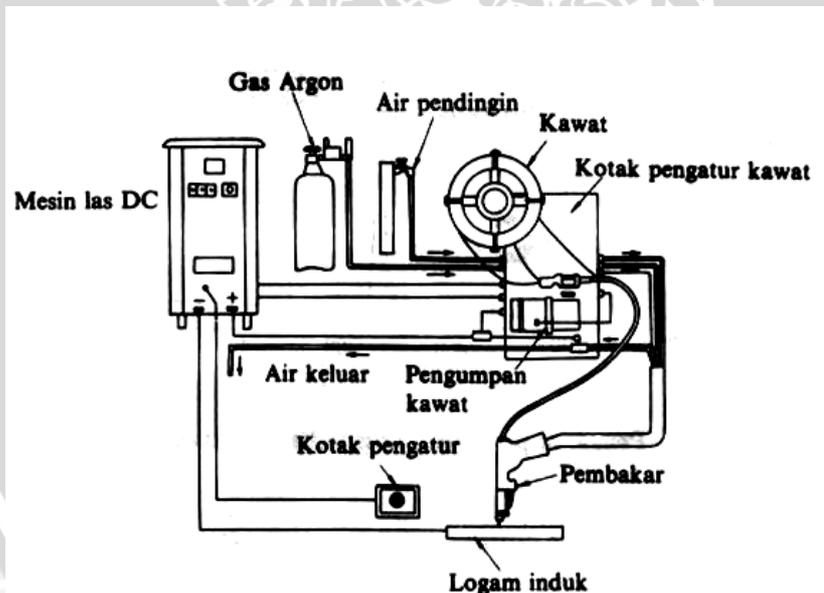
Karena busur dalam las MIG konsentrasinya tinggi maka jelas bahwa penetrasinya sangat dalam ditempat busur dan segera mendangkal pada sekitarnya, seperti terlihat pada

gambar 2.6. Gas CO₂ juga mempengaruhi dalamnya penetrasi. Bila gas ini dicampurkan kedalam gas Argon, maka penetrasi pada tempat busur berkurang tetapi penetrasi di sekitarnya makin dalam. Apabila gas CO₂ murni yang digunakan sebagai gas pelindung maka penetrasinya pada seluruh daerah busur menjadi dalam.



Gambar 2.6. Pengaruh gas pelindung terhadap penetrasi
Sumber: Wiryosumarto, 1994: 21

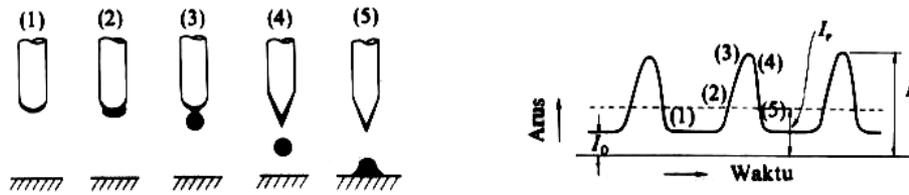
Kawat pengisi dalam las MIG biasanya diumpankan secara otomatis, sedangkan alat pembakarnya digerakkan dengan tangan. Dengan ini tercipta suatu alat las semi otomatis dimana konstruksinya dapat dilihat dalam gambar. 2.7. kadang-kadang MIG juga dilaksanakan secara otomatis penuh, dimana alat pembakarnya ditempatkan pada suatu dudukan berjalan. Kawat las yang digunakan biasanya berdiameter 1,2 sampai 1,6 mm.



Gambar 2.7. Mesin las MIG semi - otomatis
Sumber: Wiryosumarto, 1994: 22

Pada umumnya las MIG dapat digunakan secara memuaskan kecuali satu hal yaitu cara ini agak sukar untuk pengelasan posisi tegak untuk pelat-pelat tipis. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan arus rendah yang mengakibatkan proses pemindahan sembur tidak terjadi. Untuk menimbulkan semburan ini maka terhadap arus dasar (I_0 rendah tadi

ditambah arus pulsa I_p dengan frekuensi antara 50 sampai 100 Hz) karena penambahan arus pulsa, maka cara ini disebut juga pengelasan busur pulsa skema pemindahan cairan dan hubungannya dengan arus pulsa dapat dilihat dalam gambar.2.8. gabungan antara arus dasar dan arus pulsa ini menyebabkan keseluruhan penggunaan listrik lebih rendah karena pencairan dilakukan oleh arus dasar yang rendah sedangkan pemidahan sembur dilakukan oleh arus pulsa. Las busur pulsa ini sangat banyak dipakai baik untuk pengelasan plat tipis maupun plat tebal dan untuk segala posisi.



Gambar 2.8. Pemindahan logam dan bentuk gelombang arus pada las busur pulsa.

Sumber: Wiryosumarto, 1994: 23

2.3. Pengelasan Baja Karbon

2.3.1. Klasifikasi Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. (Wiryosumarto, 1994 : 89). Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.1. Oleh karena itu baja dapat dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya sebagai berikut.

- Baja karbon rendah, dengan kandungan karbon kurang dari 0,3 %.
- Baja karbon sedang, dengan kandungan karbon 0,3 % - 0,45 %
- Baja karbon tinggi, dengan kandungan karbon 0,45 % - 1,70%

Tabel 2.1 : Klasifikasi Baja Karbon

Jenis dan Kelas	Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan	
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18–28	32–36	40–30	95–100	pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08–0,12	20–29	36–42	40–30	80–120	batang, kawat
	Baja lunak	0,12–0,20	22–30	38–48	36–24	100–130	Konstruksi umum.
	Baja setengah lunak	0,20–0,30	24–36	44–55	32–22	112–145	
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30–0,40	30–40	50–60	30–17	140–170	Alat-alat mesin.
	Baja Karbon tinggi	0,04–0,50	34–46	58–70	26–14	160–200	Perkakas
	Baja sangat keras	0,50–0,80	36–47	65–100	20–11	180–235	Rel, pegas, dan kawat piano

Sumber : Wiryosumarto, 1994 : 90

2.3.2. Pengelasan Baja Karbon Rendah

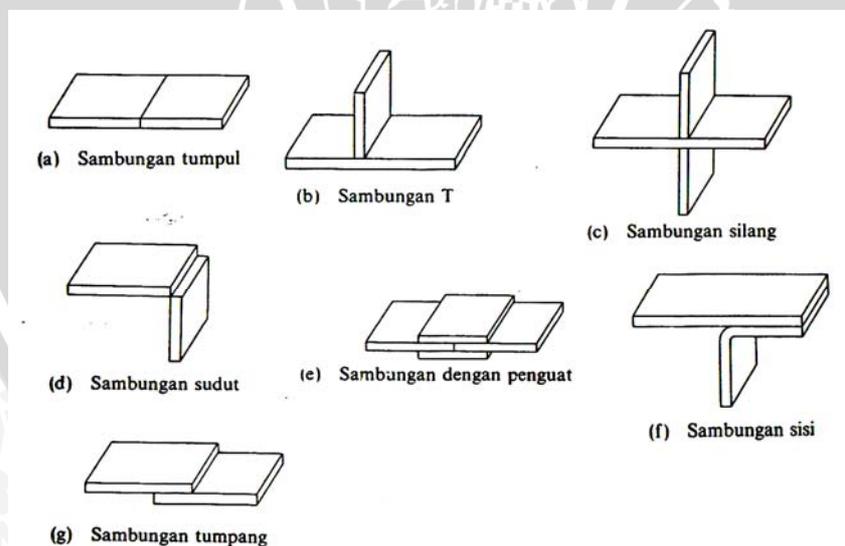
Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada dalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratan dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah merupakan baja yang mudah dilas. Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektroda hidrogen rendah

2.3.3. Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Tinggi

Baja karbon sedang dan baja karbon tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Oleh karena itu daerah pengaruh panas atau HAZ pada baja ini mudah menjadi keras ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Bila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan logam induk maka proses pengelasannya menjadi sukar dan pemilihan elektroda menjadi hal yang sangat perlu diperhatikan.

2.4. Klasifikasi Sambungan Las

Berdasarkan jenis sambungannya ada 7 jenis sambungan dasar las yaitu sambungan tumpul, sambungan T, sambungan silang, sambungan sudut, sambungan dengan penguat, sambungan sisi, dan sambungan tumpang. Klasifikasi sambungan las dijelaskan dalam gambar 2.9 sebagai berikut :



Gambar 2.9 Jenis-jenis sambungan dasar
Sumber : Wiryosumarto, Harsono. 1994 : 157

2.5. Berbagai Posisi Pengelasan

Terdapat 4 posisi dasar pengelasan yaitu :

1. Posisi datar (*flat position* =1G)

Yaitu pelat dalam posisi horizontal dan diisi logam las dari atas pelat.

2. Posisi horisontal (2G)

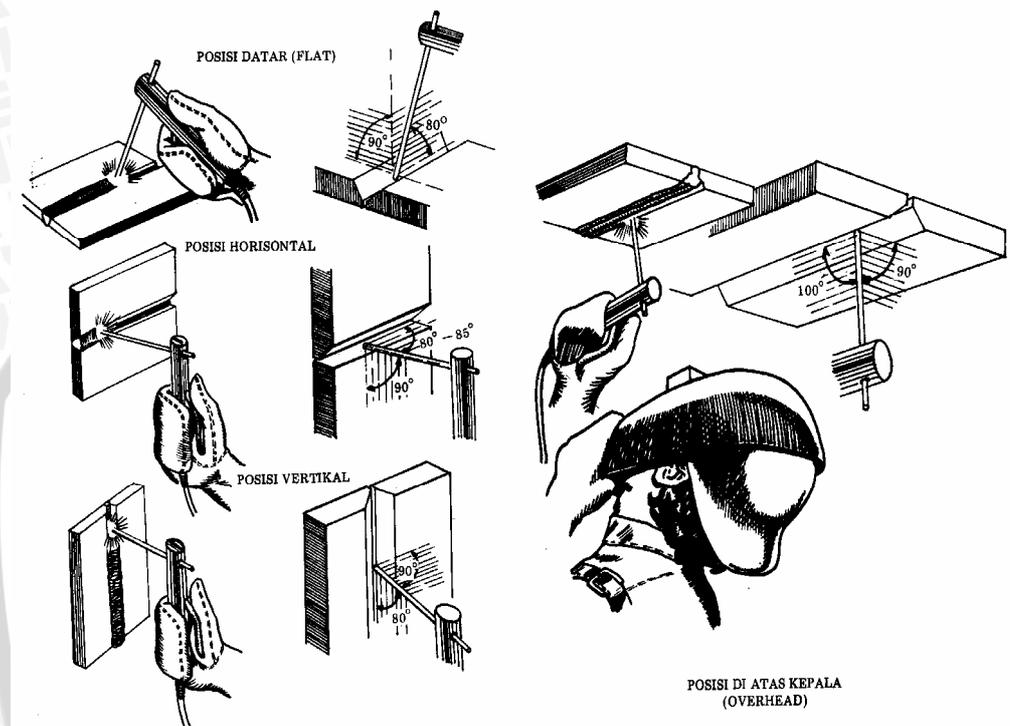
Yaitu pelat dalam posisi vertikal dengan pengelasan pada posisi horizontal

3. Posisi vertikal (3G)

Yaitu pelat dalam posisi vertikal dengan pengelasan pada posisi vertikal

4. Posisi di atas kepala (*overhead* = 4G)

Yaitu pelat dalam posisi horizontal dan diisi logam las dari bawah pelat.



Gambar 2.10. Berbagai posisi pengelasan
Sumber : Widharto, Sri. 2003 : 31-32

2.6. *Carbon equivalent* pada Baja

Suatu hal yang sangat penting dari suatu struktur material pengelasan adalah sifat kemampulan (*weld ability*) yang baik. Sifat kemampulan (*weld ability*) pada baja biasanya dinyatakan dengan batas *carbon equivalent* (C_{equiv}) atau nilai maksimum kandungan carbon, Secara umum baja mempunyai sifat mampu las yang baik jika $C_{\text{equiv}} < 0,4$. Nilai ini didasarkan pada bagaimana karakteristik transformasi meliputi temperatur M_s (*Martensit start*) dari baja yang mempengaruhi kurva laju pendinginan dari diagram CCT bergerak semakin cepat atau justru semakin lambat, Harga C_{equiv} ini memberikan petunjuk tentang struktur mikro yang akan terjadi pada daerah HAZ sebagai fungsi dari laju pendinginan dari temperatur puncak T_{max} . Harga C_{equiv} juga menunjukkan apakah martensit dapat terbentuk atau tidak. Terbentuknya martensit menyebabkan adanya kekerasan yang

tinggi hal ini dapat menyebabkan kegagalan pada sambungan las yaitu retak dingin atau *hydrogen cracking*. Berikut rumusan *carbon equivalent*.

Menurut *International Institute of Welding* (IIW) C_{equiv} dinyatakan dengan persamaan. (Jumlah persentase unsur dinyatakan dengan % massa) (Wiryosumarto, 1994, 78).

$$C_{equiv} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \quad (\%) \quad (2-1)$$

Menurut sistem di Jepang, C_{equiv} dinyatakan dengan persamaan :

$$C_{equiv} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (\%) \quad (2-2)$$

2.7. Konveksi pada *Weld Pool*

Berdasarkan definisi dari *American Heritage Dictionary*, konveksi merupakan pergerakan fluida yang disebabkan karena adanya gaya eksternal (Messler, Robert W, 1999; 291), dimana fluida pada *weld pool* adalah logam cair.

Gaya eksternal yang mengakibatkan pergerakan logam cair dalam *weld pool* pada pengelasan listrik (*arc welding*) antara lain :

1. Gaya *Bouyancy*

Gaya *bouyancy* merupakan gaya yang diakibatkan oleh adanya perbedaan densitas pada daerah kolam las. Perbedaan densitas yang terjadi disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur lokal atau komposisi lokal pada kolam las. Akan tetapi perbedaan temperatur lokal lebih mendominasi dalam memunculkan gaya ini. Adapun besar gaya *bouyancy* dapat dinyatakan dalam rumusan berikut:

$$F_B = -\rho \cdot B \cdot g \cdot (T - T_o) \quad (\text{Messler, Robert W, 1999; 294}) \quad (2-3)$$

dimana : ρ = densitas logam cair

B = koefisien ekspansi termal logam cair

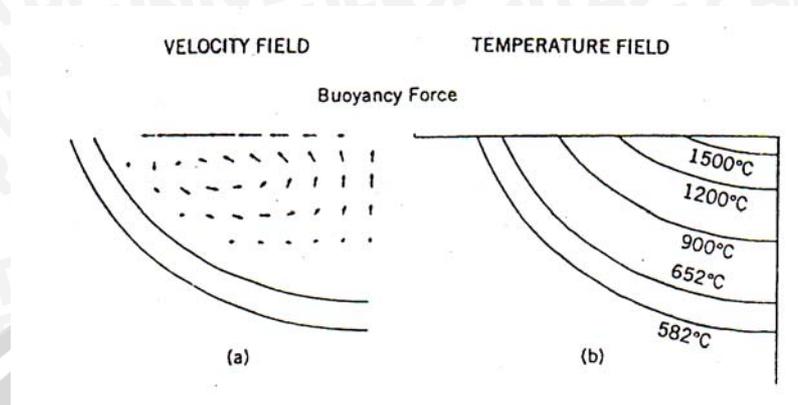
g = percepatan gravitasi

T = temperatur tinjauan

T_o = temperatur referensi (temperatur kamar)

Gaya *bouyancy* mengakibatkan terjadinya sirkulasi logam cair dalam kolam las. Daerah logam cair yang dekat dengan batas las merupakan daerah yang paling dingin. Pada daerah ini logam cair memiliki densitas yang besar, sehingga logam cair akan bergerak ke bawah, sedangkan daerah tengah kolam las merupakan daerah yang paling panas,

sehingga logam cair pada daerah ini memiliki densitas yang rendah, akibatnya logam cair akan bergerak keatas. Sirkulasi yang terjadi akibat gaya *bouyancy* dan distribusi temperatur pada kolam las dapat digambarkan pada gambar 2.10 berikut :



Gambar 2.11. Sirkulasi logam cair akibat gaya *bouyancy* dan distribusi temperatur pada kolam las
Sumber : Kou, Sindo, 1987: 94

Gaya *bouyancy* ini memberikan pengaruh yang kecil pada sirkulasi logam las cair bila dibandingkan dengan gaya penyebab konveksi yang lain, bahkan terkadang diabaikan.

2. Gaya Tekan Permukaan (gaya Marangoni)

Seperti halnya sifat-sifat fluida pada umumnya, logam las cair juga mempunyai tegangan permukaan yang besarnya sangat tergantung pada temperatur, dimana tegangan permukaan akan semakin rendah pada daerah yang bertemperatur tinggi dan semakin besar pada daerah yang bertemperatur rendah. Pada kolam las terjadi perbedaan temperatur lokal sehingga memunculkan perbedaan tegangan permukaan. Adanya gradien tegangan permukaan mengakibatkan gaya yang besarnya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{\gamma} = -\frac{\partial\gamma}{\partial T} \cdot \nabla T \quad (\text{Messler, Robert W, 1999; 295}) \quad (2-4)$$

dimana : γ = tegang permukaan logam cair

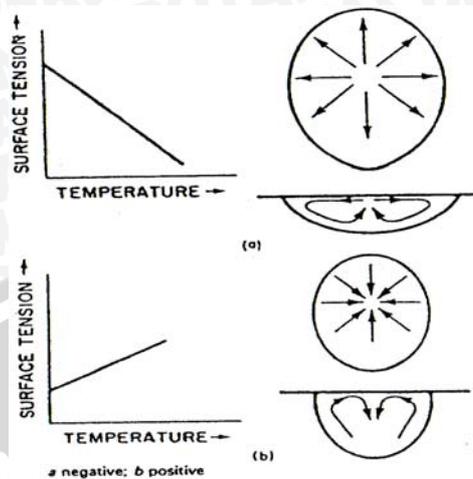
T = temperatur

∇T = gradien temperatur

Gaya permukaan yang terjadi mengakibatkan terjadinya sirkulasi logam las cair yang arahnya tergantung pada nilai dari koefisien termal tegangan permukaan ($\frac{\partial\gamma}{\partial T}$).

Apabila nilai dari ($\frac{\partial\gamma}{\partial T}$) negatif maka logam cair akan bergerak dari tengah kolam las ke tepi kolam, sedangkan bila nilai dari ($\frac{\partial\gamma}{\partial T}$) positif akibat penambahan unsur-unsur seperti O, S, Se, Te, maka arus konveksi logam las cair bergerak dari tepi kolam las

menuju tengah kolam las (De Herrera, Naomi, 2003 : 2). Fenomena ini secara lebih jelas dapat ditunjukkan pada gambar 2.12 berikut :



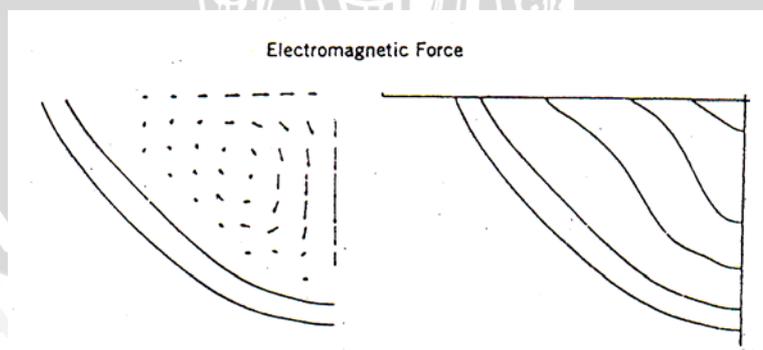
Gambar 2.12. Tegangan permukaan logam cair dan sirkulasi yang terjadi
(a) tanpa unsur pengaktif (b) dengan unsur pengaktif
Sumber : Messler, Robert W, 1999 : 296

3. Gaya Elektromagnetik

Pada pengelasan listrik (*arc welding*) menimbulkan medan magnet dan medan listrik. Interaksi kedua medan ini akan menimbulkan gaya elektromagnetik (gaya lorentz) yang besarnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F = J \times B \quad (\text{Messler, Robert W, 1999; 297}) \quad (2-5)$$

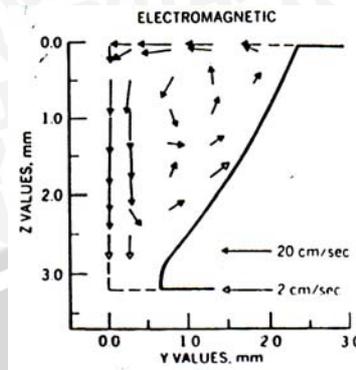
Dimana J merupakan vektor rapat arus listrik dan B merupakan vektor fluks magnetik. Gaya elektromagnetik yang terjadi mengakibatkan arus konveksi logam las cair yang berlawanan dengan arus konveksi yang ditimbulkan oleh pengaruh gaya *bouyancy* (Messler, Robert W, 1999 : 299), sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.13 berikut :



Gambar 2.13. Arus konveksi karena pengaruh gaya elektromagnetik
Sumber : Messler, Robert W, 1999 : 299

Gaya elektromagnetik ditengah kolam las akan mendorong logam las cair yang panas ke bawah sampai ke dasar kolam, sehingga perpindahan panas yang terjadi

mengakibatkan sebagian dasar kolam las mencair dan kolam las semakin dalam (Messler, Robert W, 1999 : 300), sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.14 berikut :



Gambar 2.14. Penetrasi yang ditimbulkan gaya elektromagnetik
Sumber : Kou, Sindo, 1987 : 97

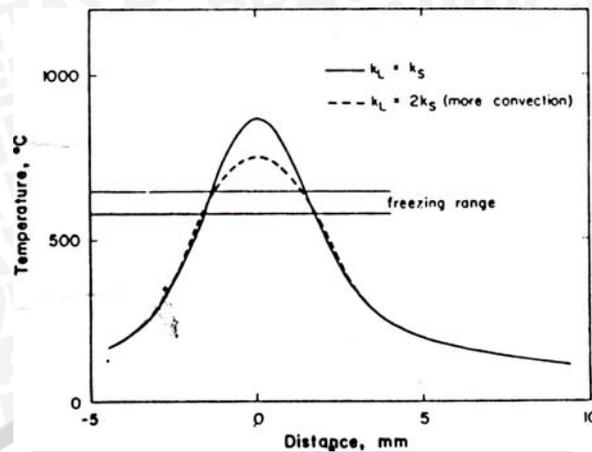
Gaya elektromagnetik dengan sirkulasi logam cair yang dihasilkan sangat berperan dalam proses pencampuran (*mixing*) dalam kolam las. Hal ini berpengaruh terhadap tingkat homogenitas komposisi dalam kolam las (Kou, Sindo, 1987 : 100).

Gaya elektromagnetik dalam pengelasan listrik (*arc welding*) dapat ditingkatkan dengan 2 cara yaitu :

- meningkatkan arus listrik yang digunakan dalam pengelasan sehingga rapat arus (J) dan rapat fluks magnet meningkat.
- meningkatkan fluks magnetik (B) dengan menambahkan medan magnet eksternal.

Peningkatan gaya elektromagnetik dengan memperbesar arus pengelasan kurang disukai mengingat penambahan arus pengelasan akan memperbesar masukan panas dan menimbulkan masalah baru seperti tegangan sisa, distorsi, dan perubahan pada struktur mikro (Messler, Robert W, : 306), sehingga gaya elektromagnetik dapat ditingkatkan dengan menambahkan medan magnet eksternal dari luar yang dapat berupa solenoida yang menghasilkan induksi magnet yang kemudian berakumulasi dengan induksi magnet yang dihasilkan arus pengelasan, sehingga rapat fluks magnet akan semakin besar.

Dengan semakin meningkatnya gaya elektromagnetik, maka laju konveksi logam las cair semakin besar. Hal ini ternyata merubah nilai efektif konduktifitas termal dari logam las cair, k_L menjadi lebih besar, sehingga temperatur kolam las menjadi lebih rendah (Kou, Sindo, 1987 : 49), sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.15 berikut :



Gambar 2.15. Pengaruh peningkatan konveksi terhadap nilai efektif konduktifitas termal logam las cair

Sumber : Kou, Sindo, 1987 : 51

2.8. Pengaruh Konveksi Pada Pengelasan

Konveksi yang terjadi pada kolam las cair selama proses pengelasan berlangsung akan mempengaruhi aliran fluida yang akan berpengaruh pada bentuk kolam las sebagai akibat pengikisan fluida yang disebabkan oleh distribusi panas, pencampuran yang akan menentukan tingkat homogenitas kimia sebagai hasil macrosegregation dan distribusi porositas akibat gas yang terlarut (Messler, Robert W. 1999 : 291).

Konveksi ini akan berpengaruh pada derajat homogenitas kimia dan solidifikasi manik las karena adanya proses sirkulasi selama konveksi berlangsung dan akhirnya dapat mempengaruhi hasil metalurgi dan sifat mekanik lasan.

Adapun pengaruh arus konveksi logam las cair pada pengelasan antara lain:

A. Pengaruh terhadap Penetrasi

Aliran logam las cair pada kolam las dapat mempengaruhi penetrasi yang terjadi. Kecenderungan bentuk penetrasi sangat tergantung pada arah dan kecepatan dari logam las cair.

- Pada konveksi akibat gaya *bouyancy* dan gaya tekan permukaan (dengan $\frac{\partial \gamma}{\partial T}$ negatif) cenderung akan mengakibatkan kolam las menjadi dangkal dan lebar.
- Pada arus konveksi akibat gaya elektromagnetik dan gaya tekan permukaan (dengan $\frac{\partial \gamma}{\partial T}$ positif) cenderung akan mengakibatkan kolam las menjadi dalam dan sempit (Kou, Sindo, 1987 : 97)

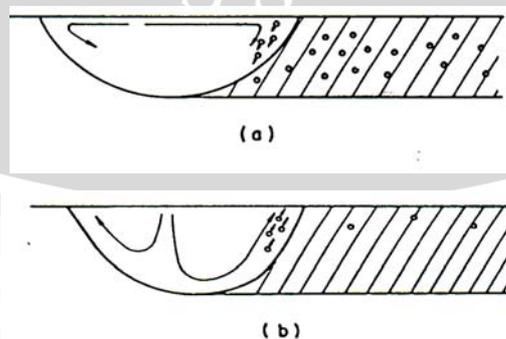
B. Pengaruh terhadap Microsegregasi

Pengaruh konveksi terhadap microsegregasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Pada pengelasan kontinu yang menggunakan logam penambah (*filler metal*), terjadinya *microsegregasi* sangat dimungkinkan apabila *percampuran (mixing)* pada *weldpool* tidak sempurna. Pada pengelasan listrik (*arc welding*), gaya elektromagnetik yang terjadi dapat meningkatkan *percampuran* pada kolam las. Dengan arus konveksi yang terjadi, logam pengisi yang ditambahkan akan dapat tercampur dengan sempurna sebelum mengalami *solidifikasi*, sehingga komposisi logam las menjadi homogen. (Kou, Sindo, 1987 : 100).
- Pada kolam las (*weldpool*) komposisi yang homogen tidak terjadi pada seluruh bagian kolam las, terdapat lapisan logam cair pada daerah dekat batas las (*pool boundary*) yang cenderung diam (*stagnan*) selama proses sirkulasi logam las cair berlangsung. Daerah ini dinamakan *unmixed zone*. Daerah ini memiliki komposisi yang berbeda dengan daerah lain dari kolam las yang mengalami sirkulasi. Dengan meningkatnya laju konveksi akibat gaya elektromagnetik , maka semakin besar logam cair pada *unmixed zone* yang terbawa arus konveksi dan mengalami sirkulasi, sehingga ketebalan lapisan *unmixed zone* dapat dikurangi dan kolam las semakin homogen. (Kou, Sindo, 1987, 100).

C. Pengaruh terhadap Porositas

Porositas terbentuk akibat adanya interaksi antar logam las cair dengan atmosfer. Gas yang terlarut pada logam cair akan membentuk gelembung gas pada daerah kolam las yang dingin. Gelembung gas yang tinggal akan membentuk rongga (*porous*) apabila tersolidifikasi. Konveksi yang terjadi pada *weldpool* secara teoritis dapat membantu dalam melepas gelembung gas yang terbentuk ke atmosfer sebelum tersolidifikasi atau sebaliknya tergantung pada arah konveksi yang terjadi pada kolam las.(Kou, Sindo, 1987 : 102). Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.16 berikut :



Gambar 2.16. Efek konveksi terhadap porositas

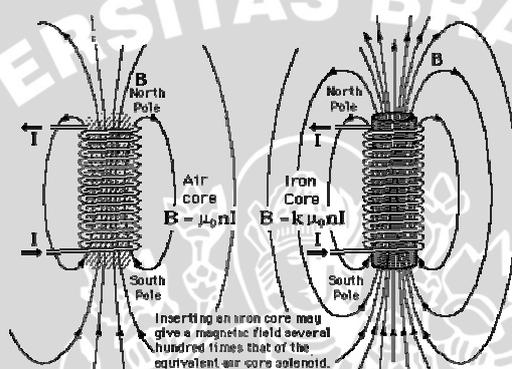
- (a) pola konveksi yang dapat melepas gelembung gas
- (b) pola konveksi yang dapat menjebak gelembung gas

Sumber : Kou, Sindo, 1987 : 102

2.9. Medan Magnet Solenoida

Medan magnet dapat didefinisikan sebagai area di sekitar sebuah magnet atau sebuah penghantar yang dialiri arus listrik. Sedangkan vektor magnet dinamakan induksi magnet (*magnetic induction*), yang dapat dinyatakan dengan garis-garis induksi (*line of induction*).

Solenoida merupakan kumparan atau lilitan kawat yang biasanya membungkus inti logam dan dapat menghasilkan medan magnet apabila arus listrik dialirkan pada kumparan tersebut. Solenoid dapat menghasilkan medan magnet yang besarnya dapat dikontrol. Adapun arah garis medan magnet tergantung pada arah aliran arus listrik dalam kumparan (solenoida) yang dapat dijelaskan dalam gambar 2.17 berikut :



Gambar 2.17. Arah garis medan magnet dalam solenoida
Sumber : hyperphysics.phy-astr.gsu.edu

Apabila kedalam solenoida dimasukkan bahan ferromagnetik seperti besi, baja, silikon, maka medan magnet yang dihasilkan akan bertambah besar. Peningkatan medan magnet yang terjadi pada solenoida merupakan penjumlahan antara medan magnet yang dihasilkan solenoida itu sendiri dan medan magnet eksternal yang dihasilkan inti solenoida yang menjadi magnet. Peningkatan medan magnet yang terjadi tersebut dinamakan induksi magnetik atau rapat fluks magnetik dan diberi simbol B .

Besarnya peningkatan medan magnet yang terjadi diukur dengan menggunakan besaran yang dinamakan permeabilitas magnetik yang merupakan perbandingan antara induksi magnet yang dihasilkan B dengan kuat medan magnet yang terjadi H atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (\text{Smith, F William. 2004 : 831}) \quad (2-6)$$

Apabila dalam solenoida tidak terdapat inti logam maka permeabilitas magnetik merupakan permeabilitas ruang kosong (μ_0), dimana $\mu_0 = 4\pi.k = 4\pi.10^{-7} \text{ Wb(Am)}^{-1}$

Peningkatan medan magnet yang terjadi juga dapat dinyatakan dalam besaran permeabilitas relatif (μ_r) yang merupakan perbandingan antara μ dan μ_0 .

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (\text{Smith, William F. 2004 : 832}) \quad (2-7)$$

Secara umum besar induksi magnet yang dihasilkan dapat dinyatakan dengan rumusan sebagai berikut:

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H \quad (\text{Smith, William F. 2004 : 832}) \quad (2-8)$$

Adapun nilai permeabilitas relatif dari beberapa material dapat ditunjukkan pada tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2. Nilai permeabilitas relatif material

Jenis material	Nilai permeabilitas relatif
Magnetic iron	200
Nickel	100
Permalloy (78,5%nickel,21,5%iron)	8000
Mumetal 75% nickel,2% chromium,5% copper,18% iron)	20000

Sumber: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu

Adapun besar induksi magnet yang dibangkitkan solenoida yang berarus listrik dapat dirumuskan sebagai berikut :

- Induksi magnet ditengah panjang solenoida: $B = \frac{\mu \cdot I \cdot N}{l}$ (2-9)

- Induksi magnet diujung panjang solenoida: $B = \frac{\mu \cdot I \cdot N}{2l}$ (2-10)

dengan:

B = medan magnet induksi solenoida (Tesla = $1 \text{ NA}^{-1}\text{m}^{-1}$)

μ = permeabilitas magnetik ($\text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$)

I = arus listrik (A)

N = jumlah lilitan

l = panjang solenoida (m)

2.10. Pengujian Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan, atau penetrasi. Pengujian yang paling banyak dipakai adalah dengan cara melakukan penekanan tertentu kepada spesimen dengan beban tertentu kemudian dilakukan pengukuran terhadap bekas penekanan yang terbentuk di atasnya. Kekerasan dinyatakan oleh besarnya gaya tekan *indenter* per satuan luas. Pengambilan

data dilakukan secara acak. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian dengan cara *Brinell*. Pengujian jenis ini cocok untuk semua material baik keras maupun lunak, penggunaannya sederhana dan penekanannya dapat dilakukan dengan leluasa.

2.11. Pengujian impak

Pengujian impak merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengetahui ketangguhan suatu material. Ketangguhan merupakan sifat material yang menunjukkan banyaknya energi yang dapat diserap oleh material untuk mematahkan spesimen (Smith, William F., 2004 : 248). Dalam pengujian impak, spesimen (benda kerja) mendapatkan beban kejut hingga spesimen mengalami patah. Dengan data yang didapatkan dalam pengujian impak dan perhitungan yang dilakukan dapat diketahui besar energi yang dapat diserap material sebelum material mengalami kerusakan (patah).

Terdapat beberapa metode dalam pengujian impak antara lain:

A. Pengujian Tarik Kejut (*Tensile Impact Test*)

Pada pengujian tarik kejut, salah satu ujung spesimen dijepit sedangkan ujung yang lain mendapatkan beban tarik secara kejut. Biasanya digunakan untuk material yang ulet.

B. Pengujian Puntir Kejut (*Torsion Impact Test*)

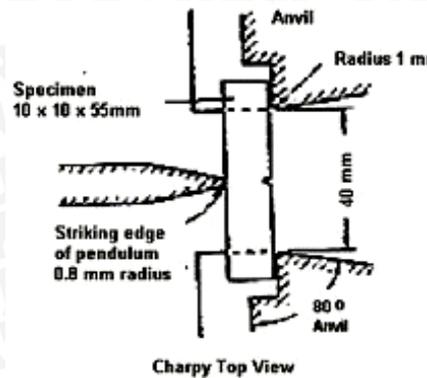
Pada pengujian puntir kejut, salah satu ujung spesimen dijepit sedangkan ujung yang lain mendapatkan beban puntir secara kejut.

C. Pengujian Pukul Takik

Pada pengujian pukul takik spesimen sebelumnya diberi takik dengan bentuk dan dimensi tertentu dan kemudian mendapatkan beban pukulan secara kejut. Dalam hal ini energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen berasal dari energi potensial dari pendulum yang digunakan untuk memberi beban pukulan pada spesimen. Dalam pengujian pukul takik terdapat 2 cara pembebanan, antara lain:

1. Metode *Charpy*

Dalam pengujian impak dengan metode *charpy*, spesimen (benda kerja) dibuat sesuai dengan bentuk dan dimensi yang standar. Pada pengujian, spesimen ditumpu pada kedua ujungnya dan posisi takik membelakangi pendulum, sehingga pendulum akan memukul punggung takik, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.18 berikut :



Gambar 2.18. Skema pengujian impact dengan metode *charpy*

Sumber : www.cvgs.k12.va.us

2. Metode *Izod*

Dalam pengujian impact dengan metode *izod*, benda kerja (spesimen) dibuat sesuai dengan bentuk dan dimensi yang standar. Pada pengujian spesimen dijepit pada salah satu ujungnya tepat dibibir takikan, posisi takik menghadap pendulum (pemukul).

Pada spesimen yang telah dilakukan pengujian impact, akan dapat diketahui jenis patahan yang dihasilkan. Adapun jenis-jenis patahan tersebut antara lain:

a. Patahan Getas

Ciri-cirinya adalah permukaan patahan rata dan mengkilap, apabila disambung kembali, kedua permukaan potongan akan menyambung dengan baik. Hal ini disebabkan pada saat proses patahnya, spesimen tidak mengalami deformasi.

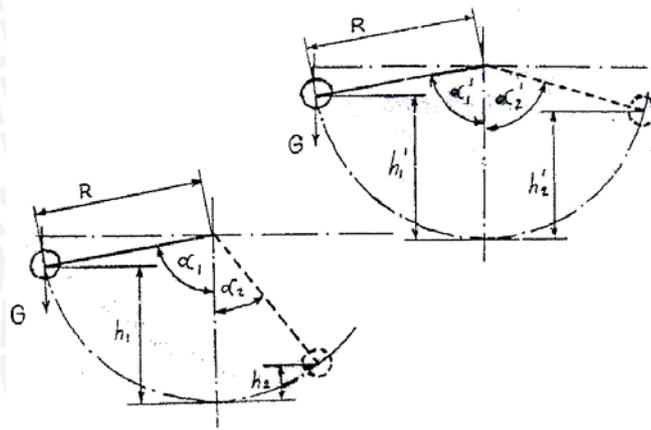
b. Patahan Liat

Ciri-cirinya adalah permukaan patahan tidak rata dan tampak seperti beludru, buram dan berserat. Hal ini disebabkan pada saat terjadi patah, spesimen mengalami deformasi sehingga terjadi proses penyobekan logam.

c. Patahan Campuran

Ciri-cirinya adalah permukaan patahan sebagian terdiri dari patahan getas dan sebagian yang lain adalah patahan liat

Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian impact dengan metode pukul takik dapat diturunkan berdasarkan gambar 2.19. berikut:



Gambar 2.19 Skema pengujian impak dengan metode pukul takik
Sumber : Pranoto, Bardji.Ir.1992: 24

Dimana:

h_1 = jarak ayunan pendulum dalam lintasan sudut α_1

h_2 = jarak ayunan pendulum dalam lintasan sudut α_2

h_1' = jarak ayunan pendulum dalam lintasan sudut α_1'

h_2' = jarak ayunan pendulum dalam lintasan sudut α_2'

R = radius lintasan pendulum

G = berat pendulum (kg)

F_0 = luas penampang patahan benda kerja (cm^2)

a. Energi yang diperlukan secara ideal

$$\begin{aligned} A_a &= m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 \\ &= G \cdot (h_1 - h_2) \\ &= G \cdot R \cdot [\cos(90^\circ - \alpha_1^\circ) - \cos \beta^\circ] \end{aligned} \quad (2-11)$$

b. Kerugian energi pada alat

$$f = G \cdot R \cdot [\cos(90^\circ - \alpha_0^\circ) - \cos \beta^\circ] \quad (2-12)$$

c. Energi aktual yang dibutuhkan

$$A = A_a - f \quad (2-13)$$

d. Energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen tiap satuan luas penampang

$$A_k = \frac{A}{F_0} \quad (2-14)$$

2.12. Hipotesis

Berdasarkan studi referensi dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dapat ditarik hipotesa bahwa perubahan pola pembangkitan medan magnet solenoida yang

dilakukan akan memberikan laju konveksi *weld pool* yang berbeda pula pada logam las yang dialiri arus pembangkit medan magnet. Selain itu laju konveksi yang lebih besar pada *weld pool* dapat meningkatkan homogenitas kolam las. Dengan semakin meningkatnya homogenitas *weld pool* maka mikrostruktur yang dihasilkan semakin homogen. Sehingga dapat diduga dengan pola pembangkitan medan magnet yang berbeda pada logam las akan menghasilkan kekuatan mekanik yang berbeda pula. Dalam hal ini akan diperoleh pola pembangkitan yang paling sesuai untuk menghasilkan sifat mekanik sambungan las yang paling baik pada pengelasan baja St37 dengan EMS45

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental sungguhan (*real experimental research*). Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan data-data langsung melalui eksperimen, kemudian dianalisis, dan ditarik suatu kesimpulan

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1. Tempat penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa tempat antara lain:

1. Balai Latihan Kerja (BLK) Singosari Malang Jawa Timur tempat dilakukannya pengelasan
2. Laboratorium Proses Produksi 1 Teknik Mesin Unibraw tempat pembuatan spesimen
3. Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Unibraw tempat pengujian struktur mikro dan uji kekerasan
4. Laboratorium Fisika Gelombang FMIPA Universitas Negeri Malang tempat pengujian (pengukuran) besar induksi medan magnet
5. Laboratorium Material Universitas Merdeka Malang tempat pengujian dampak

3.2.2. Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari 2007 s/d selesai

3.3. Alat dan Bahan yang Digunakan

3.3.1. Alat yang digunakan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mesin Las MIG

Mesin las digunakan untuk pengelasan benda kerja. Spesifikasi dari mesin las yang digunakan pada pengelasan ini adalah:

Merk	: AIR LIQUIDE welding
Tipe	: SAF OPTIMAg 400
Nomor	: SAF14004001
Buatan	: SAF. LTD, France
Arus Maks	: 400A
Elektroda	: - Tipe : SAF MIG Wire Roll

- Merk : SAF NERTALIC 70A
- AWS classification : ER70S-6
- Spesifikasi and Reference : AWS A5.18
- Diameter : 1.0 mm
- UTS : 590 N/mm²
- Yield Strength : 500 N/mm²
- Elongation : 25 %
- Buatan : SAF, FRANCE

2. Mesin Uji Kekerasan

Electrical Brinell Hardness Tester

- Merk : Hauser Henry S. A.
- Diameter bola baja : 1,2 mm
- Berat beban : 12,48 kg
- Buatan : Jerman

3. Mesin Uji Impak Charpy

Merupakan mesin yang di gunakan untuk mencari nilai kekuatan kejut spesimen.

Spesifikasi dari mesin uji impak:

- Merk : SHIMADZU
Type : CH
No : 86361
Kapasitas : 30 kgf.m
Buatan : SHIMADZU Corporation kyoto JAPAN

4. Mikroskop Logam

Mikroskop logam digunakan untuk membesarkan penampakan struktur mikro spesimen pada titik tertentu. Spesifikasi mikroskop logam yang digunakan

Spesifikasi :

- Merk : NIKON
Buatan : JEPANG
Pembesaran : 300 x

5. *Centrifugal Sand Paper Machine*

Digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen yang akan difoto mikro.

Spesifikasi mesin ini adalah:

- Merk : Saphir

Buatan : Jerman
Diameter : 15 cm
Putaran : 1200 rpm

6. *Voltage Regulator*

Digunakan untuk mengatur tegangan yang masuk kedalam solenoida sehingga didapatkan arus yang mengalir sebesar 3 A

7. Solenoida

Digunakan untuk membangkitkan medan magnet. Solenoida yang digunakan adalah solenoida yang mempunyai 200 lilitan kawat tembaga dengan diameter kawat sebesar 0.45 mm. Bahan inti solenoida yang dipakai baja karbon rendah dengan dimensi 60 x 80 x 10 mm.

8. Rangkaian flip flop/smart relai

Digunakan untuk membangkitkan medan magnet secara bergantian

9. Jangka sorong

Alat ini digunakan untuk mengukur dimensi spesimen impak.

10. Teslameter

Digunakan untuk mengukur besar induksi magnet pada daerah kampuh las untuk tiap-tiap jumlah lilitan solenoida.

11. Avometer

Digunakan untuk mengukur arus listrik yang mengalir ke solenoida.

12. Kertas gosok

Digunakan untuk meratakan permukaan spesimen. Kertas gosok yang digunakan secara berturut-turut adalah *grade* 100, 240, 500, 800, 1000, 1200

13. Autosol

Digunakan untuk menghaluskan dan mengkilatkan permukaan spesimen.

14. Kain *flanel*

Digunakan pada langkah akhir penghalusan permukaan spesimen.

15. Etsa

Digunakan untuk memperjelas penampakan struktur mikro spesimen. Etsa yang digunakan pada pengujian ini adalah nital dengan komposisi etanol 98 % dan HNO₃ 2 %

16. *Digital Camera*

Digunakan untuk mengambil gambar spesimen pada saat penelitian.

Spesifikasi:

Merk	: Nikon
Model	: Nikon Coolpix 5100
Resolusi	: 5,1 Megapixel
Optical zoom	: 4 X
Digital zoom	: 3 X
Format file	: JPEG
Lensa	: Nikkon lens

3.3.2. Bahan yang digunakan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu baja karbon rendah St37 dengan baja carbon sedang EMS45 dengan kandungan komposisi pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.1 kandungan unsur kimia St37
Sesuai keterangan yang dikeluarkan PG. Candi Baru Sidoarjo Standar DIN

Steel and Grade Material	Chemical Composition, %						Tensile Strenght Mpa	Yield Strenght Mpa	Elongation %
	CR	Ni	C	Mn	P	S			
St37	0	0	0.19	0	0.05	0.05	350-480	235	25

Tabel 3.2 kandungan unsur kimia EMS45
Sesuai sertifikat pembelian material dari PT. Bhinneka Bajas

Steel and Grade Material	Chemical Composition, %									Tensile Strenght Mpa	Yield Strenght Mpa	Elongation %
	CR	Al	Mo	Ni	C	Mn	P	Si	S			
EMS45(K945)	0	0.03	0	0	0.51	0.65	0.3	0.28	0.21	600-750	350-400	25

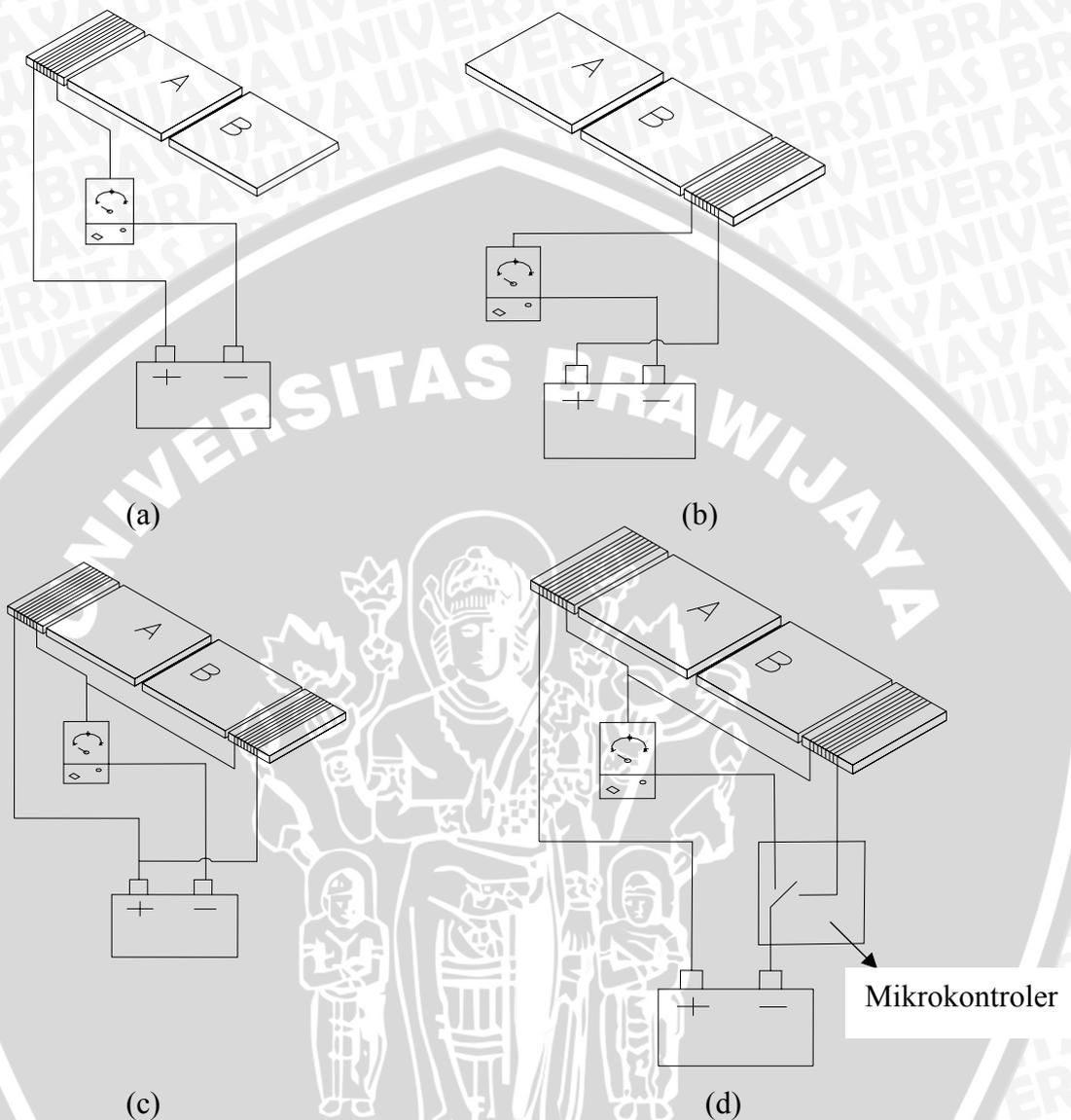
3.4. Variabel Penelitian

3.4.1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah pola pembangkitan medan magnet, pola yang digunakan adalah :

- ✓ Pola I : hanya benda kerja A (EMS45) saja yang dialiri medan magnet
- ✓ Pola II : hanya logam B (St37) saja yang dialiri medan magnet
- ✓ Pola III :logam A dan Logam B dialiri medan magnet secara bersamaan
- ✓ Pola IV : logam A dan logam B dialiri medan magnet secara bergantian (*intermittant*), sebagaimana ditunjukkan gambar 3.1 kemudian hasilnya

dibandingkan dengan material hasil pengelasan tanpa pembangkitan medan magnet.



Gambar 3.1 pola pembangkitan medan magnet

3.4.2. Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekerasan dan kekuatan impak sambungan las

3.4.3. Variabel terkontrol

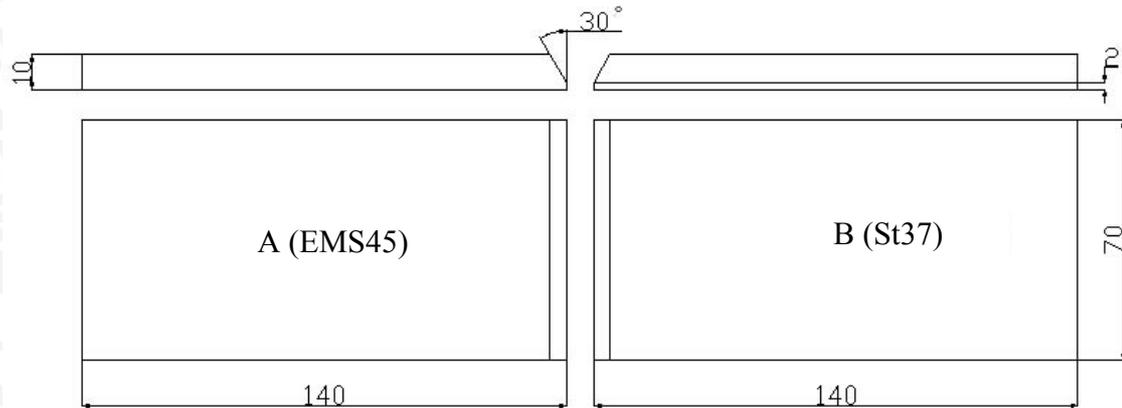
Adapun variabel yang dikontrol besarnya dalam penelitian antara lain:

- Arus pengelasan sebesar 125 A
- Tegangan pengelasan sebesar 25 V
- Listrik yang digunakan: DC

- Arus pada Solenoida sebesar 3 A

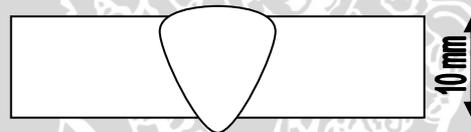
3.5. Bentuk dan Dimensi Spesimen Pengelasan

Adapun bentuk dan dimensi benda kerja yang akan digunakan dalam pengelasan adalah sebagai berikut:



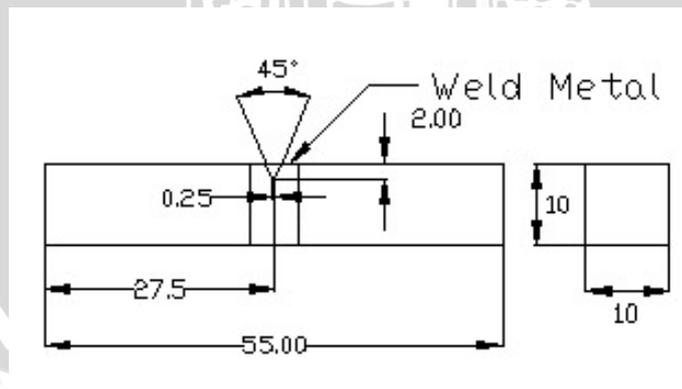
Gambar 3.2. Bentuk dan dimensi benda kerja (satuan mm)

3.6. Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji Mikro Struktur dan Uji Kekerasan



Gambar 3.3. Spesimen uji mikro struktur dan uji kekerasan pada *weld pool*

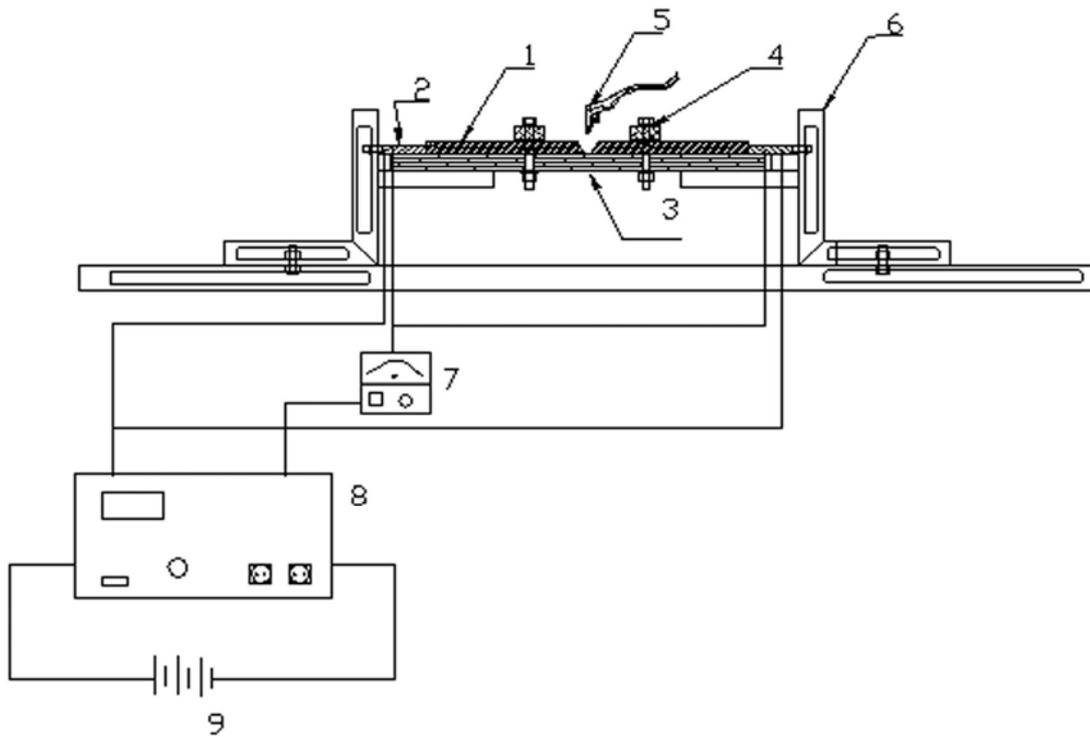
3.7. Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji Impak



satuan : mm

Gambar 3.4. Spesimen uji impak berdasarkan standar ASTM /A.360

3.8. Instalasi Alat Penelitian



Gambar 3.5. Instalasi Pengelasan

Keterangan:

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| 1. Logam induk | 6. Penjepit logam induk |
| 2. Solenoida | 7. Ampere meter |
| 3. Landasan lasan | 8. Stavolt |
| 4. Penjepit logam induk | 9. Sumber tegangan (listrik AC) |
| 5. Torch mesin las MIG | |

3.9. Prosedur Penelitian

3.9.1. Prosedur pengambilan data besar induksi magnet

1. Benda kerja dibuat sesuai dengan bentuk dan dimensi yang direncanakan.
2. Benda kerja dibersihkan dari terak dan kotoran
3. Solenoida dengan jumlah lilitan yang telah ditentukan dipasang pada instalasi penelitian.
4. Benda kerja dipasang pada landasan yang tersedia pada instalasi penelitian.
5. Mengatur besar kuat arus listrik yang akan dialirkan ke solenoida
6. Voltage regulator dihidupkan dengan menekan tombol "on"
7. Catat data induksi magnet yang dihasilkan
8. Benda kerja dilepaskan dari instalasi penelitian

3.9.2. Prosedur proses pengelasan

1. Persiapan spesimen.
2. Permukaan spesimen dibersihkan dari terak dan kotoran.
3. Pengaturan parameter pengelasan pada mesin las MIG.
4. Pengaturan jumlah lilitan pada solenoida.
5. Penempatan benda kerja pada landasan yang terletak pada instalasi penelitian.
6. Mengatur besar arus yang dialirkan pada solenoida sesuai dengan yang direncanakan.
7. Mengaktifkan *voltage regulator* dengan menekan tombol "on".
8. Mengaktifkan mesin las MIG dengan menekan tombol "on".
9. Dilakukan proses pengelasan dengan mesin las MIG.
10. Spesimen dilepaskan dari instalasi penelitian.

3.9.3. Prosedur pengujian dan pengambilan foto mikrostruktur dan uji kekerasan

1. Permukaan spesimen yang telah dilas diibersihkan dari terak dan kotoran.
2. Permukaan spesimen yang akan difoto terlebih dahulu digosok dengan *centrifugal sand paper machine* sampai rata dan halus menggunakan kertas gosok, mulai dari tingkat kekasaran 100, 240, 500, 800, 1000, 1200. Untuk memperoleh permukaan yang halus dan mengkilat, pada langkah akhir penggosokan digunakan kain *flanel* yang ditambahkan autosol dan air.
3. Permukaan spesimen yang sudah mengkilat dibersihkan dengan alkohol, kemudian ditetesi cairan etsa yaitu larutan Nital 2 %, dengan komposisi etanol 98 % dan HNO₃ 2 %.
4. Spesimen dibawa ke mikroskop logam untuk diamati. Pembesaran yang digunakan dalam pengamatan adalah 250 kali.
5. Setelah daerah batas las (*Fusion Boundary*) yang mewakili daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Fusion Zone* (FZ) terlihat dengan jelas, dilakukan pengambilan foto mikro melalui kamera pada mikroskop logam.
6. Kemudian dilakukan pengujian kekerasan pada daerah tersebut
7. Dari data yang diperoleh kemudian dianalisis sebagai penguatan terhadap data pengujian kekerasan
8. Pengambilan kesimpulan.

3.9.4. Prosedur pengujian dan pengambilan data pengujian impak

1. Permukaan benda kerja yang telah dilas diibersihkan dari terak dan kotoran

2. Pembuatan spesimen untuk pengujian impact dengan dimensi yang telah ditentukan.
3. Dilakukan *dry run test* untuk mengetahui kerugian energi pada alat.
4. Spesimen diletakkan pada landasan yang tersedia sehingga bagian punggung takik tepat pada posisi jatuhnya pendulum.
5. Dilakukan pengujian impact dengan sudut awal 120°
6. Dilakukan pencatatan sudut yang ditunjuk oleh jarum pada mesin uji impact
7. Data yang didapatkan dalam pengujian impact berupa sudut penyimpangan pendulum dimasukkan dalam rumusan yang ada untuk mendapatkan besar energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen.
8. Data hasil perhitungan diplot dalam bentuk grafik dan dianalisis
9. Pengambilan kesimpulan

3.9.5. Pengambilan data pengujian impact

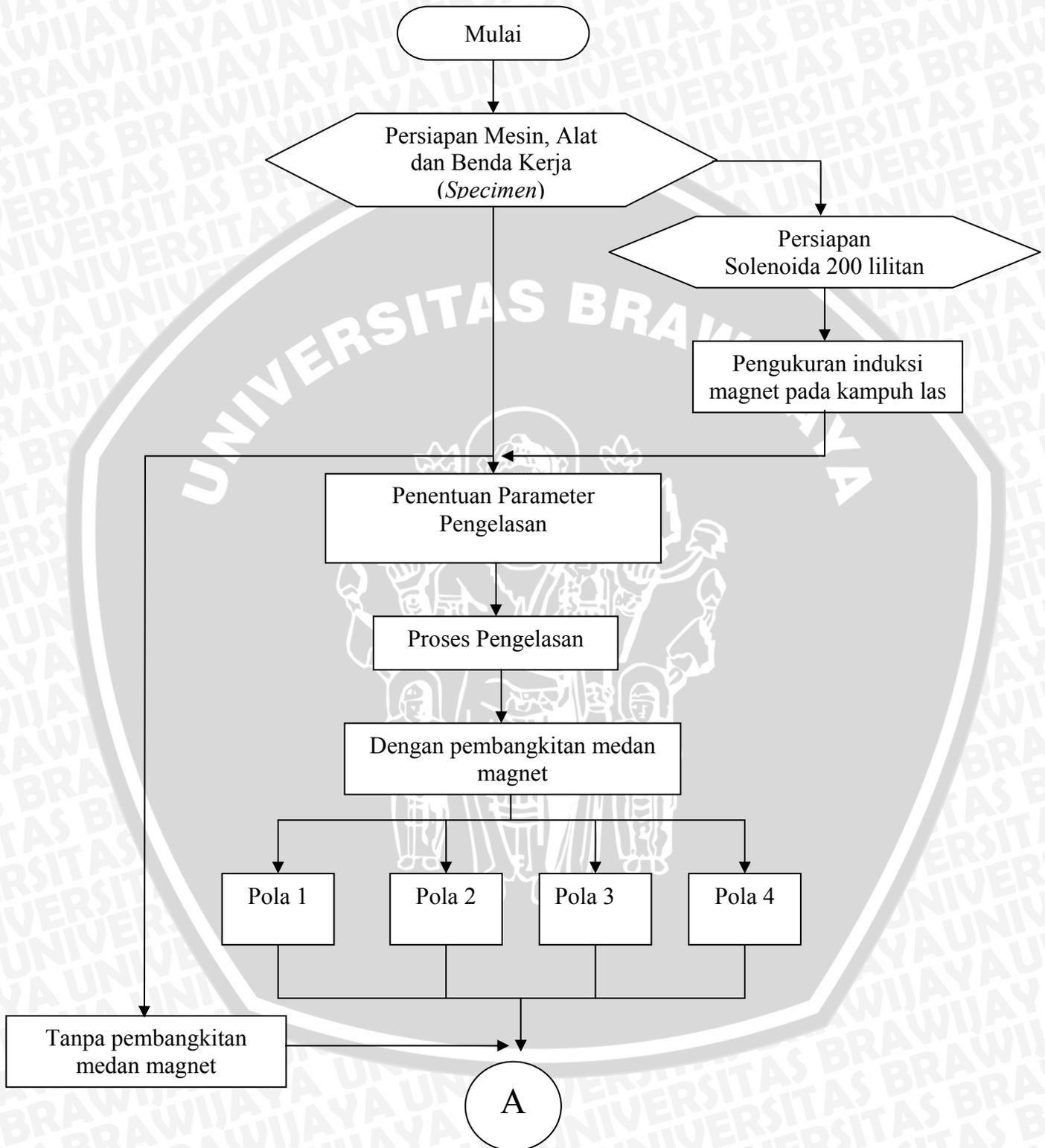
Dalam pengambilan data pada pengujian impact, data yang didapatkan berupa data sudut simpangan pendulum yaitu sudut awal (α_0) dan sudut akhir (α). Data tersebut dimasukkan ke dalam rumusan yang ada dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan data besar energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen. Hasil perhitungan tersebut kemudian dimasukkan dalam tabel 3.5 berikut:

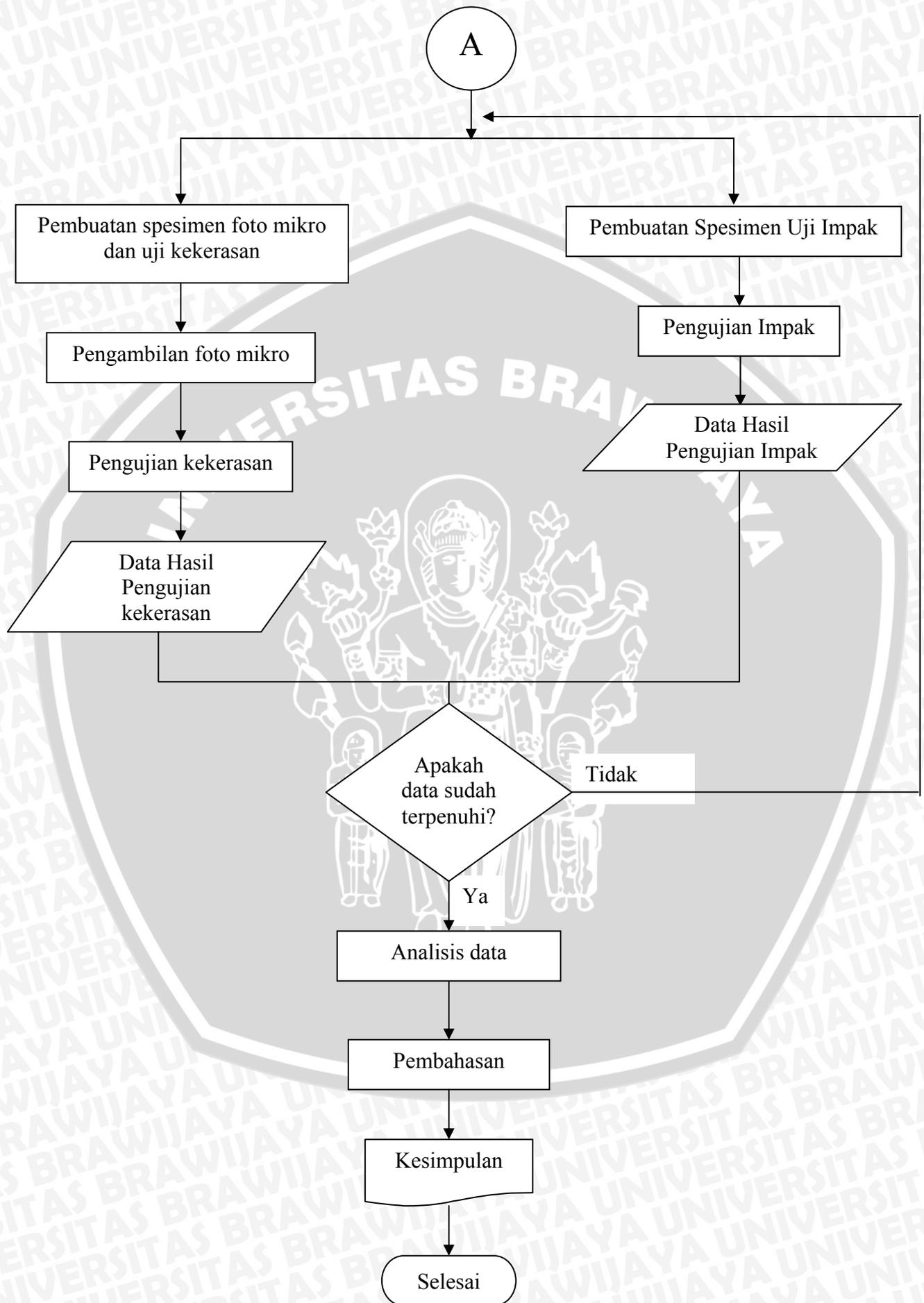
Tabel 3.5. Data besar energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen

No	Pola Pembangkitan Medan Magnet	Perulangan data		
		1	2	3
1	Pola I	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}
2	Pola II	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}
3	Pola III	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}
4	Pola IV	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}
5	Tanpa medan magnet	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}

3.10. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang dilakukan tampak seperti berikut :





BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Nilai *Carbon Equivalent*

Nilai *carbon equivalent* digunakan untuk menentukan sifat kemampulan (*Weld ability*) baja. Nilai kandungan unsur kedua logam induk dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1. Kandungan unsur kimia kedua logam induk

Logam induk St37

Steel and Grade material	Chemical Composition (%)						Tensile strength (Mpa)	Yield strength (Mpa)	Elongation (%)
	CR	Ni	C	Mn	P	S			
St37	0	0	0.19	0	0.05	0.05	350-480	235	25

Logam induk EMS45

Steel and Grade material	Chemical Composition (%)									Tensile strength (Mpa)	Yield strength (Mpa)	Elongation (%)
	CR	Al	Mo	Ni	C	Mn	P	Si	S			
EMS45	0	0.03	0	0	0.51	0.65	0.3	0.28	0.21	600-750	350-400	25

Berdasarkan International Institute of Welding (IIW) C_{eq} dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

Untuk logam induk St37

$$C_{eq} = 0.19 + \frac{0}{6} + \frac{0+0+0}{5} + \frac{0+0}{15} = 0.19 \%$$

Untuk logam induk EMS45

$$C_{eq} = 0.51 + \frac{0.65}{6} + \frac{0+0+0}{5} + \frac{0+0}{15} = 0.61 \%$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa logam induk St37 mempunyai nilai C_{eq} sebesar 0.19%, hal ini berarti bahwa kemampuan baja St37 untuk dilas adalah baik. Sedangkan logam EMS45 menunjukkan nilai C_{eq} lebih besar dari nilai karbon yang terkandung didalamnya sebesar 0.61%, dengan demikian logam EMS45 mempunyai sifat mampu las yang rendah dibanding logam St37

4.2 Pengujian Kekerasan

4.2.1 Data kekerasan

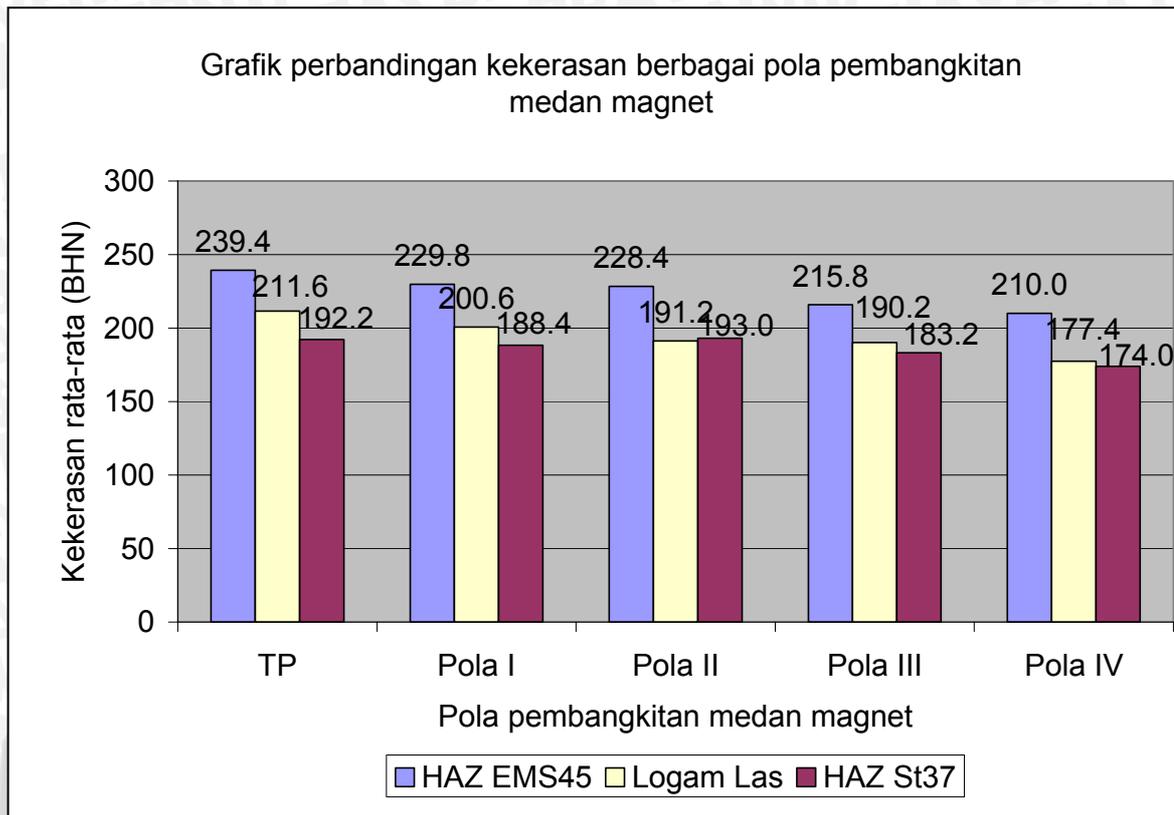
Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode brinell. Pada pengujian didapatkan data berupa angka kekerasan brinell (BHN) pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2. Data pengujian kekerasan

Daerah uji		Kekerasan	Pola Pembangkitan medan magnet				
			TP	P1	P2	P3	P4
Logam A (EMS45)	HAZ		246	232	230	212	212
			243	230	238	219	215
			240	232	229	220	210
			229	225	220	219	203
			239	230	225	209	210
		Σ	1197	1149	1142	1079	1050
	Rata-rata	239.4	229.8	228.4	215.8	210	
Logam Las			170	209	198	192	190
			187	210	200	186	193
			180	215	195	195	189
			175	209	210	193	191
			175	215	200	190	188
Σ		1058	1003	956	951	887	
Rata-rata		211.6	200.6	191.2	190.2	177.4	
Logam Las B (St37)	HAZ		189	193	195	182	173
			192	189	185	185	170
			198	180	198	180	179
			190	200	189	185	178
			192	180	198	184	170
	Σ	961	942	965	916	870	
	Rata-rata	192.2	188.4	193	183.2	174	

4.2.2 Analisa grafik kekerasan rata-rata

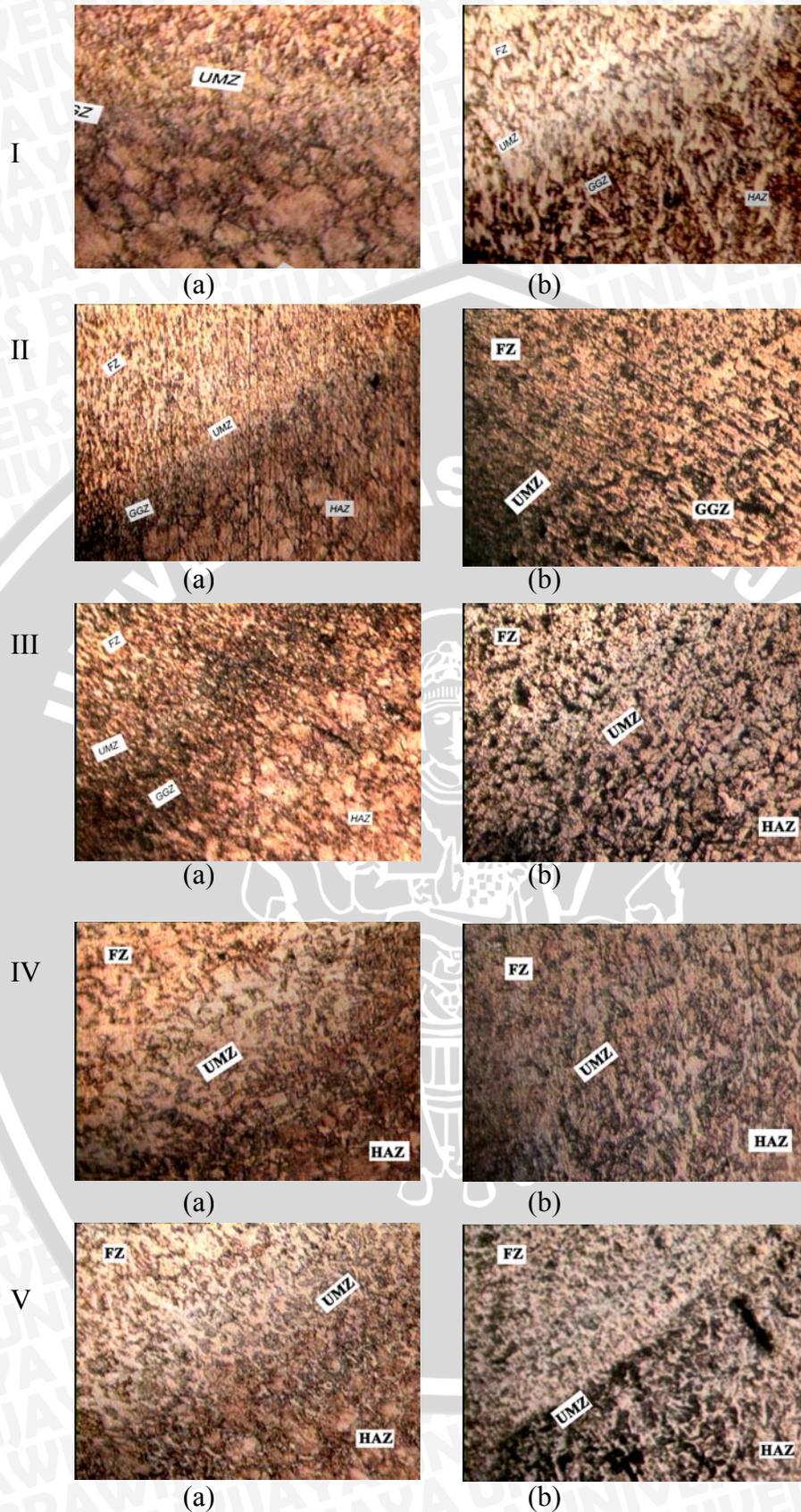
Dari data uji kekerasan yang telah diperoleh dicari kekerasan rata-rata tiap perlakuan di setiap daerah pengujian sehingga dapat dibuat grafik perbandingan kekerasan rata-rata seperti yang ditunjukkan gambar berikut :



Grafik 4.1 Perbandingan kekerasan rata-rata berbagai pola pembangkitan medan magnet

Dari grafik perbandingan kekerasan rata-rata antar perlakuan diatas dapat dilihat bahwa nilai kekerasan paling tinggi dihasilkan oleh spesimen tanpa perlakuan. Kemudian berturut-turut spesimen pada pola I, pola II, pola III, dan pola IV. Perubahan nilai kekerasan tersebut berturut-turut terjadi pada HAZ EMS45, logam las dan HAZ St37.

Pada spesimen dengan penambahan induksi magnet, penurunan nilai kekerasan daerah HAZ EMS45 sebesar 4.34% pada pola I, 4.59% pada pola II, 9.86% pada pola III dan 12.28% pada pola IV. Kemudian penurunan kekerasan logam las sebesar 5.19% pada pola I, 9.61% pola II, 10.11% pada pola III, dan 16.2% pada pola IV. Pada daerah HAZ St37 penurunan nilai kekerasan sebesar 1.98% pada pola I, 4.78% pada pola II, 4.68% pada pola III dan 9.47% pada pola IV.



Gambar 4.2 foto mikro pada daerah batas las (pembesaran 250x): gambar (a) Logam A EMS45, gambar (b) Logam B. St37, (I pada spesimen tanpa pembangkit medan magnet.) (II pada spesimen dengan pola pembangkitan I) (III pada spesimen dengan pola pembangkitan II) (IV pada spesimen dengan pola pembangkitan III) (V pada spesimen dengan pola pembangkitan IV)

4.3 Pengujian Impak

4.3.1 Data dan pengolahan data uji impak

Data pengujian impak berupa besar sudut α dan β pada tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3 Data besar sudut α dan β pada pengujian impak

No.	Pola Pembangkitan Medan Magnet	β	α_0 tanpa pembebanan	α_1 (3 kali perulangan)			
				1	2	3	Rata - rata
1	Tanpa Medan Magnet	120°	118°	88	90	87	88.33
2	Pola I	120°	118°	85	83	80	82.67
3	Pola II	120°	118°	73	70	84	75.67
4	Pola III	120°	118°	83	75	80	79.33
5	Pola IV	120°	118°	59	65	60	61.33

$$\begin{aligned} \text{Diket : } m &= 26,20 \text{ kg} \\ g &= 9,81 \\ R &= 0,75 \text{ m} \\ G &= m.g \\ &= 256,76 \\ A_0 &= p \cdot l \\ &= 10 \times 8 \\ &= 80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kerugian energi pada alat

$$\begin{aligned} f &= G.R [\sin 30^\circ - \sin \alpha] \\ &= 257,022 \cdot 0,75 [\sin 30^\circ - \sin 28^\circ] \\ &= 192,7665 [0,5 - 0,469] \\ &= 5,976 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\sin \alpha = \sin(118^\circ - 90^\circ) = \sin 28^\circ$$

Energi yang diperlukan secara ideal

$$\begin{aligned} E_{ia} &= m.g.h_1 - m.g.h_2 \\ &= m.g (h_1 - h_2) \\ &= m.g [(R + R \sin 30^\circ) - (R + R \sin \alpha)] \\ &= G [R \sin 30^\circ - R \sin \alpha] \\ &= G.R [\sin 30^\circ - \sin \alpha] \\ &= 257,022 \cdot 0,75 [\sin 30^\circ - \sin 2^\circ] \\ &= 192,7665 [0,5 - 0,035] \\ &= 103,112 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$h_1 = R + R \sin 30^\circ$$

$$h_2 = R + R \sin \gamma$$

$$\sin \alpha = \sin(90^\circ - 88^\circ) = \sin 2^\circ$$

Energi aktual yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} E_a &= E_{ia} - f \\ &= 103,112 - 5,976 \\ &= 97,135 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Energi impact per satuan luas spesimen :

$$\begin{aligned}
 E_{ik} &= \frac{A}{F_0} \\
 &= \frac{97,135}{80} \\
 &= 1,214 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan kekuatan impact kemudian ditabulasikan dalam tabel 4.4 dan tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4.4 Data Perhitungan Kekuatan Impact

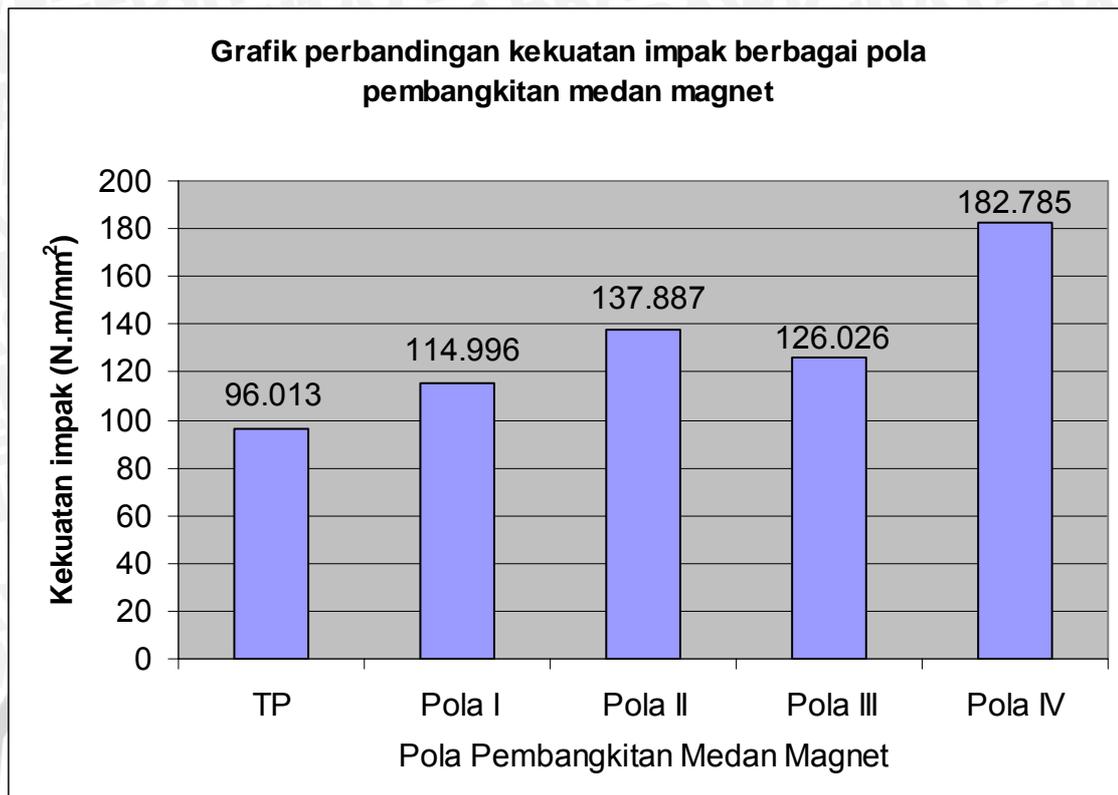
Pola Pembangkitan Magnet	Besar Induksi (mT)	ulangan	β	α_0	α_1	f	E_{ia}	E_a	E_{ik}	A_0
Tanpa Pembangkitan medan magnet	0	1	120	118	88	5,976	103,112	97,135	1,214	80
		2	120	118	90	5,976	96,383	90,407	1,130	80
		3	120	118	87	5,976	106,472	100,496	1,256	80
Pola I	2.836	1	120	118	85	5,976	113,184	107,208	1,340	80
		2	120	118	83	5,976	119,876	113,900	1,424	80
		3	120	118	80	5,976	129,857	123,881	1,549	80
Pola II	2.674	1	120	118	73	5,976	152,743	146,767	1,835	80
		2	120	118	70	5,976	162,313	156,337	1,954	80
		3	120	118	84	5,976	116,533	110,557	1,382	80
Pola III	1.802	1	120	118	83	5,976	119,876	113,900	1,424	80
		2	120	118	75	5,976	146,275	140,299	1,754	80
		3	120	118	80	5,976	129,857	123,881	1,549	80
Pola IV	2.752	1	120	118	59	5,976	195,665	189,689	2,371	80
		2	120	118	65	5,976	177,850	171,874	2,148	80
		3	120	118	60	5,976	192,767	186,791	2,335	80

Tabel 4.5 Besar energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen impact

Ulangan	Kekuatan impact (N.m/mm ²)				
	Tanpa Magnet	Pola Pembangkitan Medan Magnet			
		Pola I	Pola II	Pola III	Pola IV
1	97,135	107,208	146,767	113,900	189.689
2	90,407	113,900	156,337	140,299	171,874
3	100,496	123,881	110,557	123,881	186,791
Jumlah	288,038	344,988	413,661	378,079	548,354
Rata - rata	96,013	114,996	137,887	126,026	182,785

4.3.2 Analisa grafik kekuatan impact rata-rata

Dari data kekuatan impact yang telah diperoleh dari penelitian yang dilakukan, dapat dibuat rata-rata tiap perlakuan serta dibuat grafik perbandingan kekuatan impact rata-rata seperti pada gambar 4.3 berikut



Grafik 4.3 Perbandingan kekuatan impak pada berbagai pola pembangkitan medan magnet

Dari grafik perbandingan kekuatan impak rata-rata berbagai pola pembangkitan medan magnet seperti terlihat pada gambar 4.3 diketahui nilai kekuatan impak untuk spesimen las tanpa perlakuan sebesar 96.013 N.m/mm². Kemudian setelah diberi perlakuan berupa penambahan induksi magnet pada berbagai pola pembangkitan, nilai kekuatan impak spesimen meningkat sebesar 19.8% pada pola I, 43.6% pada pola II, 31.25% pada pola III dan 90.37% pada pola IV.

4.4 Pembahasan

Seperti pada umumnya sifat mekanik logam ditentukan dari struktur mikronya. Akibat dari pengelasan menyebabkan perubahan struktur mikro di daerah HAZ, logam las dan kehomogenan kolom las yang semuanya tergantung dari kondisi pengelasan.

Berdasarkan gambar 4.1 dapat diketahui bahwa secara umum kekerasan rata-rata hasil pengelasan menurun setelah mendapatkan penambahan induksi magnet dibandingkan dengan hasil pengelasan tanpa perlakuan, disebabkan karena dengan adanya penambahan medan magnet eksternal pada saat proses pengelasan akan meningkatkan laju konveksi pada *weld pool*, sehingga hal ini berpengaruh terhadap mikrostruktur yang terbentuk dimana dalam pengelasan ini terdapat dua logam induk

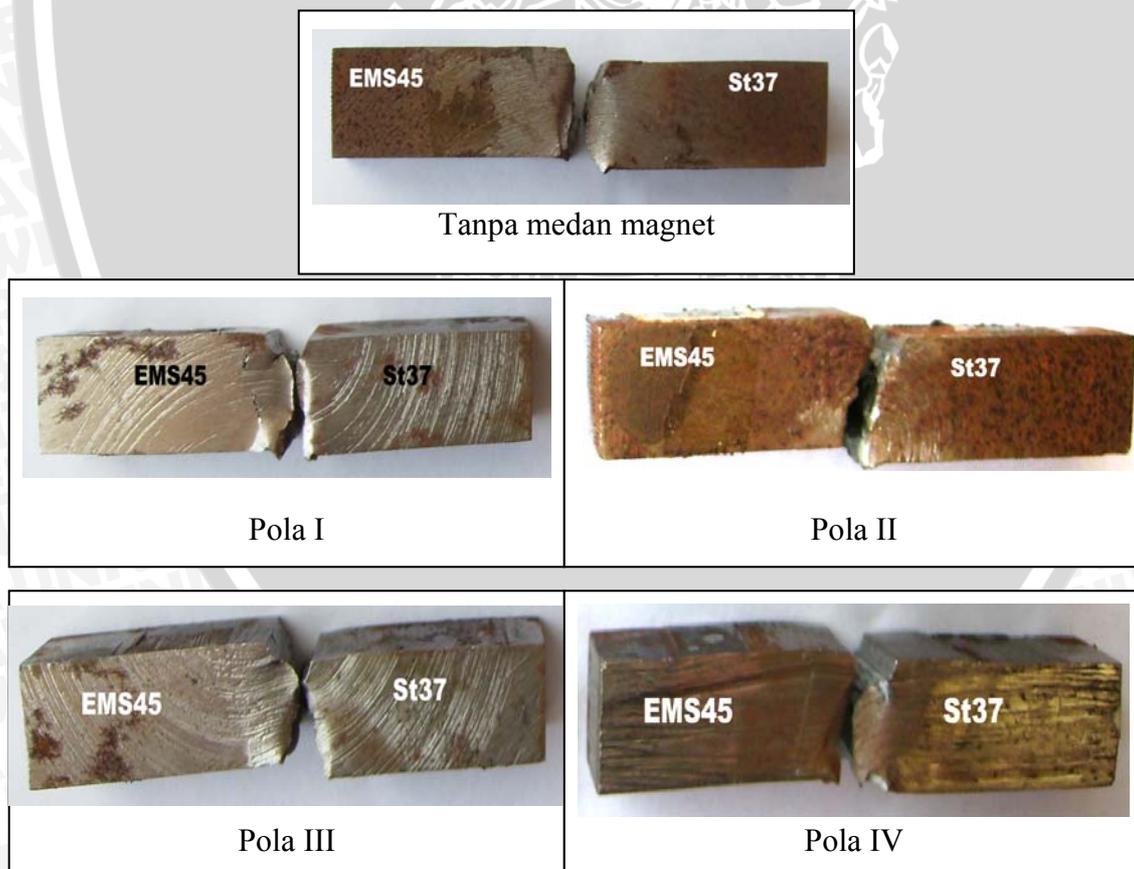
yang berbeda yang memiliki butiran atom atau susunan atom yang berbeda dan kandungan unsur yang berbeda pula.

Pada spesimen dengan penambahan induksi magnet, kekerasan akan semakin menurun seiring dengan perubahan pola pembangkitan medan magnet yang dilakukan pada saat proses pengelasan berlangsung. Pada spesimen pola IV dengan induksi sebesar 2,752 mT kekerasan logam las menjadi lebih rendah dibandingkan dengan pola yang lain. Penurunan ini disebabkan karena adanya perubahan struktur mikro pada daerah HAZ, dimana dengan adanya penambahan induksi magnet menyebabkan laju konveksi meningkat. Dengan semakin meningkatnya laju konveksi ternyata dapat merubah nilai efektif konduktifitas termal dari logam cair menjadi lebih besar sehingga temperatur kolam las menjadi lebih rendah (gambar 2.15). Temperatur kolam las yang rendah menyebabkan laju pendinginan menjadi lambat. Laju pendinginan yang lambat akan memberikan kesempatan pada butiran untuk tumbuh menjadi butiran yang besar (gambar 4.2). terbentuknya butiran yang besar inilah yang mengakibatkan kekerasannya menjadi lebih rendah. Hal ini berarti bahwa material tersebut berubah menjadi material yang ulet.

Berdasarkan grafik 4.3 secara umum terlihat bahwa penambahan induksi magnet selama proses pengelasan berlangsung dapat meningkatkan kekuatan impact pada sambungan las. Hal ini dapat dilihat adanya perbedaan yang cukup signifikan antara spesimen tanpa perlakuan dan spesimen dengan penambahan induksi magnet. Seperti yang terlihat pada grafik diatas penambahan induksi magnet pada saat pengelasan berlangsung dengan berbagai pola pembangkitan medan magnet kekuatan impact rata – rata meningkat sehingga energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen semakin meningkat pula seiring dengan perubahan pola pembangkitan medan magnet yang dilakukan

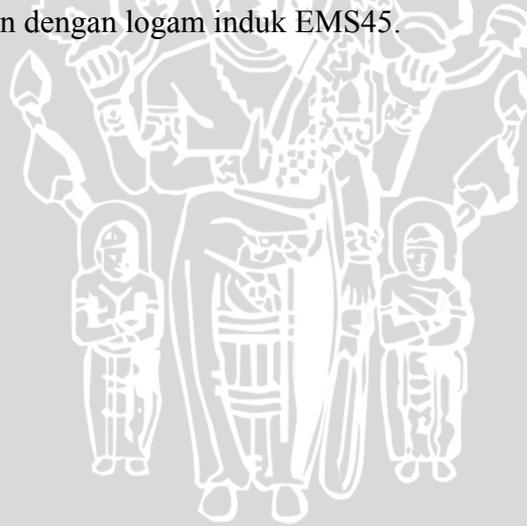
Pada spesimen dengan pemberian induksi magnet akan meningkatkan laju konveksi pada *weld pool*. Peningkatan laju konveksi pada *weld pool* sangat berperan penting dalam menyeragamkan butiran antara kedua logam induk dan meminimalisir daerah *unmixed zone* yang terbentuk (gambar 4.2). Daerah *unmixed zone* yaitu lapisan logam cair pada daerah dekat batas las yang cenderung diam (*stagnan*) selama proses sirkulasi logam las cair berlangsung. Terbentuknya daerah *unmixed zone* sangat dipengaruhi oleh konveksi yang terjadi pada *weld pool* selama proses pengelasan berlangsung sehingga hal ini juga berdampak pada homogenitas *weld pool* dan kekuatan mekanik sambungan las.

Pada spesimen dengan pemberian induksi magnet, perubahan pola pembangkitan medan magnet mengakibatkan terjadinya perubahan pola konveksi pada kolam las tergantung dari arah gaya medan magnet yang dibangkitkan. Dari beberapa pola pembangkitan medan magnet yang dilakukan ternyata pola pembangkitan medan magnet secara bergantian (*intermittent*) memiliki kekuatan impak paling tinggi dibanding pola yang lain. Hal ini disebabkan karena logam las cair dapat teraduk secara sempurna sebelum mengalami solidifikasi sehingga konveksi pada *weld pool* meningkat. Dengan semakin meningkatnya laju konveksi pada *weld pool* ternyata dapat merubah nilai efektif konduktifitas termal dari logam cair menjadi lebih besar sehingga menyebabkan temperatur kolam las menjadi lebih rendah (gambar 2.15. Pengaruh peningkatan konveksi terhadap nilai efektif konduktifitas thermal Kou, sindo.,1987:16). Temperatur kolam las yang rendah menyebabkan laju pendinginan yang lambat. Laju pendinginan yang lambat akan memberikan kesempatan pada butiran untuk tumbuh menjadi butiran yang besar. Terbentuknya butiran yang besar mengakibatkan keuletannya tinggi sehingga kekuatan impak yang diperlukan untuk mematahkan spesimen tersebut semakin besar pula.



Gambar 4.4 Patahan spesimen setelah uji impak

Gambar 4.4 menunjukkan patahan spesimen setelah uji impact. Proses terjadinya perpatahan pada suatu material terdiri atas dua tahap, yaitu timbulnya retak dan proses perambatan retakan. Dimana kekuatan impact dari sambungan las dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, logam lasan, dan daerah HAZ. Akibat dari pengelasan menyebabkan perubahan struktur mikro pada daerah HAZ, logam las dan kehomogenan kolom las yang semuanya tergantung dari kondisi pengelasan. Secara umum dari bentuk patahan las yang dihasilkan cenderung mengarah ke bahan EMS45. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan karbon ekuivalen pada masing-masing bahan dimana C_{eq} EMS45 lebih tinggi dari pada St37 yang berarti bahwa sifat mampu las (*weld ability*) bahan tersebut rendah. sehingga hal ini berpotensi menyebabkan terjadinya daerah *unmixed zone* lebih besar. Karena tidak tercampurnya kedua logam itulah yang menyebabkan patahan spesimen impact cenderung mengarah ke logam EMS45. Sedangkan pada batas las daerah logam induk St37 juga terdapat daerah *unmixed zone* tetapi daerah *unmixed zone* pada daerah batas las ini tidak begitu lebar, hal ini dikarenakan logam induk St37 mempunyai *weld ability* yang baik sehingga logam induk St37 mampu tercampur dengan baik di bandingkan dengan logam induk EMS45.



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pengaruh pola pembangkitan medan magnet solenoida terhadap kekerasan dan kekuatan impact pada pengelasan Baja St37 dengan EMS45 yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Perubahan pola pembangkitan medan magnet solenoida yang dilakukan pada saat proses pengelasan dapat memberikan laju konveksi *weld pool* yang berbeda pada logam las yang dialiri arus pembangkit medan magnet, dengan laju konveksi yang semakin besar menyebabkan berkurangnya daerah *unmixed zone* pada batas las sehingga kekerasan menjadi lebih rendah tetapi keuletannya meningkat.
- Ketangguhan hasil las salah satunya ditentukan oleh besarnya energi impact yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen. Dengan adanya penambahan induksi magnet pada pengelasan dapat meningkatkan kekuatan impact sambungan las dikarenakan terjadinya pendinginan yang lambat akibat laju konveksi yang semakin meningkat. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui kekuatan impact paling optimum dicapai oleh pola IV, yaitu ketika kedua sisi logam dibangkitkan magnet secara bergantian (*intermittent*) sebesar 182,785 N.m/mm²

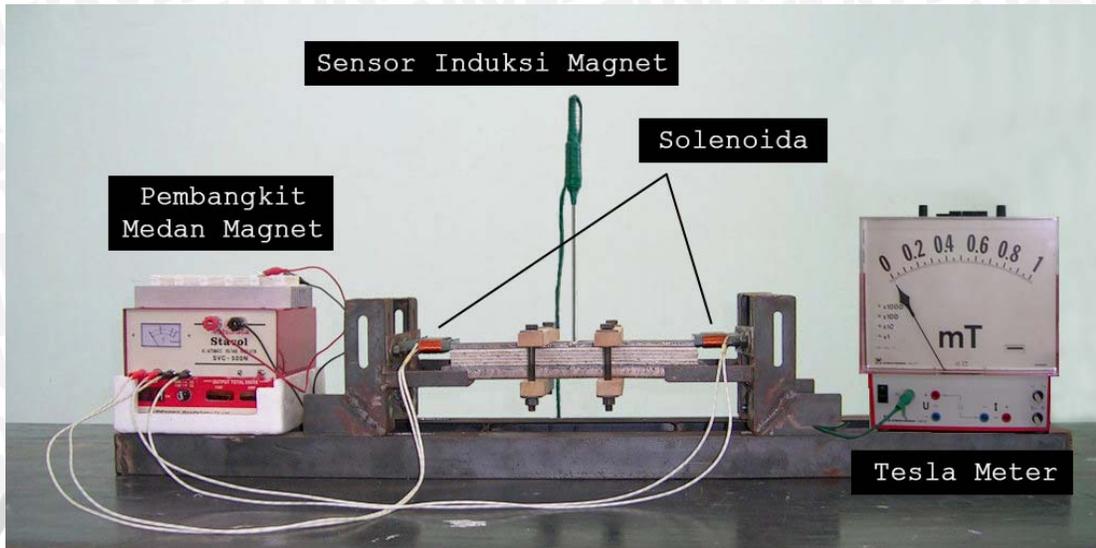
5.2. Saran

Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai, korosi dan laju pendinginan pada daerah *fusion boundary* akibat perubahan pola pembangkitan medan magnet secara bergantian (*intermittent*) dengan frekuensi yang berbeda

DAFTAR PUSTAKA

- De Herrera, Naomi. 2003. *Computer Calculation of Fusion Zone Geometry Considering Fluid Flow and Heat Transfer During Fusion Welding*. Forms.gradsch.psu.edu
- Hughes, Michael. et all.2000. *Thermocapillary and Magnetohydrodynamics Effect in Modelling The Thermodynamics of Stationary Welding Processes*. people.brunel.ac.uk
- Kearn, W.H. 1993. *Welding Handbook* seventh edition volume 4
- Kern, M. et all. 2000. *Magneto-Fluid Dynamics Control of Seam Quality in CO₂ Laser Beam Welding*. www.aws.org
- Kostov; Andonov.2005. *Modelling Of Magnetic Fields Generated By Cone-Shape Coils For Welding With Electromagnetic Mixing*.
- Kou, Sindo. 1987. *Welding Metallurgy*. John Willey & Sons : Canada.
- Leman, S. Arianto.dkk. 2003. *Pengaruh Siklus Thermal Terhadap Sifat Fisis-Mekanis pada Pengelasan Titik Antara Stainless Steel SUS 304 dengan Baja SS 400*. National Mechanical Engineering Seminar. Brawijaya University: Malang
- Messler, Robert. W. 1999. *Principles of Welding*. John Wiley & Sons : Canada.
- Pranoto., Bardji.H. 1992. *Teori dan Petunjuk Praktikum Pengujian Logam*. FT. Unibraw: Malang.
- Smith, William F. 2004. *Foundation of Material Science and Engineering. Third Edition*. Mc Graw Hill : New York.
- Widharto, Sri. 2003. *Petunjuk Kerja Las*. PT. Pradnya Paramita : Jakarta.
- Wirjosumarto, Harsono; Toshie Okumura. 1994. *Teknologi Pengelasan Logam*. PT. Pradnya Paramita: Jakarta.
- www.cvgs.k12.va.us
- www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu

Lampiran 1. Instalasi penelitian



Instalasi alat penelitian



Peletakan magnet solenoida

repository.ub.ac.id

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 2. Foto kegiatan penelitian



Pelaksanaan pengambilan data induksi magnet dengan teslameter

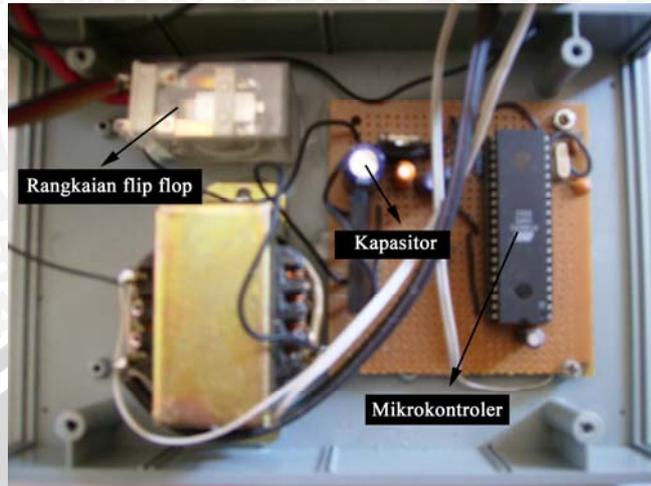


Instalasi pengukuran induksi magnet



Pelaksanaan pengelasan di BLK Singosari

Lampiran 3. Foto alat-alat penelitian



Rangkaian flip flop



Teslameter digital



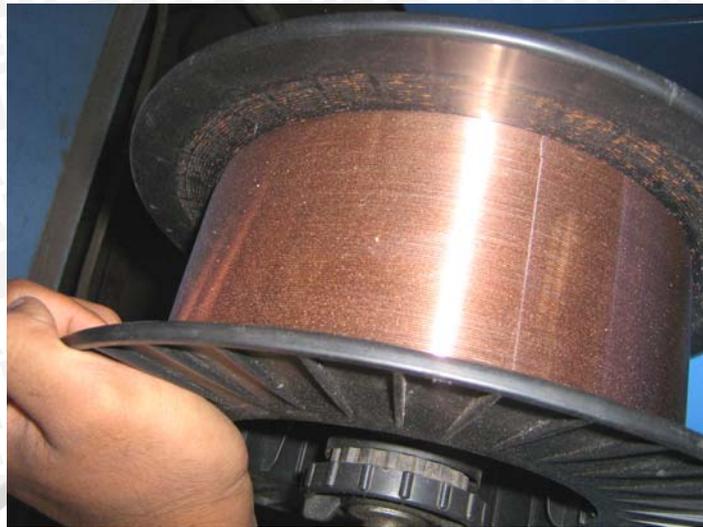
Sumber Tegangan Stavolt



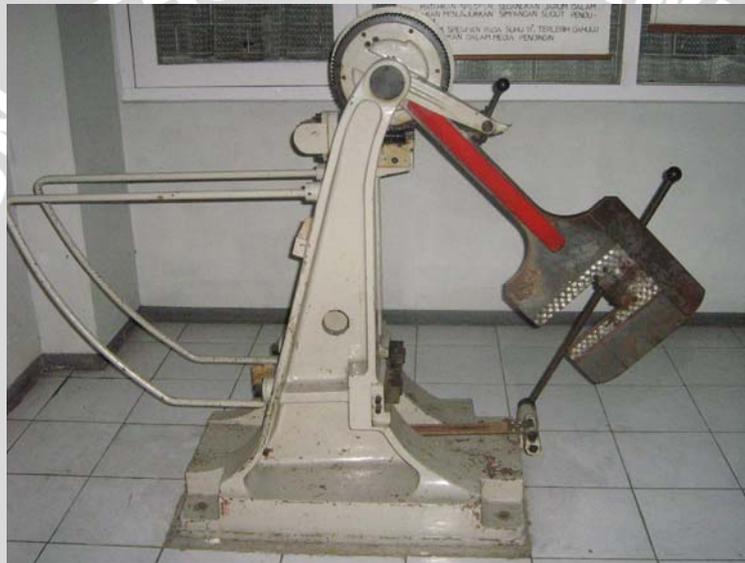
Mesin Las MIG



Tabung gas CO₂



Filler (kawat Las)



Alat Uji Impact Charpy



Alat Uji kekerasan Brinell



Mesin Poles (*Centrifugal Sand Paper*)



Kamera digital



Mikroskop logam

Lampiran 4. Foto mikro pada daerah batas las (*fusion boundary*)



Foto mikro *fusion boundary* pada spesimen tanpa perlakuan Logam A EMS45

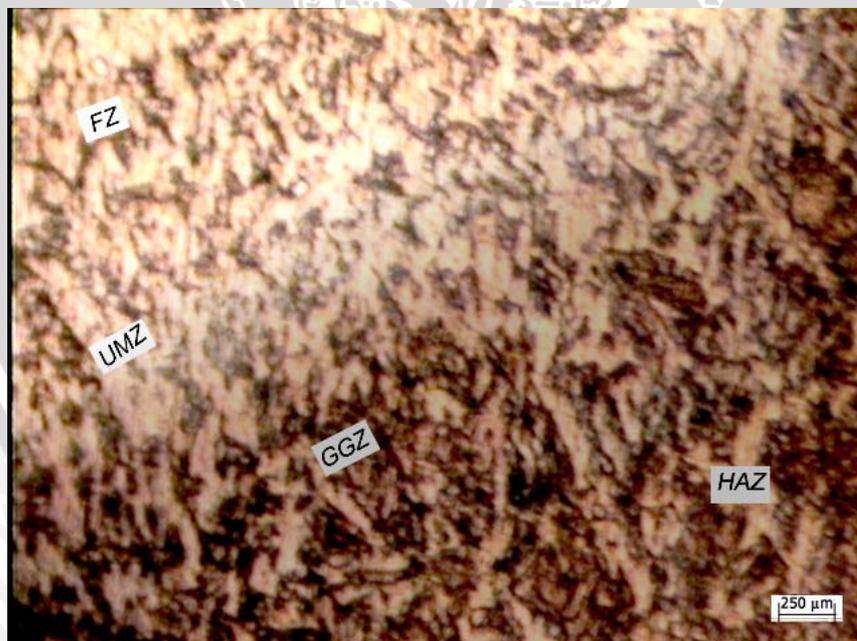


Foto mikro *fusion boundary* pada spesimen tanpa perlakuan Logam B St37



Foto mikro *fusion boundary* pada spesimen dengan pola pembangkitan medan magnet pola I pada logam A EMS45

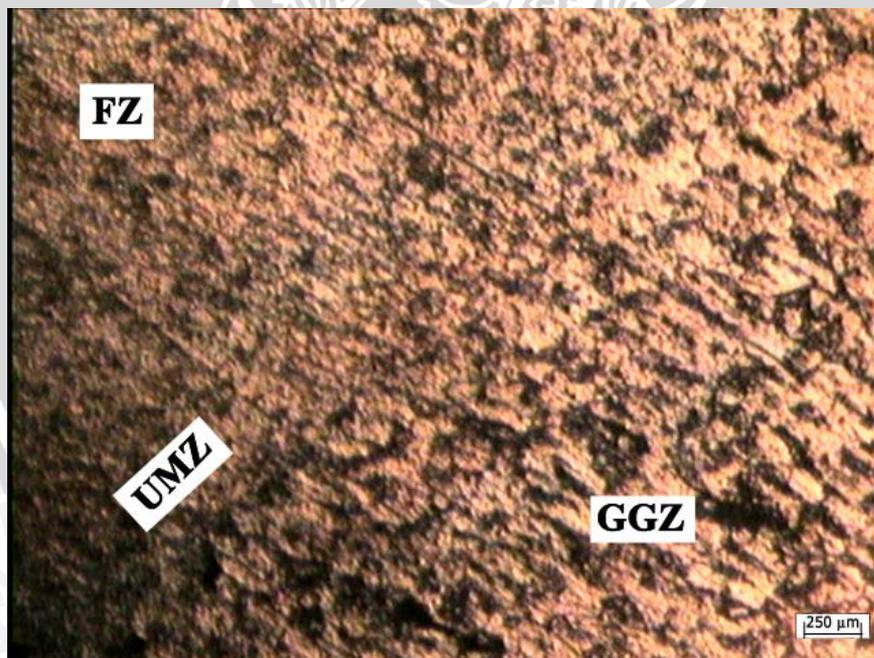


Foto mikro *fusion boundary* pada spesimen dengan pola pembangkitan medan magnet pola I pada logam B. St37

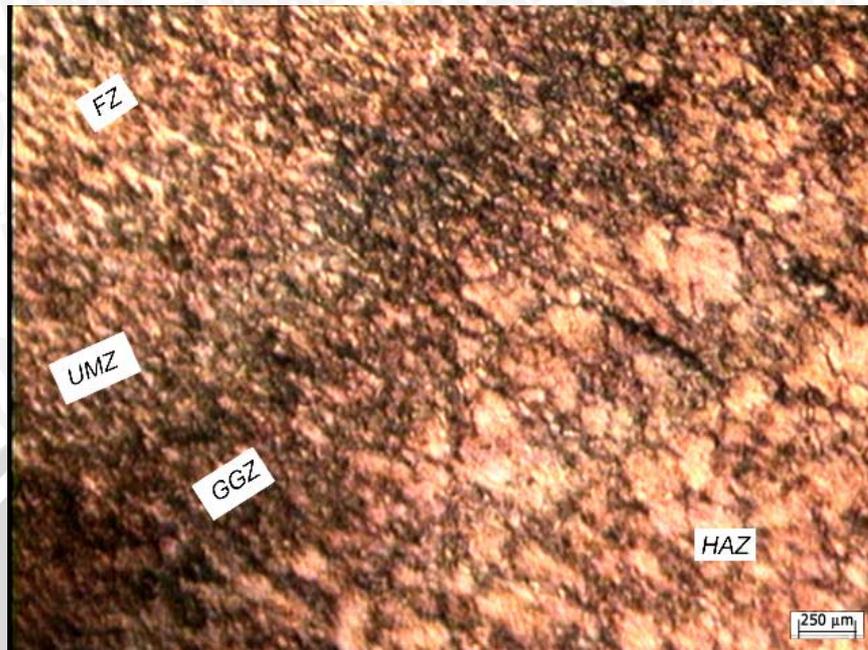


Foto mikro *fusion boundary* pada spesimen dengan pola pembangkitan medan magnet pola II pada logam A EMS45

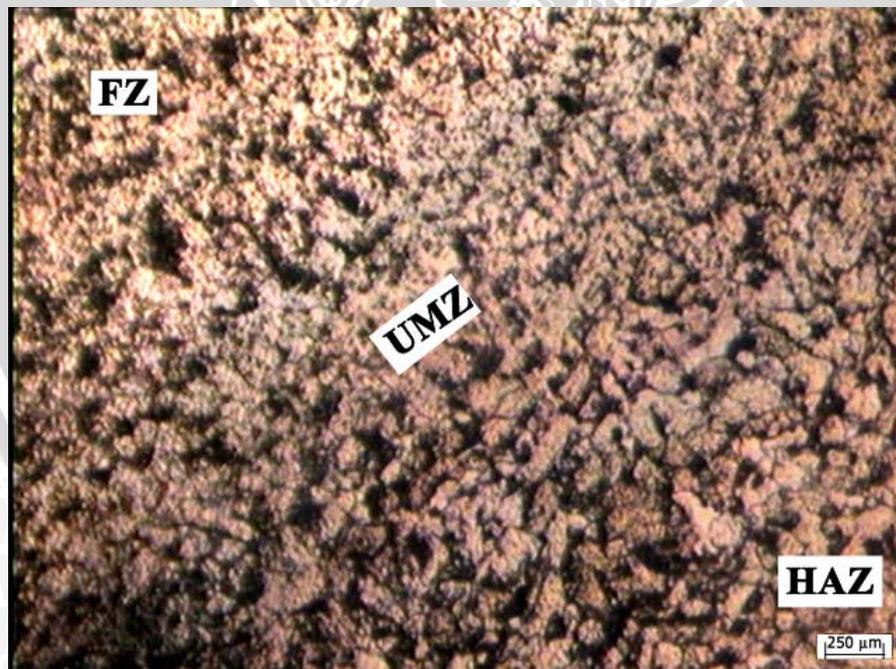


Foto mikro *fusion boundary* pada spesimen dengan pola pembangkitan medan magnet pola II pada logam B. St37

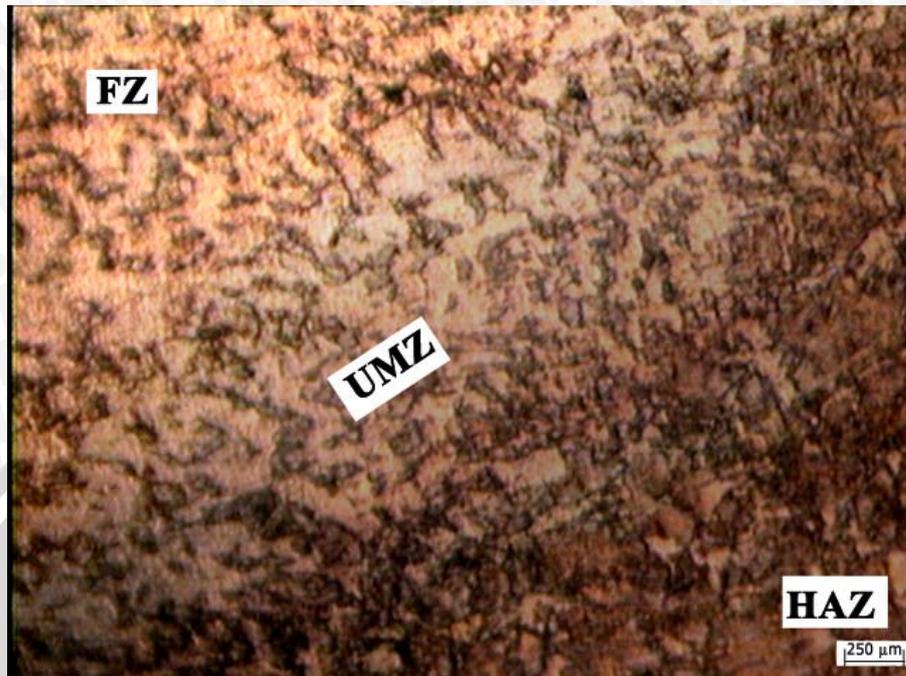


Foto mikro *fusion boundary* pada spesimen dengan pola pembangkitan medan magnet pola III pada logam A EMS45

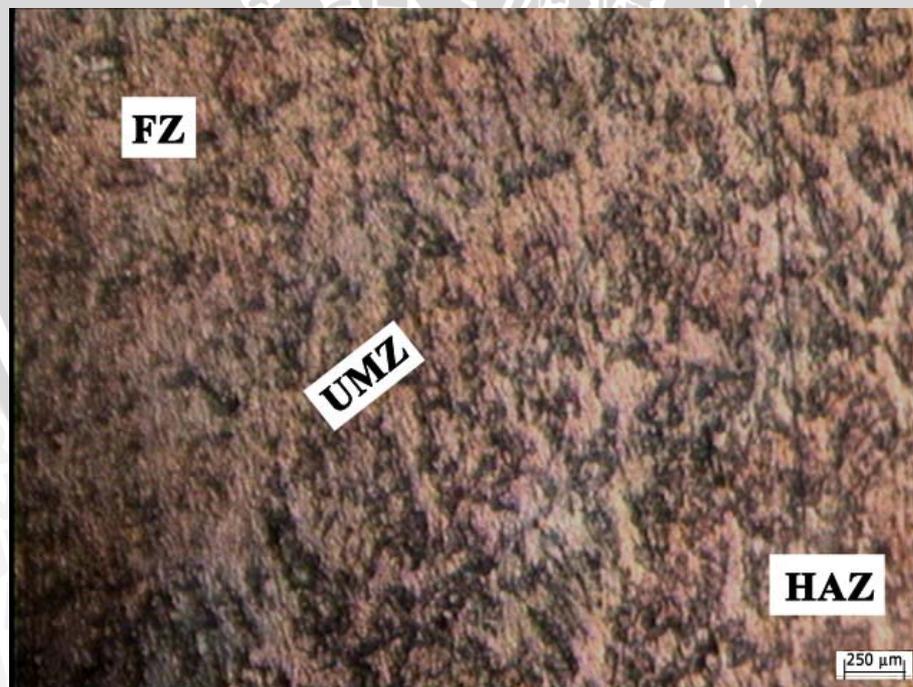


Foto mikro *fusion boundary* pada spesimen dengan pola pembangkitan medan magnet pola III pada logam B. St37

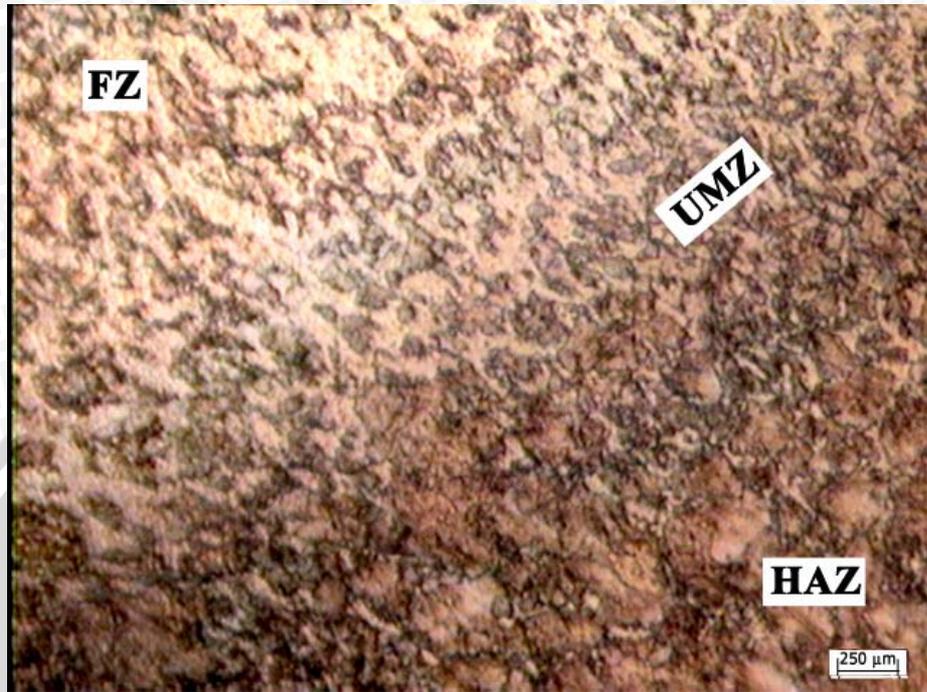


Foto mikro *fusion boundary* pada spesimen dengan pola pembangkitan medan magnet pola IV pada logam A EMS45

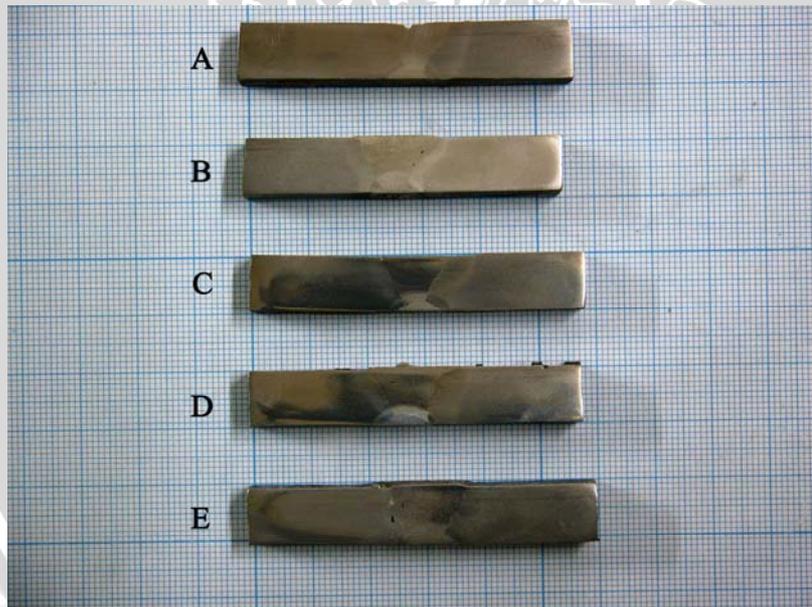


Foto mikro *fusion boundary* pada spesimen dengan pola pembangkitan medan magnet pola IV pada logam B. St37

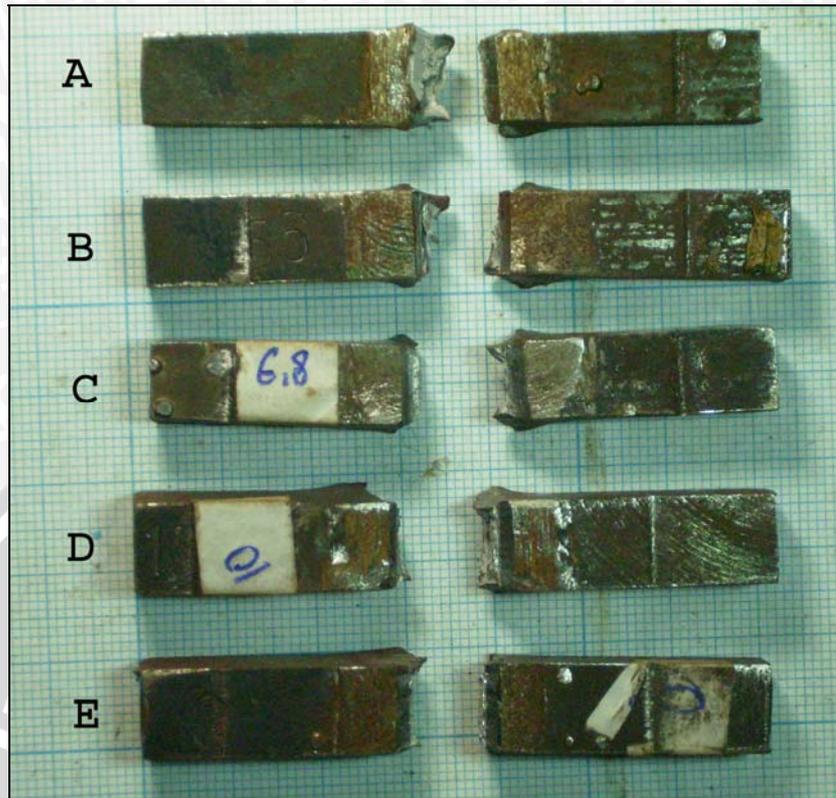
Lampiran 5. Foto Spesimen Sebelum dan Sesudah Pengujian Mekanis.



Spesimen sesudah pengelasan



Gambar spesimen foto mikrostruktur dan uji kekerasan
(a) Spesimen tanpa perlakuan; (b) Spesimen pola I; (c) Spesimen pola II; (d) Spesimen pola III; (e) Spesimen pola IV



Gambar Patahan Spesimen uji impak setelah dilakukan pengujian
 (a) Spesimen impak pola I (b) Spesimen impak pola II (c) Spesimen impak pola III (d) Spesimen impak pola IV (e) Spesimen impak tanpa perlakuan



Gambar patahan spesimen uji impak setelah dilakukan pengujian
 (a) spesimen impak pola I (b) spesimen impak pola II (c) spesimen impak pola III (d) spesimen impak pola IV (e) Spesimen impak tanpa perlakuan

Lampiran 6.

Sertifikat material St37 yang dikeluarkan P.G. Candi Sidoarjo



PT. PABRIK GULA CANDI BARU

Jl. Raya Candi 10 - SIDOARJO 61271
Telp. (031) 8921003 - 4
Fax. (031) 8921002
Kotak Pos 194
Email pgc4nd1@indo.net.id

STEEL GRADE STANDARD (DIN)

Dimension of Material

150mm x 90mm x 10mm

A lot of

15 Pcs

Weight

15 kg

Standard and Steel Grade	Chemical composition, %						Tensile Strength Mpa	Yield Strength Mpa	Elongation, %
	CR	Ni	C	Mn	P	S			
St 37	0	0	0,19	0	0,05	0,05	350 - 480	235	25

Sidoarjo, 29 September 2006

Mengetahui

Manula Seksi Boiler



Parwoko.D. ST

Sertifikat Pembelian Material EMS 45



P.T. BHINNEKA BAJANAS

S.I.U.P. No. 1296/97/00 - 02/PB/XII/2000

Jl. Karang Bolong Raya No.5, Ancol Barat, Jakarta - Indonesia P.O.Box 4103/JKT
Phone: 62-21-6912116, 6912201, 6922122, 6925431, 6925591, 6909308 (hunting) Fax: 6911569, 6924291

Besteller/Purchaser/Commandant

P. T. LADANG BAJA MURNI
JL AGUNG PODOMORO BLOK O III/40
JAKARTA 14350

Nr./No./No.: 935.904 05.10.25
Seite/Page/Page: 01

Bestell Nr./Purchase's Order No./No. de commande
LBM/2695/44

Umsatz Auftrag Nr./Sales Order No./No. commande d'usage
928.859/RI

Lieferchein/Dispatch note/Aviz d'expédition
52/101.376/05

Profilzustand/Object of test/Object d'examen
STEEL BARS IN GRADE AISI 1045
EMS 45 (K945)

Umfang der Lieferung/Volume of delivery/Liste descriptive

16 X 1010.00 MM
20 X 1010.00 MM
25 X 1010.00 MM

Gewicht kg
Weight kg
Poids kg

Schmelze
Melt No.
No. de coulée

Prüf-Nr
Test No.
Epreuve No.

5727.00 71477 01
5244.00 71477 02
5737.00 71477 03

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Schmelze
Melt No.
No. de coulée

	C	SI	MN	P	S	CR	Ni	Mo	V	Al
71477	.51	.28	.65	.030	.021					.03

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Prüf-Nr
Test No.
Epreuve No.

Haerte/
Brinell

Tensile Strength
(Rm) N/mm²

Yield Strength
(Rp 0.2) N/mm²

Elongation
%

Reduction
%

Prüf-Nr Test No. Epreuve No.	Haerte/ Brinell	Tensile Strength (Rm) N/mm ²	Yield Strength (Rp 0.2) N/mm ²	Elongation %	Reduction %
01	171	640	391	26.0	
02	168	638	390	25.0	
03	168	639	389	26.0	

TRUE COPY

SERTIFIKAT INI HANYA BERLAKU

UNTUK DO NO : *0*



SAF NERTALIC 70A

Applications

- General purpose CO₂ and MAG (Argon + CO₂) welding wire
- Steel structures and heavy construction
- Automotive equipment and parts, motor bikes
- Trains and rollingstock
- Steel fabrication

Classification

Institutions	AWS	DIN	BS	AFNOR
Reference	A5.18	8559	2901-1	NFA81-311
Classification	ER70S-6	SG2	A18	GS2

Typical chemical analysis

	C	Mn	Si	S	P
of wire	0.08	1.4	0.8	0.015	0.015
of weld metal with CO ₂ *	0.06	1.0	0.65	0.015	0.015
of weld metal with Argon/CO ₂ *	0.06	1.1	0.7	0.015	0.015

* excluding dilution, meeting NFA81-311/312 (wire dia. 1.2-250A-40 cm/mn)

Typical mechanical characteristics

Gas	Argon/CO ₂ (82/18)	CO ₂
Heat treatment	without	without
UTS (N/mm ²)	590	580
YS (N/mm ²)	500	490
Elongation (l=5d) %	25	25
Reduction of section %	65	65
CVN (J) at -20°C	90	100

Approvals

	Nertalic 70A/CO ₂	Nertalic 70A/Argon+CO ₂
American Bureau of Shipping (ABS)	Yes	Yes
Lloyd's Register of Shipping (LRS)	Yes	Yes
TÜV	Yes	Yes
Deutsche Bundesbahn (DB)	Yes	Yes
Controlas (CL)	-	Yes

Packaging & References

Plastic spools (D300) of 16 kg, Precision Layer Wound (picture no.1)

Other packagings available on demand:

- Metal basket spool (K300) of 20 kg, Precision Layer Wound (picture no.2) to be used with an adapter (supplied with all SAF MIG machines)
- ENDURO Drum 250 or 300 kg, for high productivity applications (picture no.3) (automatic welding, robotic welding) dia. 520 mm - height 850 mm to be used with ENDURO Drum Cone Kit (1090-4655)
- PB small plastic spool (D100) of 5 kg (picture no.4)

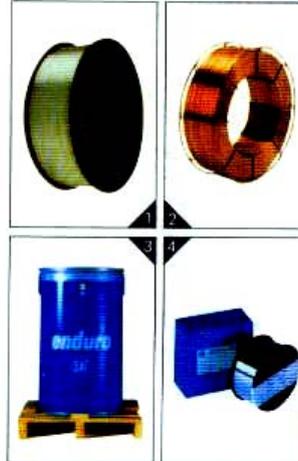
	Plastic spool D300-16 kg Precision Layer Wound	Metal basket spool K300-20 kg Precision Layer Wound	ENDURO Drum 250 kg or 300 kg
Nertalic 70A Dia	on demand (5 kg)		
0.6			
0.8	1090-4853	1090-4210	1090-4690
0.9	1090-4854	on demand	on demand
1.0	1090-4855	1090-4211	1090-4686
1.2	1090-4856	1090-4212	1090-4687
1.6	1090-4857	1090-4213	



Manual CO₂-MAG



Automatic CO₂-MAG



Exclusive Agent:

Kawan Lama MultiWeldindo pt

Jakarta : Jl. Puri Kencana No.1, Jakarta 11610 (Effective July 1997)
Telp.: (021) 5827777; Fax: (021) 5823977

Surabaya : Pertokoan Raden Saleh Permai
Jl. Raden Saleh No. 51A Kav.26, Surabaya 60174
Telp.: (031) 5351286-7, 5326935, Fax: (031) 5326935

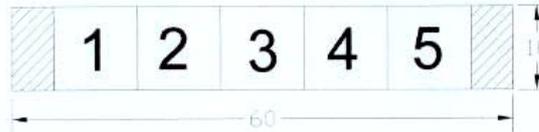


Spesifikasi Filler (kawat las)

Lampiran 7. Data pengujian induksi magnet

DATA HASIL PENGUJIAN

Jenis Pengujian : Uji induksi magnet pada daerah kampuh las
Material : Baja St 37 dengan EMS 45
Jumlah : 2 Spesimen
Tanggal Pengujian : 14 Februari 2007
Tempat Pengukuran : Laboratorium Jurusan Fisika, Fakultas MIPA
Universitas Negeri Malang
Alat Yang Digunakan : Teslameter
Merek PHVWE
Buatan Jerman
Skala ukur 0-2000 mT
Nama Mahasiswa : M. Irwan Hambali
Teknik Mesin UNIBRAW



Besar induksi magnet untuk spesimen uji impak pada tiap zona :

No	Variasi Pola Pembangkitan Medan Magnet	Induksi Magnet (mT)				
		1	2	3	4	5
1	Pola I	3,45	2,85	2,5	2,85	3,43
2	Pola II	3,05	2,5	2,22	2,6	3,00
3	Pola III	2,05	1,66	1,58	1,67	2,05
4	Pola IV	3,25	2,67	2,36	2,73	3,21

Mengetahui
Kepala Laboratorium Fisika Dasar
Universitas Negeri Malang

The signature of Dr. Abdullah Fuad, Msi is written over a circular blue stamp. The stamp contains the text "LABORATORIUM FISIKA" and "Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang".

Dr. Abdullah Fuad, Msi

Lampiran 8. Data Pengujian Impak

	LABORATORIUM UJI LOGAM JURISAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MERDEKA MALANG	
	LEMBAR DATA UJI KETAHANAN IMPAK	
Nama : MOHAMMAD IRWAN HAMBALI NIM : 0210623048 Asal Institusi : Jur. Mesin Fak. Teknik Universitas Brawijaya		
Hari/ Tanggal : Kamis / 01 Maret 2007 Pukul : 08.00 s/d 13.00 Standart Uji : ASTM		Jenis Mesin : Impact Testing Machine Jenis Bahan : St37 Dengan EMS45 Jenis Pengujian : Charpy Bentuk Takikan : V

Pola Pembangkitan Magnet	Besar Induksi (mT)	ulangan	β	α_0	α_1	f	E_{ia}	E	E_{ik}	A_0
Tanpa Pembangkitan medan magnet	0	1	120	118	88	5.976	103.111	97.135	1.214	80
		2	120	118	90	5.976	96.383	90.407	1.130	80
		3	120	118	87	5.976	106.472	100.496	1.256	80
Pola I	2.836	1	120	118	85	5.976	113.184	107.208	1.340	80
		2	120	118	83	5.976	119.876	113.900	1.424	80
		3	120	118	80	5.976	129.857	123.881	1.549	80
Pola II	2.674	1	120	118	73	5.976	152.743	146.767	1.835	80
		2	120	118	70	5.976	162.313	156.337	1.954	80
		3	120	118	84	5.976	116.533	110.557	1.382	80
Pola III	1.802	1	120	118	83	5.976	119.876	113.900	1.424	80
		2	120	118	75	5.976	146.275	140.299	1.754	80
		3	120	118	80	5.976	129.857	123.881	1.549	80
Pola IV	2.752	1	120	118	59	5.976	195.665	189.689	2.371	80
		2	120	118	65	5.976	177.850	171.874	2.148	80
		3	120	118	60	5.976	192.767	186.791	2.335	80

Malang, 26 Maret 2007

Ka. Lab. Uji Logam



FAKULTAS TEKNIK
 JURUSAN MESIN
 LABORATORIUM
 UJI - LOGAM

Ir. H. JUMIADI, MT

Lampiran 9. Surat-surat Keterangan



PEMERINTAH PROPINSI JAWA TIMUR
DINAS TENAGA KERJA
BALAI LATIHAN KERJA INDUSTRI SINGOSARI
Jl. Raya Singosari Telp. (0341) 458055 - Fax 458512
M A L A N G 65153

SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan dibawah ini menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa :

Nama : **MOHAMMAD IRWAN HAMBALI**
Nomor Induk : **0210623048**
Jenjang Pendidikan : **S-1**
Jurusan : **Teknik Mesin**
Fakultas : **Teknik**
Universitas : **Universitas Brawijaya Malang**

Telah melaksanakan penelitian pengelasan dengan judul Skripsi "PENGARUH POLA PEMBANGKITAN MEDAN MAGNET SOLENOIDA TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN IMPAK PADA PENGELASAN BAJA St37 DENGAN EMS45 "

di BLK Industri Singosari pada tanggal 14 -- 15 Februari 2007

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan seperlunya.

Malang, 20 Februari 2007

Mengetahui,
Inspektur Las Listrik



Dr. FARDJONO, M.Pd
NIP. 160 025 949





LABORATORIUM UJI LOGAM
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERDEKA MALANG

Terakreditasi **A**

Kampus: Jl. Taman Agung No.1 Malang Telp.(0341)568395 Psw.654 Fax.(0341)560836
Email : ft@unmer.ac.id – Website: <http://www.teknik.unmer.ac.id>

SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Ir. H. JUMIADI, MT

Jabatan : Kepala Laboratorium Uji Logam

Menyatakan bahwa :

Nama : MOHAMMAD IRWAN HAMBALI

NIM : 0210623048

Asal Institusi : Jur. Mesin Fak. Teknik

Universitas Brawijaya Malang

Telah melakukan pengujian impak dalam rangka menyelesaikan tugas akhir dengan judul **"PENGARUH POLA PEMBANGKITAN MEDAN MAGNET SOLENOIDA TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN IMPAK PADA PENGELASAN BAJA S137 DENGAN EMS45"** di laboratorium uji logam Universitas Merdeka Malang pada tanggal 01 Maret 2007.

Demikian surat keterangan ini dibuat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya

Malang, 26 Maret 2007

Ka Lab. Uji Logam

