

**PENGARUH KUAT ARUS PENGELASAN DAN JENIS ELEKTRODA
TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL SAMBUNGAN LAS SMAW
(SHIELDING METAL ARC WELDING) PADA BAJA ST 60**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**Disusun Oleh:
TEDDY ANDI PRAMONO
NIM.1110622004-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2014

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH KUAT ARUS PENGELASAN DAN JENIS ELEKTRODA
TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL SAMBUNGAN LAS SMAW
(SHIELDING METAL ARC WELDING) PADA BAJA ST 60**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana Teknik



Disusun oleh:

TEDDY ANDI PRAMONO

NIM.1110622004-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. TJUK OERBANDONO, MSc.CSE
NIP. 19670923 199303 1 002

PURNAMI, ST., MT
NIP. 19770707 200812 1 005

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KUAT ARUS PENGELASAN DAN JENIS ELEKTRODA
TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL SAMBUNGAN LAS SMAW
(SHIELDING METAL ARC WELDING) PADA BAJA ST 60**

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

TEDDY ANDI PRAMONO
NIM.1110622004-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 30 Januari 2014

MAJELIS PENGUJI

Skripsi I

Prof. Dr. Ir. RUDY SOENOKO, M.Eng.Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

Skripsi II

Dr.Eng. WIDYA WIJAYANTI, ST.,MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

Skripsi III

Dr.Eng. YUDY SURYA IRAWAN, ST., M.Eng.
NIP. 19750710 199903 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr.Eng. NURKHOLIS HAMIDI, ST., M.Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun sampaikan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Penelitian ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat lulus untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

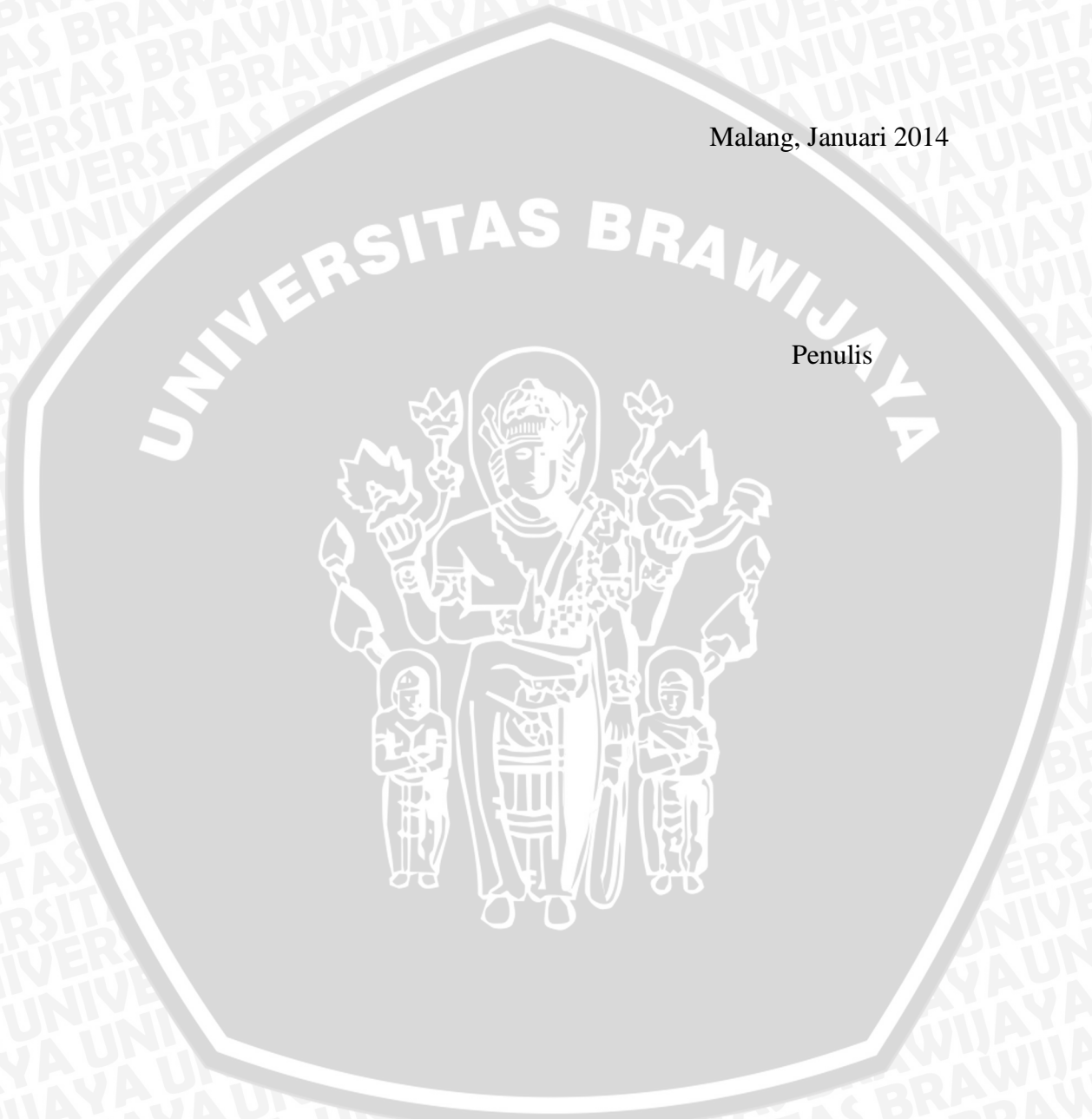
Menyadari penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang Tua tercinta, Bapak Widaryono dan Ibu Erni Hartanti atas curahan kasih sayang, doa, dan dorongan baik moril maupun materil kepada penulis.
2. Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. sebagai Kepala Jurusan Teknik Mesin
3. Bapak Purnami ST. MT. sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Mesin sekaligus sebagai dosen pembimbing II
4. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc,CSE sebagai dosen pembimbing skripsi I yang telah memberikan bimbingan dalam menyusun skripsi ini
5. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membimbing dan memberikan materi perkuliahan kepada penulis.
6. Seluruh rekan-rekan di Universitas Brawijaya Jurusan Teknik Mesin, khususnya teman-teman seperjuangan SAP 2011 Rendy, Andika, Riky, Ary, dan Bahar yang telah memberikan saran serta kritikan kepada penulis.
7. Seluruh sahabat tersayang, Desty Widya, Faruq, Rollien, Nur Aqlia dan Nurfad yang selalu memberi *support* selama ini.
8. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu selama ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan. Demi kesempurnaan skripsi ini, kritik dan saran dari semua pihak sangat penyusun harapkan. Semoga penyusunan skripsi ini dapat berguna bagi Universitas Brawijaya khususnya dan bagi masyarakat luas pada umumnya.

Malang, Januari 2014

Penulis



DAFTAR ISI

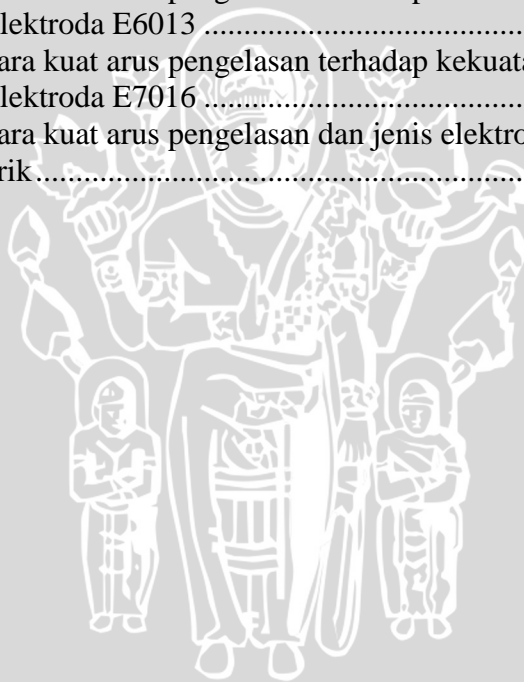
	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
RINGKASAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Pengertian Pengelasan	5
2.3 Klasifikasi Pengelasan.....	6
2.3.1 Las SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>)	7
2.4 Elektroda	8
2.4.1 Elektroda Terbungkus	10
2.4.1.1 Kawat Inti (<i>Core Wire Rod</i>)	10
2.4.1.2 Pembungkus (<i>Coating</i>).....	12
2.4.2 Spesifikasi Elektroda	13
2.5 Besar Arus Listrik.....	16
2.6 Siklus Termal Las	17
2.7 Klasifikasi Sambungan Las	19
2.8 Jenis dan Bentuk Kampuh Las.....	21
2.9 Posisi Pengelasan	21
2.10 Mampu Las (<i>Weld Ability</i>).....	22
2.11 Baja	23
2.11.1 Klasifikasi Baja	23
2.11.2 Mampu Las Baja	24
2.11.3 Pengelasan Baja Karbon.....	25
2.12 Struktur Mikro Daerah Las-lasan	26
2.13 <i>Heat Input</i>	26
2.14 Pengujian Tarik.....	29
2.15 Hipotesis	31
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	32
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	32
3.3 Variabel Penelitian	32

3.3.1	Variabel Bebas	32
3.3.2	Variabel terikat	33
3.3.3	Variabel Terkontrol	33
3.4	Peralatan Penelitian	33
3.5	Bahan Penelitian	34
3.6	Instalasi Mesin Las Semi Otomatis	35
3.7	Prosedur Penelitian	35
3.8	Rancangan Penelitian	39
3.8.1	Analisa Data	39
3.9	Diagram Alir	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Penelitian	42
4.1.1	Komposisi Kimia Material	42
4.1.2	Hasil Foto Struktur Mikro	42
4.1.3	Data Hasil Uji Tarik Pada Sambungan Las	44
4.2	Pengolahan Data	46
4.2.1	Perhitungan Teoritis	46
4.2.2	Anova	47
4.3	Pembahasan	52
4.3.1	Grafik Hubungan Antara Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Elektroda E6013	52
4.3.2	Grafik Hubungan Antara Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Elektroda E7016	53
4.3.3	Pembahasan Grafik	54
4.3.4	Grafik Hubungan Antara Kuat Arus Pengelasan Dan Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik	56
BAB V		
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran	58

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Las SMAW	8
2.2 Elektroda terbungkus	9
2.3 Kontruksi pada elektroda terbungkus <i>fluks</i>	10
2.4 Pengaruh pemakaian arus busur listrik	17
2.5 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan	18
2.6 Jenis-jenis sambungan dasar	20
2.7 Jenis-jenis kampuh las untuk jenis sambungan tumpul las tumpul	21
2.8 Posisi pengelasan	22
2.9 Perpindahan sumber panas sitem koordinat (x,y,z)	28
2.10 Kurva tegangan-regangan	30
3.1 Instalasi mesin las semi otomatis	35
3.2 Kampuh V terbuka	36
3.3 Specimen uji tarik	37
4.1 Foto sem hasil lasan	44
4.2 Grafik hubungan antara kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik menggunakan elektroda E6013	52
4.3 Grafik hubungan antara kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik menggunakan elektroda E7016	53
4.4 Grafik hubungan antara kuat arus pengelasan dan jenis elektroda terhadap kekuatan tarik	56



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Klasifikasi cara pengelasan.....	7
2.2 Spesifikasi elektroda terbungkus dari baja lunak	13
2.3 Besar arus dan tegangan pada elektroda E6013.....	16
2.4 besar arus dan tegangan pada elektroda E7016	17
2.5 Efisiensi proses pengelasan	29
3.1 Rancangan data pengujian tarik dengan variasi jenis elektroda dan kecepatan pengelasan.....	42
4.1 Hasil Foto Mikro.....	45
4.2 Data hasil uji tarik pada sambungan las.....	48
4.3 Data hasil perhitungan teoritis	49
4.4 Data statistika induk perhitungan anova hasil uji tarik sambungan las	51
4.5 Analisa varian dua arah kekasaran permukaan rata-rata	54
4.6 Data besar energy pengelasan (<i>heat input</i>)	58
4.7 Data hasil temperatur puncak	59
4.8 Perbandingan komposisi kimia elektroda E6013 dan E7016	60



RINGKASAN

TEDDY ANDI PRAMONO, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang, Januari, PENGARUH KUAT ARUS PENGELASAN DAN JENIS ELEKTRODA TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL SAMBUNGAN LAS SMAW (*SHIELDING METAL ARC WELDING*) PADA BAJA ST 60, Dosen Pembimbing: Tjuk Oerbandono, Purnami.

Pengelasan merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Las SMAW adalah las busur listrik dengan menggunakan elektroda berselaput (*fluks*). Pada pengelasan SMAW penentuan besarnya arus mempengaruhi efisiensi pekerjaan dan bahan las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik dan busur listrik menjadi tidak stabil. Sebaliknya bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam.

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis elektroda yang memiliki spesifikasi yang berbeda antara keduanya. Penelitian ini menggunakan jenis elektroda E6013 dan E7016 dengan penggunaan variasi arus pengelasan sebesar 80 A, 90 A, 100 A dan 110 A. Proses pengelasan menggunakan mesin semi otomatis dengan kecepatan pengelasan 250 mm/menit. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari kuat arus pengelasan dan jenis elektroda terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las smaw pada baja St 60 dengan ketebalan plat 10 mm.

Hasil dari penelitian ini yaitu semakin besar arus pengelasan yang digunakan semakin besar pula nilai kekuatan tariknya, selain itu diperoleh nilai kekuatan tarik hasil sambungan las dengan elektroda E7016 lebih besar daripada hasil pengelasan E6013. Nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 544 MPa, terdapat pada pengelasan yang menggunakan jenis elektroda E7016 dan dengan arus pengelasan 110 A. Nilai terendah kekuatan tarik sebesar 352 MPa, terdapat pada pengelasan yang menggunakan elektroda jenis E6013 dengan arus pengelasan 80 A.

Kata kunci : Las SMAW, kuat arus pengelasan, jenis elektroda, kekuatan tarik, baja St 60

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas yang baik. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, misalnya pada bidang perkapalan, jembatan, rangka baja, konstruksi pagar, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya.

Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan yang meliputi pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh (WiryoSumarto, 2000).

Pengelasan berdasarkan klasifikasi cara kerja dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Pengelasan cair adalah suatu cara pengelasan dimana benda yang akan disambung dipanaskan sampai mencair dengan sumber energi panas. Cara pengelasan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan cair dengan busur (las busur listrik) dan gas (las busur gas). Jenis dari las busur listrik ada 4 yaitu las busur dengan elektroda terbungkus, las busur gas (TIG, MIG, las busur CO₂), las busur tanpa gas, las busur rendam. Jenis dari las busur elektroda terbungkus salah satunya adalah las SMAW (*Shielding Metal Arc Welding*).

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current (DC)*, mesin las arus bolak balik atau *Alternating Current*

(AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC).

Tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik diantaranya adalah baja paduan rendah. Baja ini dapat dilas dengan las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las MIG (las logam gas mulia). Baja paduan rendah biasa digunakan untuk pelat-pelat tipis dan konstruksi umum (Wirjosumarto, 2000). Selain itu penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan (Arifin, 1997). Penentuan besarnya arus dalam penyambungan logam menggunakan las busur mempengaruhi efisiensi pekerjaan dan bahan las. Penentuan besar arus dalam pengelasan ini mengambil 80 A, 90 A, 100 A dan 110 A.

Pada pengelasan SMAW elektroda memiliki peranan penting sebagai bahan penyambung antar dua logam yang akan dilas dan elektroda ini terdiri dari banyak ukuran, jenis dan dijual dalam berbagai macam merk. Agar mendapatkan hasil pengelasan yang baik maka elektroda yang digunakan harus disesuaikan dengan bahan yang akan dilas. Dengan spesifikasi yang telah ada, maka penelitian ini terfokus pada jenis elektroda yang cocok untuk arus 80 A, 90 A, 100 A dan 110 A. Berdasarkan latar belakang diatas maka penelitian ini mengambil judul: **“Pengaruh Kuat Arus Pengelasan dan Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Sambungan Las Smaw (*Shielding Metal Arc Welding*) Pada Baja St 60”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, rumusan masalah penelitian kami adalah Bagaimana pengaruh dari kuat arus pengelasan dan penggunaan elektroda AWS E6013 dan E7016 pada hasil sambungan las SMAW terhadap kekuatan tarik baja St 60 ?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini perlu dibatasi permasalahan yang akan dibahas, agar dalam penyusunannya nanti tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Oleh karena itu penyusun membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. Pengelasan dilakukan dengan las SMAW arus searah (DC) semi otomatis
2. Bahan yang digunakan adalah baja St 60
3. Elektroda yang digunakan adalah elektroda AWS E6013 dan E7016 dengan diameter 2,6 mm
4. Tegangan busur 22 volt
5. Arus yang divariasikan adalah 80, 90, 100 dan 110 ampere
6. Kecepatan pengelasan 250 mm/menit
7. Posisi pengelasan yang dilakukan adalah 1G (Flat Position)
8. Kampuh las yang digunakan jenis kampuh V dengan sudut 80°
9. Pengujian specimen yang dilakukan adalah uji tarik
10. Pengujian spesimen yang dilakukan adalah uji tarik berdasarkan standar ASTM E8

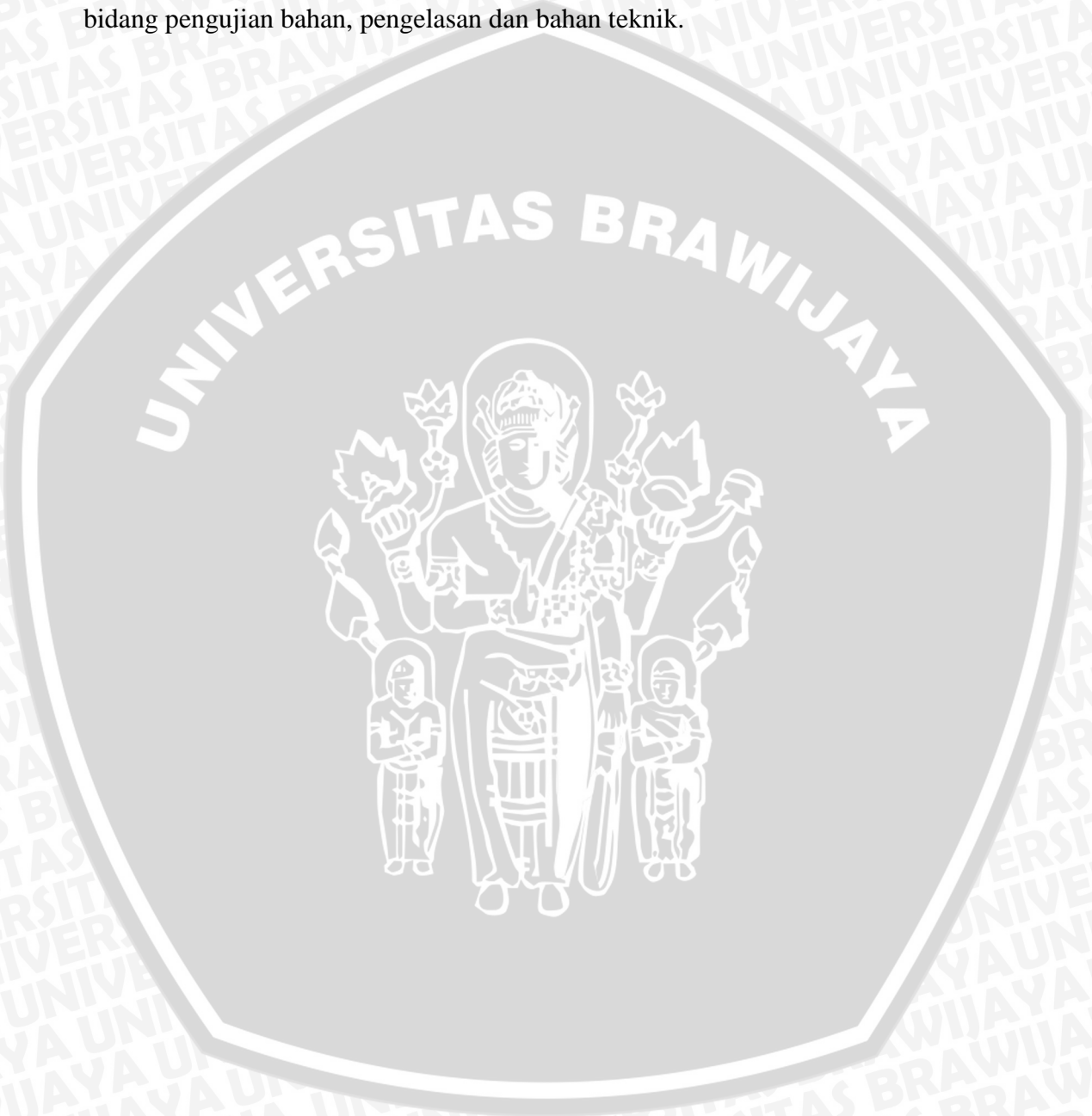
1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian kami adalah untuk mengetahui pengaruh pengaruh dari kuat arus pengelasan dan penggunaan elektroda AWS E.6013 dan E.7016 pada hasil sambungan las SMAW terhadap kekuatan tarik baja St 60 ?

1.5 Manfaat Penelitian

Sebagai peran nyata dalam pengembangan teknologi khususnya pengelasan, maka penulis berharap dapat mengambil manfaat dari penelitian ini, diantaranya:

1. Sebagai literatur pada penelitian yang sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi khususnya bidang pengelasan.
2. Sebagai informasi bagi juru las untuk meningkatkan kualitas hasil pengelasan.
3. Sebagai informasi penting guna meningkatkan pengetahuan bagi peneliti dalam bidang pengujian bahan, pengelasan dan bahan teknik.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Fenoria Putri (2010) meneliti tentang pengaruh variasi kuat arus dan jarak pengelasan terhadap kekuatan tarik, sambungan las baja karbon rendah dengan elektroda 6013. Dari hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan dengan menggunakan arus 70 A – 110 A dengan jarak kampuh 1 mm dan 2 mm, diperoleh arus 110 A dengan jarak kampuh 1 mm yang memiliki kekuatan tarik maksimum yaitu 507,33 N/mm². Makin besar arus dan makin besar jarak pengelasan maka makin lebar *weldment* yang terjadi. Sedangkan hasil kekuatan terendah terdapat pada kelompok 70 A dengan jarak pengelasa 2 mm sebesar 457,33 N/mm².

Masurung (2007) yang meneliti tentang pengaruh kuat arus dan diameter elektroda terhadap kekuatan tarik hasil las SMAW logam ST 37. Hasil yang dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: didapat data nilai kekuatan tarik pada diameter elektroda 2,6 mm dengan kuat arus 90 A sebesar 47.183 Kgf/mm², 100 A sebesar 45,689 Kgf/mm², 110 A sebesar 40,658 Kgf/mm² dan pada diameter elektroda 3,2 mm dengan kuat arus 90 A sebesar 43,822 Kgf/mm², 100 A sebesar 48,816 Kgf/mm², 110 A sebesar 44,780 Kgf/mm². Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kekuatan tarik akibat pengaruh variasi kuat arus pada diameter elektroda 2,6 mm dan 3,2 mm.

Penelitian lain dilakukan oleh Pamungkas (2009) yang meneliti tentang perbandingan elektroda E7016 dan E7018 proses SMAW pada plat ASTM A36 dengan tipe *butt joint* terhadap kekuatan tarik dan lebar HAZ. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa patahan pada spesimen uji rata-rata berada di daerah *base metal*. Hal ini dapat diartikan bahwa kekuatan daerah *weld metal* dan HAZ (baik spesimen las E7016 dan E7018) adalah lebih besar dari pada kekuatan *base metal*nya sendiri dan lebar HAZ pada spesimen las elektroda E7018 lebih lebar dari pada spesimen las elektroda E7016.

2.2 Pengertian Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu cara yang digunakan untuk menyambung batang–batang logam pada proses pembuatan suatu konstruksi, baik konstruksi bangunan maupun

konstruksi mesin. Pada masa ini teknologi sudah sangat luas dipergunakan dalam bidang teknik. Sambungan yang menggunakan cara ini lebih ringan, ringkas serta biaya murah.

Berdasarkan dari *Deutsche Industri Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain las adalah sambungan setempat dari beberapa logam dengan mempergunakan energi panas. Sedangkan Berdasarkan *American Welding Society* (AWS), proses pengelasan adalah proses penyambungan material dengan menggunakan kumpuh las, sedangkan kumpuh las didefinisikan sebagai logam yang membeku dari logam yang sebelumnya berada dalam keadaan cair akibat pemanasan pada temperatur tertentu dengan atau tanpa penekanan.

Dari kedua definisi tadi dapat disimpulkan bahwa proses las adalah proses yang menggunakan energi panas dan temperatur yang dicapai sangat tinggi. Akibat pemanasan, pencairan dan kemudian pendinginan maka logam akan mengalami perubahan ukuran maupun perubahan bentuknya. (Wiryosumarto, 1996 : 1)

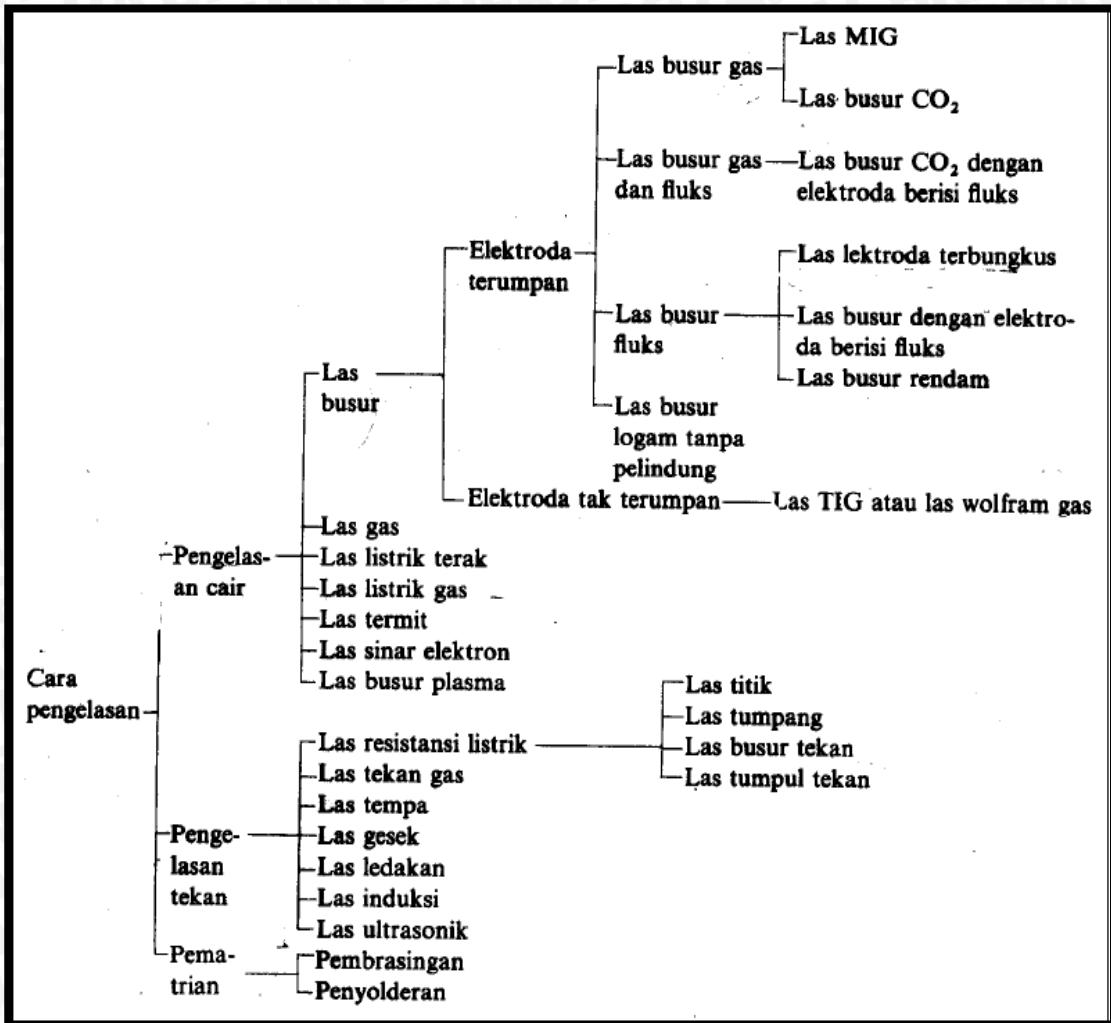
2.3 Klasifikasi Pengelasan

Berdasarkan cara kerjanya pengelasan dapat dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu :

- a) Pengelasan cair merupakan cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar
- b) Pengelasan tekan merupakan cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan kemudian ditekan menjadi satu
- c) Pemantrian merupakan cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak ikut mencair.

Lebih lanjut klasifikasi cara pengelasan dapat dirinci sesuai ketiga kelas utama tersebut diatas. Secara lengkap perinciannya dapat dilihat pada skema dibawah ini:

Tabel 2.1 Klasifikasi Cara Pengelasan

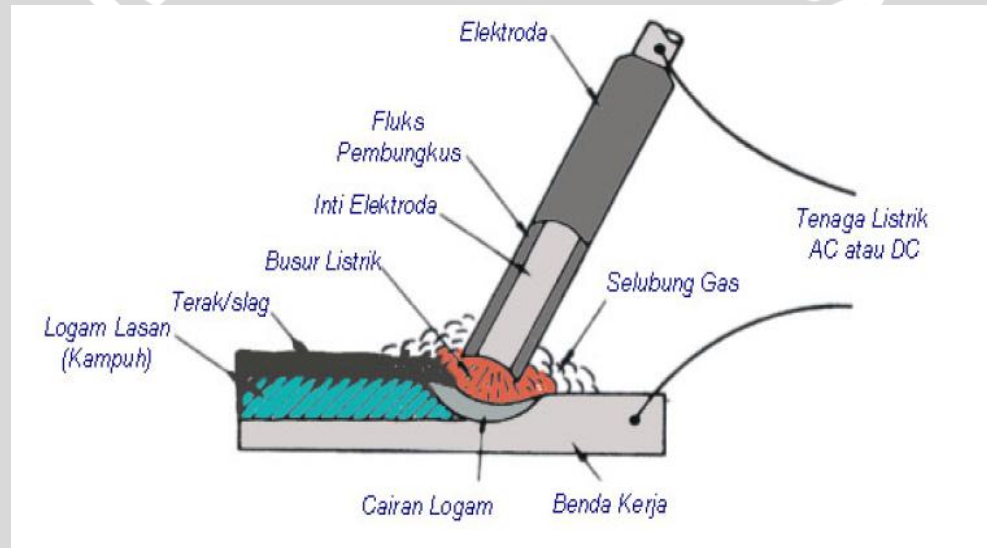


Sumber : Wirjosumarto, 1996 : 8

2.3.1 Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Las SMAW adalah las busur listrik dengan menggunakan elektroda berselaput *fluks*. Fungsi *fluks* pada pengelasan ini adalah membentuk slag diatas hasil lasan yang berfungsi sebagai pelindung hasil lasan dari udara selama proses las berlangsung. Proses pengelasan ini memanfaatkan busur listrik yang terjadi antara elektroda dengan benda kerja. Mula-mula elektroda bersinggungan dengan logam yang dilas sehingga terjadi aliran arus listrik, kemudian elektroda diangkat sedikit sehingga timbullah busur. Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa *fluks*. Elektroda

ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kampuh las. Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar. Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan *fluks* yang digunakan. (Wirjosumarto, 1996: 9)

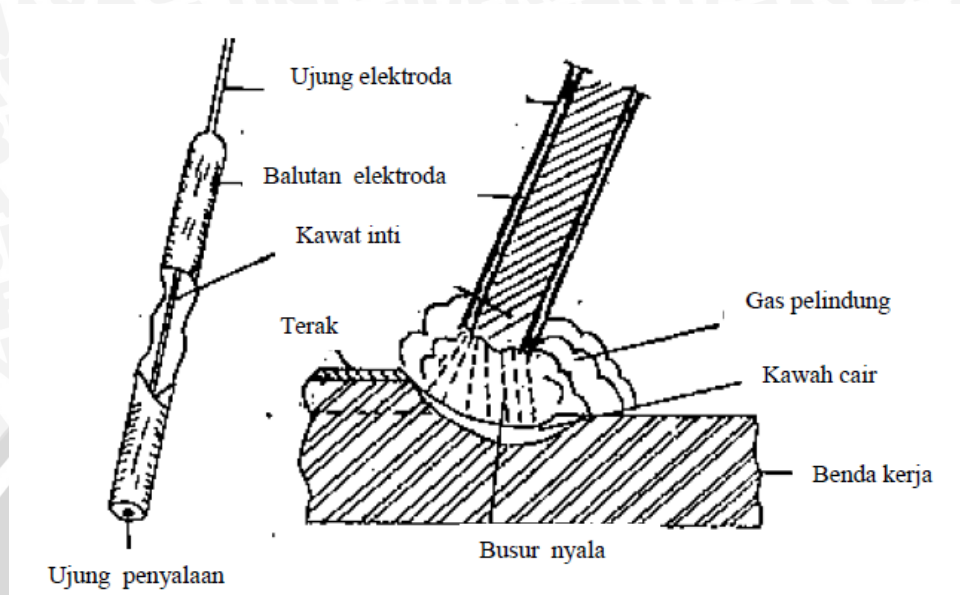


Gambar 2.1 Las SMAW
Sumber: Wirjosumarto, 1996 : 9

2.4 Elektroda

Elektroda adalah bagian ujung (yang berhubungan dengan benda kerja) rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas. Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (*fluks*) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari *fluks*

adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur.



Gambar 2.2 Elektroda Terbungkus
Sumber : Arifin, 1997

Klasifikasi elektroda menggunakan kode dan digunakan untuk mengelompokkan elektroda dari perbedaan pabrik pembuatnya terhadap kesamaan dan jenis pemakainya. Klasifikasi elektroda menurut standar AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society for Testing Material*) dinyatakan dengan tanda E diikuti oleh 4 digit angka.

Elektroda baja lunak dan baja paduan untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (*American Welding Society*) dinyatakan dengan tanda E xxx yang artinya adalah sebagai berikut :

E : menyatakan elektroda busur listrik

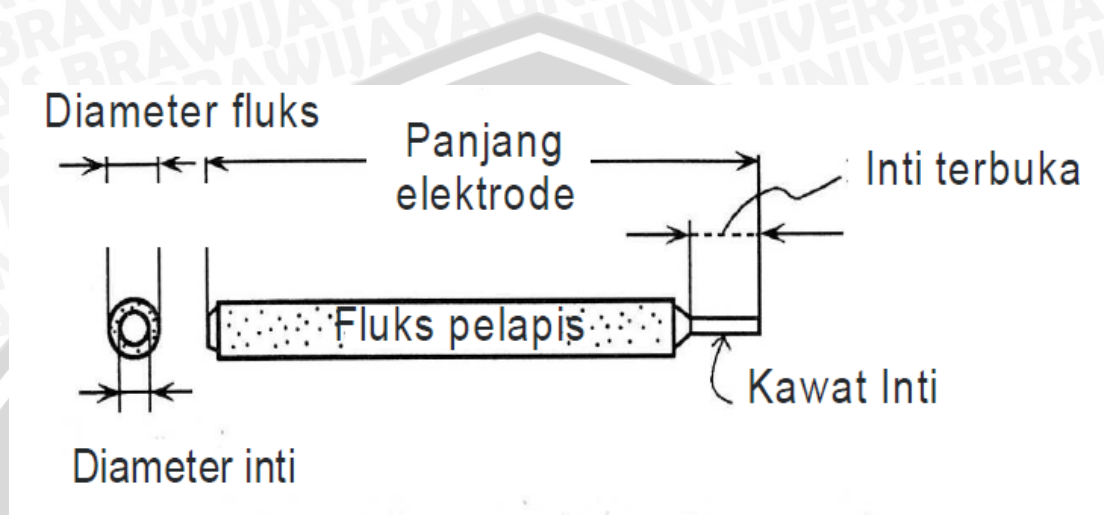
xx : (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ribuan lb/in²

x : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan, angka 1 untuk pengelasan segala posisi angka 2 untuk pengelasan posisi datar dibawah tangan

x : (angka keempat) menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai pengelasan

2.4.1 Elektroda Terbungkus

Pengelasan ini menggunakan batang elektroda yang dibungkus dengan *fluks*, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Kontruksi Pada Elektroda Terbungkus *Fluks*

Sumber: Luka Okta, 2012 : 24

Panjang batang elektroda biasanya sekitar 9 sampai 18 in (230 mm sampai 460 mm) dan diameter 3/32 sampai 3/8 in. (2,5 mm sampai 9,5 mm). Logam pengisi yang digunakan sebagai batang elektroda harus sesuai dengan logam yang akan dilas. Komposisinya biasanya sangat dekat dengan komposisi yang dimiliki logam dasar. Lapisan pembungkus terdiri dari serbuk *selulose* yang dicampur dengan oksida, karbonat, dan unsur-unsur yang lain kemudian disatukan dengan pengikat silikat. Serbuk logam kadang-kadang juga digunakan sebagai bahan campuran untuk menambah logam pengisi dan menambah unsur-unsur paduan (*alloy*). Selama proses pengelasan bahan *fluks* yang digunakan untuk membungkus elektroda, akibat panas busur listrik, mencair membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang menggenang di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.

2.4.1.1 Kawat Inti (*Core Wire Rod*)

Kawat inti yang berfungsi sebagai logam pengisi ini terbuat dari bahan logam yang disesuaikan dengan logam induk yang akan di las, bisa *mild steel*, *low carbon steel alloy*

steel dan lain-lain. Komposisi kimia dari kawat inti ini cukup berpengaruh terhadap sifat mekanis dari logam las yang terbentuk. Berikut ini komposisi kimia yang biasa terdapat pada kawat inti.

- a. *Manganese* (Mn) : Mangan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik baja, tetapi pada tingkat lebih rendah dari karbon. Untuk tujuan pengelasan, rasio mangan untuk sulfur minimal 10 berbanding 1. Kandungan mangan kurang dari 0,30% dapat meningkatkan porositas internal dan retak pada manik las, retak juga dapat terjadi jika kandungan lebih dari 0,80%. Baja dengan rasio sulfida mangan rendah dapat mengandung sulfur dalam bentuk besi sulfida (FeS), yang dapat menyebabkan retak (*a hot-short condition*) di las.
- b. *Phosphorus* (P) : Fosfor meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi dengan mengurangi elastisitas dan dampaknya terhadap ketangguhan, terutama pada baja karbon tinggi yang di *quenching* dan *tempering*. Dengan demikian kandungan di sebagian besar baja terbatas maksimal 0,05%. Fosfor mencegah *light gage sheets* bila digunakan sebagai paduan dalam baja. Fosfor memperkuat baja karbon rendah, meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan meningkatkan *machinability*. Dalam hal pengelasan, kadar fosfor lebih dari 0,04% membuat las rapuh dan meningkatkan kecenderungan untuk retak.
- c. *Sulphur* (S) : Untuk pengelasan, mampu las menurun seiring peningkatan kandungan sulfur. Sulfur merugikan kualitas permukaan karbon rendah dan baja mangan rendah dan meningkatkan *hot shortness* di las dengan peningkatan sulfur. Kandungannya terbatas pada 0,05%.
- d. *Silicon* (Si) : Silicon meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi pada tingkat lebih rendah daripada mangan. Dalam pengelasan, silikon merugikan kualitas permukaan, terutama di karbon rendah. Hal ini dapat memperburuk kecenderungan retak ketika kandungan karbon cukup tinggi. Untuk kondisi pengelasan terbaik, isi silikon tidak boleh melebihi 0,10%. Namun, jumlah sampai dengan 0,30% tidak seserius daripada sulfur tinggi atau kadar fosfor.

2.4.1.2 Pembungkus (*Coating*)

Berupa *fluks* berfungsi sebagai pelindung pada proses pengelasan dan pada saat penyimpanan. Dalam proses pengelasan, pembungkus elektroda ini akan terbakar dan membentuk terak (*slag*) cair yang kemudian membeku sehingga melindungi logam las dari pengaruh atmosfer atau mencegah terhadap kontaminasi dari udara sekitarnya. Jika pengelasan busur dilakukan dengan elektroda telanjang, elektroda akan menempel pada logam induk, menghalangi penyalaan busur atau menyebabkan busur mati. Hal ini menghasilkan rigi yang tidak teratur dan lubang-lubang cacing. *Fluks* sendiri mempunyai fungsi yang sangat besar diantaranya:

- a. *Fluks* memfasilitasi penyalaan busur dan meningkatkan intensitas dan stabilitas busur
- b. *Fluks* menimbulkan gas untuk melindungi busur, *fluks* akan terurai dan menimbulkan gas (CO₂, CO, H, dan sebagainya) yang mengelilingi busur. Hal ini menjaga bentuk butiran logam dan cairan teroksidasi atau nitrasi yang disebabkan oleh kontak dengan atmosfer
- c. *Slag* atau terak melindungi logam las dan membantu pembentukan rigi, selama pengelasan, *fluks* mencair menjadi terak yang melindungi cairan dan rigi las dengan cara menutupinya. Dengan berbagai kekentalan (viskositas) dari terak, memungkinkan untuk melaksanakan pengelasan dalam berbagai posisi dan memperbaiki bentuk dari rigi las.
- d. *Fluks* menghaluskan kembali logam las dengan deoksidasi, bila pengelasan dilaksanakan pada udara terbuka. Elemen deoksidasi seperti Mn dan Si telah ditambahkan pada *fluks*, melindungi pembentukan lubang cacing dan meningkatkan kekuatan dan ketangguhan dari logam las.
- e. Serbuk besi dalam *fluks* meningkatkan laju pengendapan dan efisiensi pengoperasian, laju pengendapan dapat ditingkatkan dengan arus las yang tinggi atau diameter elektroda las yang besar. Metode yang lain adalah menambahkan serbuk besi ke salutan *fluks* pada elektroda las. Contoh khususnya adalah elektroda oksida serbuk besi.
- f. Fungsi isolasi, *fluks* memberikan isolasi listrik yang baik. Dalam hal elektroda las dengan kurang hati-hati disentuh ke permukaan las selama pengelasan, *fluks* mencegah geretan busur yang tidak terduga, dengan demikian mencegah kerusakan las dan juga kecelakaan terhadap manusia.

2.4.2 Spesifikasi Elektroda

Beberapa jenis elektroda memiliki spesifikasi tertentu. Pemilihan elektroda sendiri disesuaikan dengan penggunaan dan kebutuhan. Secara umum, spesifikasi elektroda dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.2 Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis <i>Fluks</i>	Posisi Pengelasan	Jenis listrik	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Kekuatan Luluh (kg/mm ²)
E6010	<i>High celullosa sodium</i>	Datar, vertical, atas kepala dan horizontal	DC polaritas balik	43,6	35,2
E6011	<i>High celullosa potassium</i>	Datar, vertical, atas kepala dan horizontal	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2
E6012	<i>High titania sodium</i>	Datar, vertical, atas kepala dan horizontal	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7
E6013	<i>High titania potassium</i>	Datar, vertical, atas kepala dan horizontal	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7
E6020	<i>High iron oxide</i>	Datar dan horizontal las sudut	AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2
E7014	<i>Iron powder, titania</i>	Datar, vertical, atas kepala dan horizontal	AC atau DC polaritas ganda	50,6	42,2
E7016	<i>Low hydrogen potassium</i>	Datar, vertical, atas kepala dan horizontal	AC atau DC polaritas ganda	50,6	42,2
E7018	<i>Iron powder, low hydrogen potassium</i>	Datar, vertical, atas kepala dan horizontal	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2
E.7024	<i>Iron powder, titania</i>	Datar dan horizontal las sudut	AC atau DC polaritas ganda	50,6	42,2

Sumber : Wiryosumarto, 1996 : 14

Pada penelitian ini digunakan elektroda E. 6013 dan E. 7016. Berikut ini spesifikasi kedua elektroda tersebut:

1. Spesifikasi Elektroda E6013

- Sifat Umum

Elektroda ini dapat digunakan pada semua posisi dengan arus las AC atau DC. DC straight polarity (DC-) dapat memperkecil percikan (*spatter*) dan *under cut*. Karena itu rigi-rigi lasan yang terjadi sangat bagus dengan bentuk yang mulus dan datar (*flat*), teraknya mudah dibuang, dan busurnya dapat dikendalikan dengan mudah. Umumnya elektroda E6013 yang merknya berbeda-beda, menghasilkan cairan logam pada pancaran busur yang berbeda pula. Beberapa pabrik mencampur salutannya sedemikian rupa sehingga pemindahan tetesannya memencar dengan baik terhadap logam yang dilas. Sifat pancaran pemindahan tetesan cairan yang baik sangat diperlukan pada waktu pengelasan tegak lurus (*vertical*) dan di atas kepala (*over head*).

- Sistem Kutub

Elektroda jenis E6013 dapat dipakai pada mesin las AC dan DC polaritas ganda.

- Jenis *Fluks*

Elektroda E6013 mempunyai jenis *fluks high titania potassium*. Ada beberapa merk elektroda yang menambah *fluks* dengan serbuk besi untuk memudahkan pemakaiannya pada mesin las AC. Karena campuran pada *fluks* tersebut, elektroda E6013 memberi keuntungan karena daerah lasan terbebas dari penyusupan-penyusupan terak (*slag inclusion*).

- Sifat Busur dan Penembusannya

Elektroda E6013 ini sifat busurnya lemah dengan daya penembusan yang dangkal. Karena itu elektroda E6013 dapat dengan baik dipakai pada tegangan rendah. Elektroda E6013 ini sangat baik untuk mengelas pelat-pelat tipis tetapi kurang baik untuk mengelas pelat-pelat yang tebal, apalagi untuk mengelas kampuh dengan celah yang curam, karena pembakarannya yang kurang dalam.

- **Pemakaian Utama**
Elektroda ini dipakai khusus untuk mengelas baja lunak, terutama untuk pengelasan pelat-pelat yang tipis. Walaupun demikian, elektroda E6013 dengan diameter yang besar yaitu 3.25 mm ke atas dapat dipakai untuk mengelas benda lain.

Tabel 2.3 Besar Arus dan Tegangan pada Elektroda E6013

DIAMETER BATANG LAS		ARUS LAS	TEGANGANBUSUR
inci	mm	(ampere)	(volt)
1/16	1.50	20 – 40	17 – 20
5/64	2.00	25 – 60	17 – 21
3/32	2.50	45 – 100	17 – 21
1/8	3.25	80 – 120	16 – 22
5/32	4.00	105 – 180	18 – 22
3/16	5.00	150 – 230	20 – 24
7/32	5.50	210 – 300	21 – 25
1/4	6.00	250 – 350	22 – 26
5/16	8.00	320 – 430	23 – 27

2. Spesifikasi Elektroda E. 7016

- **Sifat Umum**
Elektroda ini merupakan jenis elektroda hidrogen rendah (*low hydrogen*)
- **Sistem Kutub**
Untuk pengelasan dengan elektroda E7016 dapat dipakai mesin las AC atau DC polaritas balik
- **Jenis *Fluks***
Elektroda E7016 mempunyai jenis *fluks Low hydrogen potassium*
- **Sifat Busur dan Penembusannya**
Sifat busur dan daya tembus pembakaran elektroda E7016 ini sama dengan sifat-sifat elektroda E7015, yaitu kuat busurnya sedang dan dalamnya pembakaran sedang.

Sebaiknya diusahakan pada waktu mengelas busurnya dibuat sependek mungkin agar dicapai hasil las yang baik.

- **Pemakaian Utama**

Elektroda E7016 ini dapat dipakai pada mesin las DC dan AC. Jadi perbedaan pemakaian elektroda E7016 dengan elektroda E7015 adalah jika elektroda E7016 dapat dipakai dengan mesin las AC dan DC, sedangkan elektroda E7015 hanya dapat dipakai dengan mesin las DC saja.

Tabel 2.4 Besar Arus dan Tegangan pada Elektroda E7016

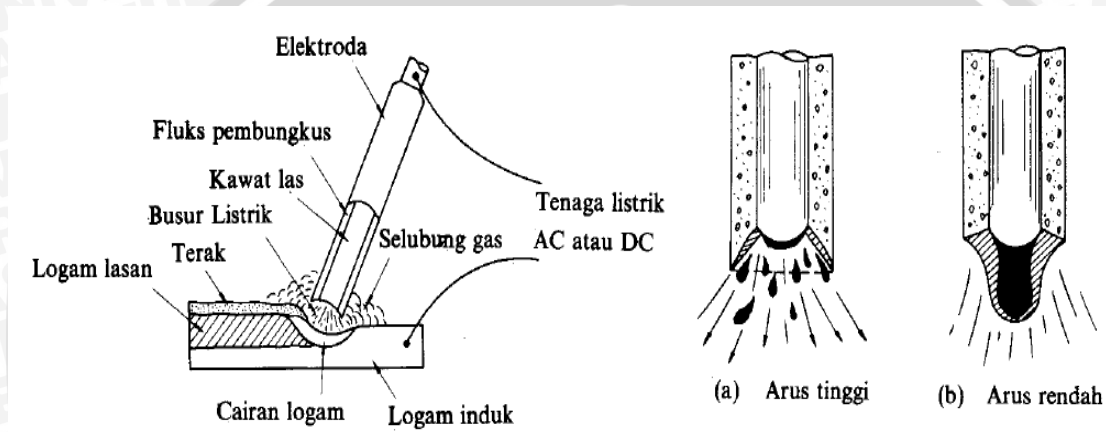
DIAMETER BATANG LAS		ARUS LAS (ampere)	TEGANGAN BUSUR (volt)
inci	Mm		
3/32	2.50	65 – 110	17 – 22
1/8	3.25	100 – 150	18 – 22
5/32	4.00	140 – 200	20 – 24
3/16	5.00	180 – 255	21 – 25
7/32	5.50	240 – 320	23 – 27
1/4	6.00	300 – 390	24 – 28
5/16	8.00	375 – 475	24 – 28

2.5 Besar Arus Listrik

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda dan posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi. Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka

akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi.

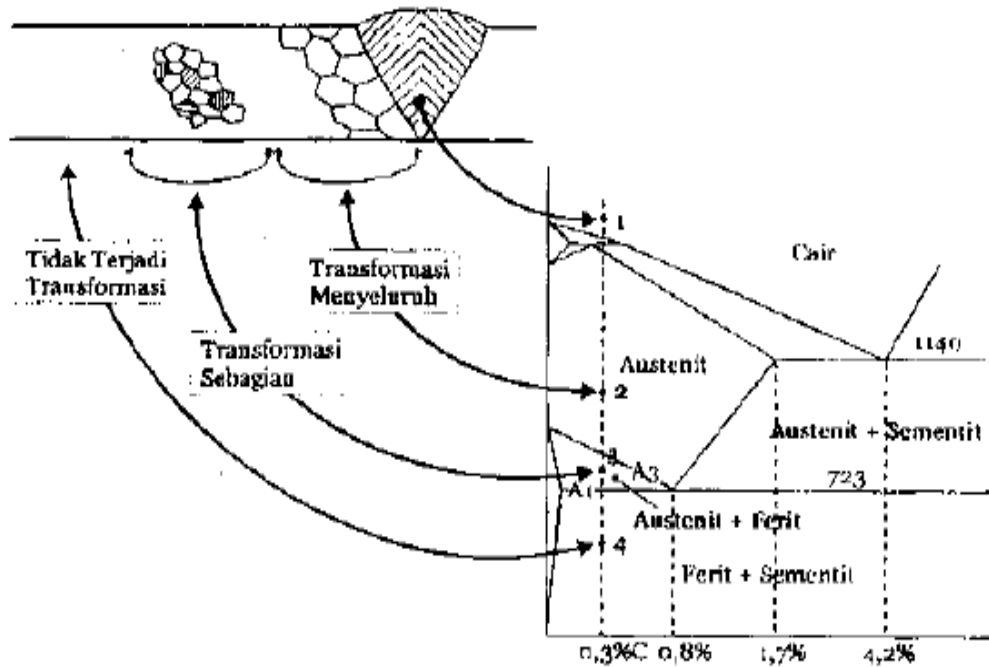
Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus busur listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti pada gambar 2.4 (a), sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar seperti dalam gambar 2.4 (b).



Gambar 2.4 Pengaruh Pemakaian Arus Busur Listrik
Sumber : Wiryosumarto, 2000 : 9

2.6 Siklus Termal Las

Daerah las terdiri dari 3 bagian utama yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa inggrisnya *Heat Affected Zone*, atau sering disebut HAZ serta daerah logam induk



Gambar 2.5 Transformasi Fasa Pada Logam Hasil Pengelasan
 Sumber : Soanawan, 2004

Daerah ketiga ini bagian yang mengalami perubahan struktur hanyalah daerah logam lasan dan HAZ. Sedangkan daerah logam induk tidak mengalami perubahan struktur karena tidak mendapat masukan panas. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas / HAZ adalah daerah logam induk yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan yang cepat di daerah lasan (Wirjosumarmo, 1991 : 58) pengelasan menghasilkan temperature yang kompleks disepanjang daerah lasan yang juga menghasilkan variasi panas pengelasan didaerah lasan. Panas pengelasan akan mencairkan logam lasan, selanjutnya panas tersebut akan merambat dan terdistribusi kedalam lasan yang lain. Setelah proses pengelasan di hentikan, maka logam cair akan membeku dimana kecepatan pendinginan sangat berpengaruh terhadap kualitas sambungan las yang dihasilkan. Disamping kuatnya daerah utama tersebut masih terdapat daerah yang membatasi antar daerah logam las dengan haz yang disebut dengan daerah batas butir.

Struktur dan sifat mekanik dari HAZ sangat dipengaruhi oleh siklus termal yang terjadi di daerah lasan yaitu proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi di daerah lasan. Jumlah masukan panas dan lamanya pendinginan dalam suatu daerah tertentu sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil lasan. Struktur logam pada HAZ berubah secara berangsur angsur dari struktur logam induk ke struktur logam las. Pada HAZ yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir butir kasar. Daerah ini yang disebut dengan batas las. Pada daerah ini dimana butir butirnya sangat kasar logam menjadi sangat getas dan ini disebut penggetasan batas las (Wiriyosumarto, 1991 : 67)

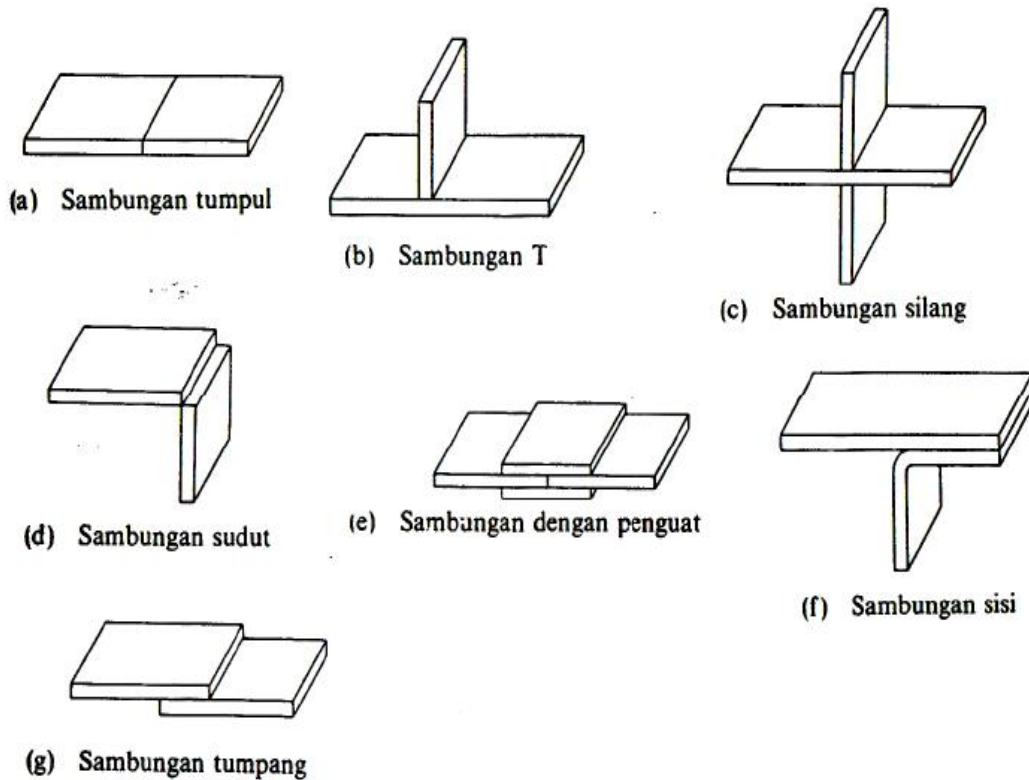
Apabila jumlah masukan panasnya meningkat maka akan menyebabkan tingkat kegetasannya meningkat pula pada batas las ini terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh gas diskontinuitas pada kaki manic lasan takik serta retak las. Kegetasan dibatas las ini disamping disebabkan oleh butiran butiran yang kasar mungkin juga oleh cacat las akan titik titik pusat konsentrasi tegangan yang ada didalamnya (Wiriyosumarto, 1991 : 68)

Faktor faktor yang mempengaruhi kecepatan pendinginan pada pada logam las pada siklus termal :

- a) Geometri las, mencakup ketebalan dari suatu benda kerja, bentuk dan ukuran dari endapan las dan sudut antara benda yang disambung.
- b) Karakteristik termal dari material, karakteristik termal dari material sering juga dihubungkan dengan konduktivitas termal dari material.

2.7 Klasifikasi Sambungan Las

Berdasarkan jenis sambungannya ada 7 jenis sambungan dasar las sambungan tumpul, sambungan T, sambungan silang, sambungan sudut, sambungan dengan penguat, sambungan sisi, dan sambungan tumpang, seperti pada gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.6 Jenis-jenis Sambungan Dasar
Sumber : Wiryosumarto, 1996 : 157

a) Sambungan tumpul

Sambungan tumpul dibagi dua yaitu sambungan tumpul dengan penetrasi penuh dan penetrasi sebagian

b) Sambungan T dan sambungan silang

Sambungan T dan sambungan silang dibagi dua yaitu, jenis las dengan alur dan jenis las dengan sudut

c) Sambungan sudut

Sambungan ini dapat terjadi penyusutan dalam arah tebal pelat yang dapat menyebabkan terjadinya retak lamel

d) Sambungan dengan plat penguat


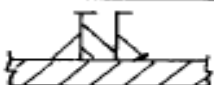
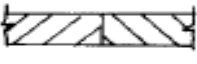
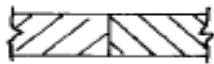



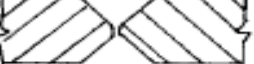
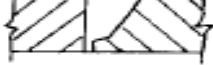


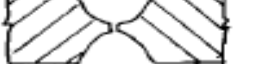
Sambungan dengan plat penguat dibagi dua yaitu sambungan dengan penguat tunggal dan penguat ganda

e) Sambungan sisi

Sambungan sisi dibagi atas 2 jenis yaitu sambungan las dengan alur dan sambungan las dengan ujung

2.8 Jenis dan Bentuk Kampuh Las

Bentuk kampuh dalam sambungan las sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan dan jaminan konstruksi yang akan dilas. Dalam memilih bentuk kampuh harus memperhatikan ketebalan material yang akan disambung. Adapun jenis – jenis kampuh las untuk jenis sambungan tumpul adalah :

	Tunggal	Ganda
Fillet		
Segi empat (square)		
Kampuh bevel		
Kampuh-V		
Kampuh-J		
Kampuh-U		

Gambar 2.7 Jenis – Jenis Kampuh Las Untuk Jenis Sambungan Tumpul Las Tumpul
Sumber : Widharto, Sri 2006 : 147

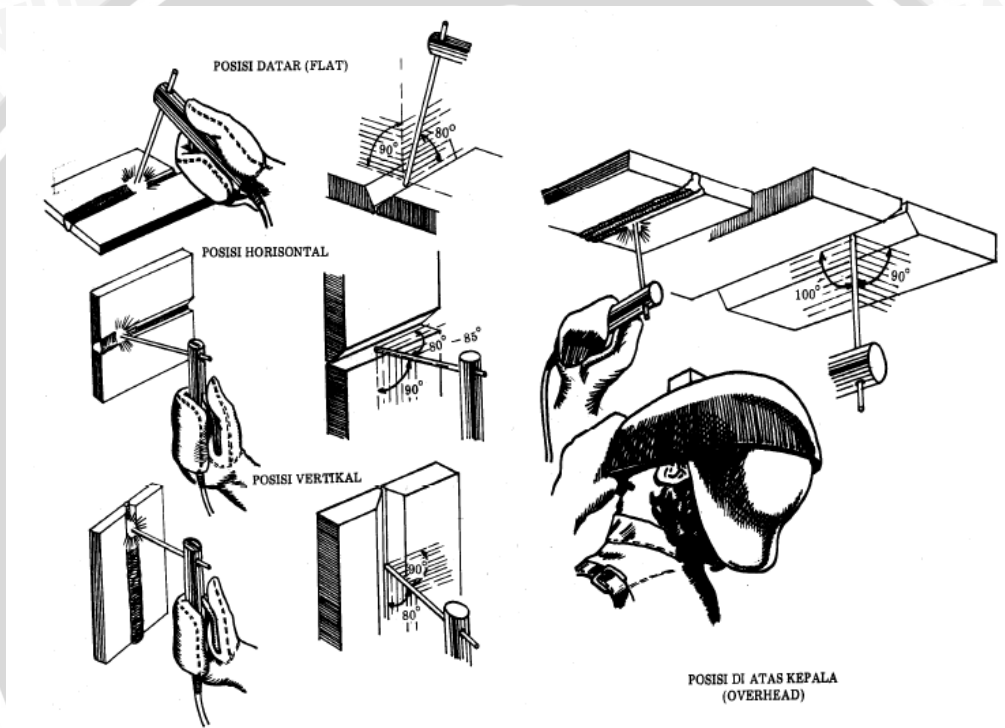
2.9 Posisi Pengelasan

Terdapat 4 posisi dasar dalam pengelasan yaitu :

1. posisi datar (flat position = 1G)

yaitu pelat dalam posisi horizontal dan diisi logam las dari atas pelat

2. posisi horizontal (2G)
yaitu pelat dalam posisi vertical dengan pengelasan pada posisi horizontal
 3. posisi vertical (3G)
yaitu pelat dalam posisi vertical dengan pengelasan dalam posisi vertikal
 4. posisi diatas kepala (4G)
yaitu pelat dalam posisi horizontal dan diisi logam las dari bawah pelat.
- pada posisi pengelasan ini dapat dilihat pada gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.8 Posisi Pengelasan
Sumber : Widhiarto, Sri, 2003 : 31

2.10 Mampu Las (*Weld Ability*)

Mampu las adalah kemampuan suatu logam atau kombinasi logam yang dilas menjadi suatu konstruksi yang memiliki karakteristik dan sifat tertentu serta memenuhi persyaratan yang diinginkan. Pengertian yang lebih mudah dipahami adalah logam yang

memiliki sifat mampu las yang tinggi akan membutuhkan usaha/perlakuan yang sedikit untuk mengelasnya. Usaha/perlakuan yang dimaksud adalah

- a. Logam diberikan perlakuan berupa pemanasan mula (*preheat*) sebelum dilakukannya pengelasan.
- b. Logam diberikan perlakuan berupa pemanasan pasca pengelasan (*post weld heat treatment*).
- c. Logam diberikan perlakuan berupa prosedur pengelasan khusus misalnya menggunakan elektroda dengan *fluks* berhidrogen rendah.

Jika suatu logam tidak banyak memerlukan usaha/perlakuan diatas maka dapat dikatakan sifat mampu las logam itu tinggi atau baik. Sebagai contoh baja karbon rendah memiliki sifat mampu las yang tinggi karena pengelasan baja karbon rendah tidak memerlukan *preheat* ataupun *post weld heat treatment*.

2.11 Baja

Baja merupakan paduan dari besi dan karbon dengan unsur lain dimana kadar karbonnya tidak melebihi 2%. Karbon merupakan unsur campuran utama dari baja. Pengaruh karbon pada baja dapat memberikan sifat keras pada baja, sehingga untuk keperluan – keperluan dibidang teknik maka pemilihan baja disesuaikan dengan kadar karbonnya (Sriati Djaprie, 1994 : 377).

Sebagian besar produksi logam adalah besi dan paduannya. Untuk memperoleh logam – logam yang mempunyai sifat yang diinginkan, ketahanan aus, kekerasan, ketahanan korosi, ketahanan gesek, keuletan dan sebagainya maka diperlukan penambahan bahan lain ke dalam besi. Penambahan ini akan memberikan keuntungan – keuntungan yang besar terhadap sifat – sifat mekani dan kimiawi (Tata Surdia, 1999 : 77)

2.11.1 Klasifikasi Baja

Secara umum baja dapat di klasifikasikan yaitu :

1. Baja Karbon

baja karbon adalah baja yang bersifat atau sifat – sifatnya dipengaruhi oleh kandungan karbon. Unsur utama adalah besi (Fe) dan karbon (C). Disamping unsur unsur pokok tersebut baja ini juga mengandung unsur- unsur lain dalam jumlah

kecil. Sifat – sifat karbon tergantung pada jumlah karbon yang terkandung didalamnya , sehingga baja ini dikelompokkan berdasar kadar karbonnya. Baja karbon rendah mengandung karbon maksimal sebesar 0,30%, baja karbon menengah mengandung karbon antara 0,30% - 0,45% dan baja karbon tinggi mengandung karbon antara 0,45 – 1,70%. Variasi karbon mempunyai pengaruh sangat besar terhadap sifat – sifat mekanik logam, dimana penambahan karbon akan meningkatkan kekerasan dan kekuatannya (Wiryo Sumarto, 2000 : 90)

2. Baja Paduan

adalah jenis baja yang dengan sengaja diberi tambahan unsur unsur bahan paduan seperti nikel, khrom, molybdenum, mangan atau silicon berjumlah sekitar 5% untuk mendapatkan sifat – sifat mekanik dan kimia tertentu antara lain: tahan panas, keuletan, tahan aus, tahan korosi dan sebagainya (Sriati Djaprie, 1993 : 386)

3. Baja Kuat

Adalah jenis baja dengan komposisi kimia khusus untuk memperoleh sifat sifat mekanis dan ketahanan korosi yang lebih baik. Baja ini biasanya digunakan untuk rangka – rangka baja dalam konstruksi kapal dan untuk konstruksi umum lainnya, yang mana kekuatan tarik dalam keadaan rol adalah 50 sampai 80 kg/mm².

2.11.2 Mampu Las Baja

Derajat dari kesukaran apakah sambungan las dapat memuaskan atau apakah konstruksi yang dibuat dengan jalan pengelasan dapat memenuhi maksud yang diinginkan dinamakan mampu las. Hal penting yang harus diperhatikan adalah terjadinya retakan dan terjadinya pengerasan, juga turunnya keuletan pada sambungan las. Salah satu sambungan pada konstruksi baja dibuat dengan jalan mengelas. Baja konstruksi merupakan salah satu jenis baja yang mempunyai sifat mampu las yang baik. Salah satu dampak pengelasan adalah tidak dapat dihindari bahwa bahan berubah sifatnya yang disebabkan karena panas pada waktu pengelasan. Jadi daerah pengelasan atau didaerah yang dipengaruhi oleh panas (HAZ) bisa terjadi perubahan kekerasan atau bahkan bisa terjadi retak (Tata Surdia 1999 : 77)

Antara muka antara logam induk dan logam penyambung pada daerah pengelasan dinamakan bagian pengikat dan selanjutnya daerah yang dipengaruhi panas dari logam

induk adalah daerah yang terpanaskan pertama pada temperature yang tinggi dan mengalami pendinginan yang secara cepat, yang menyebabkan daerah itu menjadi lebih keras (Tata Surdia, 1999 : 93)

2.11.3 Pengelasan Baja Karbon

Berdasarkan definisi AWS las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Sedangkan secara umum las adalah proses penggabungan material secara metalurgi atau termis dengan menggunakan energi yang berasal dari energi kimia, energi listrik dan energi mekanik. Pada pengelasan baja karbon terbagi atas tiga jenis yaitu :

1. Baja karbon rendah

Tidak menimbulkan masalah selama tebalnya kurang dari satu inci, tidak memerlukan *pre* ataupun *pos heating* dan umumnya elektroda mempunyai *low carbon*.

2. Baja karbon menengah

Secara umum mempunyai sifat mampu las (*weld ability*) yang baik. Pemilihan baja karbon menengah untuk aplikasi lebih didasarkan pada sifatnya yang tahan lama setelah dipakai. Pada aplikasi dan komponen tertentu diberi perlakuan panas (*heat treatment*) yaitu *pre* atau *post heat* atau keduanya untuk proses las demi menjamin terpenuhinya kisaran kekuatan dan kekesaran yang diperlukan.

3. Baja karbon tinggi

Pengelasannya sulit karena cenderung retak akibat difusi hidrogen. Pengelasan busur listrik lebih kritis dibandingkan dengan gas *welding*. Dibutuhkan *pre* dan *post heat* atau *stress relieving* atau elektroda mutlak *low hydrogen*, kadang untuk kadar karbon yang sangat tinggi dipakai elektroda *extra low carbon* untuk menambah ketahanan terhadap retak las.

2.12 Struktur Mikro Daerah Lasan

Menurut Abson dan Pargeter (1986), struktur mikro dari las biasanya kombinasi dari struktur mikro berikut ini :

a. Ferit Batas Butir

Ferit batas butir terbentuk pertama kali pada transformasi γ - α , biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu $1000\text{ }^{\circ}\text{C} - 650\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b. Ferit *Widmanstatten*

Jika suhunya lebih rendah maka akan terbentuk ferit *Widmanstatten*. Ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga akan memenuhi permukaan butirnya (Thewlis,1992). Struktur mikro ini terbentuk pada suhu $750\text{ }^{\circ}\text{C} - 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ disepanjang batas butir austenit. Ferit *Widmanstatten* mempunyai ukuran besar dengan orientasi arah yang hampir sama sehingga memudahkan terjadinya perambatan retak.

c. Ferit *Acicular*

Ferit *Acicular* berbentuk intragranular dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak (Dallam, 1985). Jika terjadi retak hasil las dengan struktur mikro ferit *Acicular* maka retak tersebut tidak akan cepat merambat karena orientasi arahnya acak. Karena hal tersebut maka bentuk struktur mikro ferit *Acicular* mempunyai ketangguhan paling tinggi dibanding struktur mikro yang lain. Biasanya ferit aciculat terbentuk sekitar suhu $650\text{ }^{\circ}\text{C}$.

d. Bainit

Bainit merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan berupa pelat-pelat sejajar dengan Fe_3C diantara pelat-pelat tersebut atau didalam pelat. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibanding ferit, tetapi lebih rendah dari pada martensit.

e. Martensit

Martensit akan terbentuk pada proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga kekuatan tarik dan ketangguhannya rendah.

2.13 Heat input

Pencairan logam induk dan logam pengisi memerlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan dihasilkan dari bermacam-macam sumber

tergantung pada proses pengelasannya. Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu. Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energy pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

$$HI (Heat Input) = \frac{\text{tegangan pengelasan } (E) \times \text{ arus pengelasan } (I)}{\text{kecepatan pengelasan } (v)} \quad (2-1)$$

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada. Untuk memperoleh masukan panas yang sebenarnya dari suatu proses pengelasan, persamaan satu dikalikan dengan efisiensi proses pengelasan (η)

sehingga persamaannya menjadi:

$$HI = \eta \frac{EI 60}{V 1000} \text{ kJ/mm} \quad (\text{Funderburk, 1999}) \quad (2-2)$$

Keterangan : HI = Heat Input (kJ/mm)

E = Tegangan listrik (Volt)

I = Besar arus (Ampere)

η = Efisiensi mesin

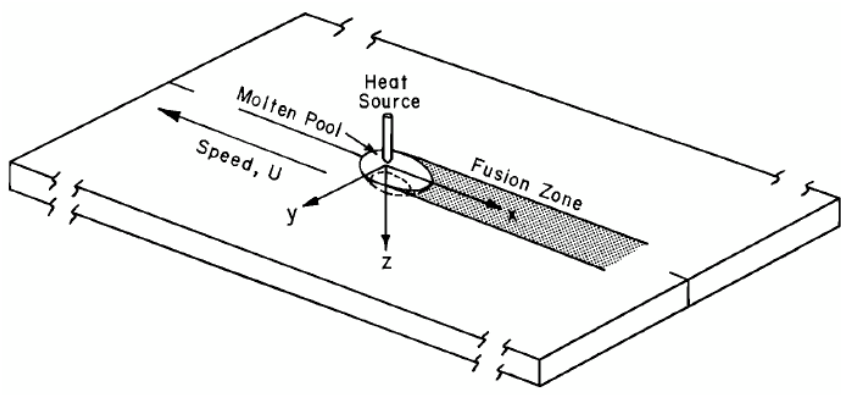
v = Kecepatan pengelasan (mm/menit)

Efisiensi masing-masing proses pengelasan dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel 2.5 Efisiensi Proses Pengelasan (Malau, 2003)

Proses pengelasan	Efisiensi (%)
SAW (<i>Submerged Arc Welding</i>)	95
GMAW (<i>Gas Metal Arc Welding</i>)	90
FCAW (<i>Flux Cored Arc Welding</i>)	90
SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>)	90
GTAW (<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>)	70

Dari persamaan heat input diatas selanjutnya dapat diprediksi temperature puncak pada proses pengelasan tersebut. Dengan menggunakan sitem koordinat x,y,z daerah HAZ dapat diprediksi temperature puncaknya. Dimana sumbu x merupakan arah gerak saat mengelas, sumbu y merupakan pergerakan arah vertical dari panas saat pengelasan dan sumbu z merupakan panas yang terdeteksi sepanjang tebal plat.



Gambar 2.9 Perpindahan Sumber Panas Sistem Koordinat (x,y,z)
 Sumber : Sindo Kou, 2003 : 48

Awalnya sistem koordinat bergerak dengan sumber panas pada kecepatan konstan arah sumbu x . Sehubungan dengan Bergeraknya sumber panas, distribusi temperature semakin tidak merata. Maka dari itu temperature juga akan berbeda pada setiap daerah las. Semakin dekat dengan sumber panas maka akan semakin tinggi pula temperaturnya. Kita

dapat memprediksi temperature sebuah daerah las yang berjarak 1–5 cm dari sumber panas dengan menggunakan rumus :

$$T_p = \frac{1}{\frac{\sqrt{2\pi e} \cdot Y \cdot g \cdot \rho C}{Q} + \frac{1}{T_m - T_0}} + T_0 \quad (\text{Sindo Kou, 2003}) \quad (2-3)$$

Keterangan :

T_p = Temperatur puncak (K)

T_0 = Temperatur awal benda kerja (K)

T_m = Temperatur lebur (K)

e = 2,718 angka alam logaritma

Y = Jarak dari *Fusion Line* (m)

g = Tebal benda kerja (m)

ρC = *Volume Thermal Capacity* ($\text{J/m}^3\text{K}$)

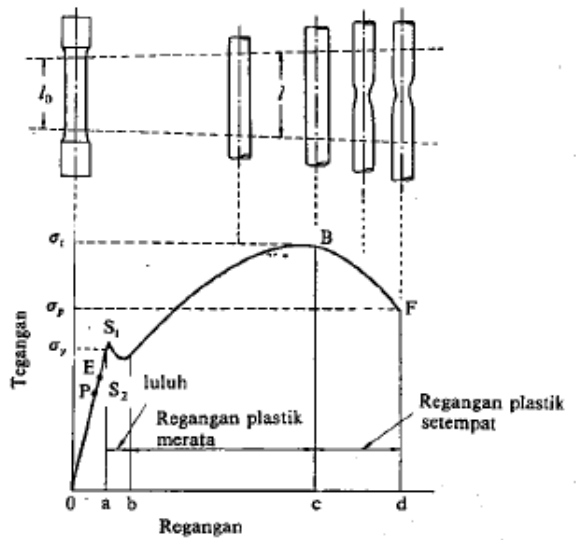
Q = Masukan energi (*heat input*) (J/m)

2.14 Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok raw materials. Pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kekuatannya dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda.

Penarikan gaya terhadap beban akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) bahan tersebut. Proses terjadinya deformasi pada bahan uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang mengakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga terlepas ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum. Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinu dan pelan–pelan bertambah besar,

bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan regangan.



Gambar 2.10 Kurva Tegangan-Regangan

Sumber : Wiryosumarto, 2000 : 181

Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinu dan pelan–pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan regangan. Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang mula benda uji.

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o} \quad (2-4)$$

Keterangan:

σ_u = Tegangan nominal (kg/mm^2)

F_u = Beban maksimal (kg)

A_o = Luas penampang mula dari penampang batang (mm^2)

Regangan (persentase pertambahan panjang) yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang ukur mula-mula benda uji.

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2-5)$$

Keterangan:

ε = Regangan (%)

L = Panjang akhir (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

Pembebanan tarik dilakukan terus-menerus dengan menambahkan beban sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda berupa pertambahan panjang dan pengecilan luas permukaan dan akan mengakibatkan kepatahan pada beban. Persentase pengecilan yang terjadi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (2-6)$$

Keterangan :

q = Reduksi penampang (%)

A_0 = Luas penampang mula (mm^2)

A_1 = Luas penampang akhir (mm^2)

2.15 Hipotesis

Dengan pemakaian material baja St 60, pengelasan dengan kuat arus yang lebih tinggi akan mempermudah penyalaan busur listrik dan busur listrik yang terjadi lebih stabil. Selain itu, pemakaian kuat arus yang lebih tinggi akan menghasilkan panas yang cukup untuk melelehkan elektroda dan logam induk (material), oleh sebab itu penembusan yang terjadi akan lebih maksimal. Maka kekuatan tarik akan semakin meningkat. Hal tersebut sesuai dengan elektroda jenis E7016 yang mempunyai sifat pancaran busur yang kuat dan daya penembusan terhadap bahan yang dilas sangat dalam.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan metode penelitian (*true experimental research*) eksperimental nyata dan secara langsung pada objek yang dituju bertujuan untuk mengetahui pengaruh kuat arus dan penggunaan jenis elektroda pada pengelasan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) terhadap kekuatan tarik hasil las baja St 60. Disamping itu juga dilakukan pengkajian terhadap dasar teori yang ada dari sumber literatur berupa buku dan jurnal.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Agustus – November 2013. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu :

- Laboratorium Proses Produksi I, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang
- Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang
- Laboratorium Struktur dan Bahan Kontruksi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat, variabel terkontrol.

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi nilai dari variabel terikat, besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya divariasikan untuk mendapatkan hubungan antara variabel terikat dan objek penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah kuat arus dan penggunaan jenis elektroda pada pengelasan las SMAW (*Shielded Metal Arc*

Welding) terhadap yang divariasikan yaitu 80 A, 90 A, 100 A dan 110 A. Untuk jenis elektroda divariasikan yaitu jenis E6013 dan E7016.

3.3.2 Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya bergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel yang terikat dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik.

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian, variable yang dijaga konstan dalam penelitian ini adalah:

1. Pengelasan dilakukan dengan las SMAW arus searah (DC) semi otomatis
2. Bahan yang digunakan adalah baja St 60
3. Elektroda yang digunakan adalah elektroda AWS E6013 dan E7016 dengan diameter 2,6 mm
4. Tegangan busur 22 volt
5. Arus yang divariasikan adalah 80, 90, 100 dan 110 ampere
6. Kecepatan pengelasan 250 mm/menit
7. Posisi pengelasan yang dilakukan adalah 1G (Flat Position)
8. Kampuh las yang digunakan jenis kampuh V dengan sudut 80°

3.4 Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain:

1. Mesin Uji tarik
2. Mesin uji foto struktur mikro
3. Mesin gergaji beserta kelengkapannya
4. Mesin frais
5. Mesin sekrap
6. *Stopwatch*
7. Mesin amplas
8. Penggaris
9. Alat-alat las SMAW, yang dibedakan menjadi 3 kelompok

a. Alat utama las SMAW antara lain :

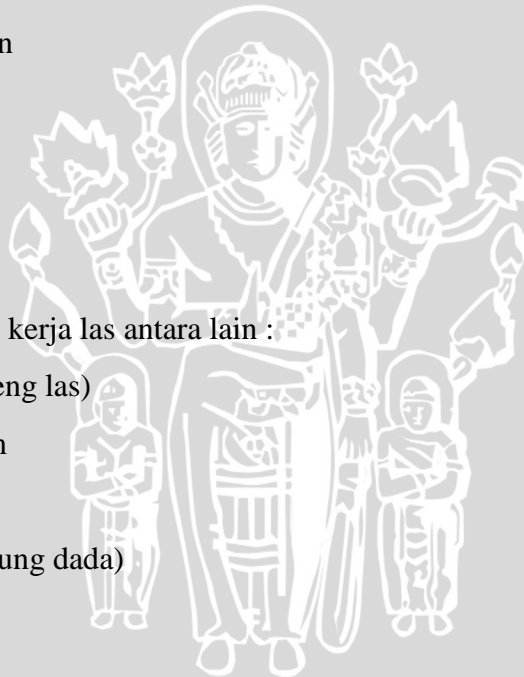
- Kabel tenaga
- Trafo las (generator)
- Kabel massa
- Kabel elektroda
- Pemegang elektroda
- Penjepit massa

b. Alat bantu las SMAW antara lain :

- Meja las
- Palu terak
- Palu konde
- Gerinda tangan
- Mistar baja
- Sikat baja
- Ragum
- Kikir

c. Alat keselamatan kerja las antara lain :

- Helm las (topeng las)
- Kaca las hitam
- Kaca las putih
- Apron (pelindung dada)
- Baju kerja
- Sarung tangan
- Sepatu kulit
- Masker



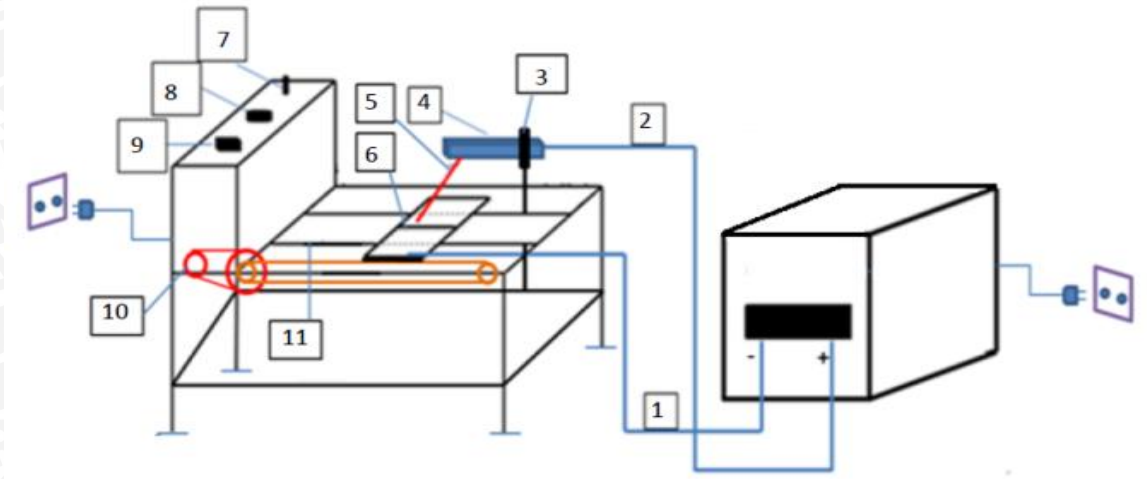
3.5 Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

- Baja Karbon menengah ST 60
- Elektroda jenis E6013 dan E7016

3.6 Instalasi Mesin Las Semi Otomatis

Dalam penelitian ini digunakan mesin las semi otomatis agar kecepatan pengelasan lebih konstan. Berikut ini instalasi dari mesin las semi otomatis:



Gambar 3.1 Instalasi Mesin Las Semi Otomatis

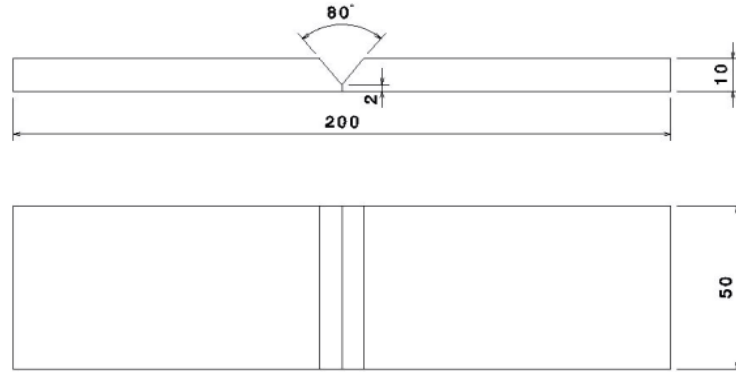
Keterangan :

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. Kabel massa | 7. Pengatur arah |
| 2. Kabel <i>torch</i> | 8. Pengatur kecepatan |
| 3. Pemegang <i>torch</i> | 9. Tombol saklar |
| 4. <i>Torch</i> | 10. Motor listrik |
| 5. Elektroda las | 11. Lintasan |
| 6. Logam induk | |

3.7 Prosedur Penelitian

1. Pembuatan Kampuh V terbuka

Pembuatan kampuh V terbuka dengan menggunakan mesin frais. Bahan yang telah dipersiapkan dipotong dengan mesin gergaji, dengan ukuran 200 mm x 50 mm sebanyak 16 buah. Setelah bahan dipotong kemudian permukaan digambar dengan spidol, tepi permukaan diukur sedalam dua mm dan di ukur sudut 40° . Setelah itu bahan dicekam diragum dan mulai proses pengefraisan dengan sudut 40° .



Gambar 3.2 Kampuh V Terbuka

2. Proses Pengelasan Benda

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengelasan adalah:

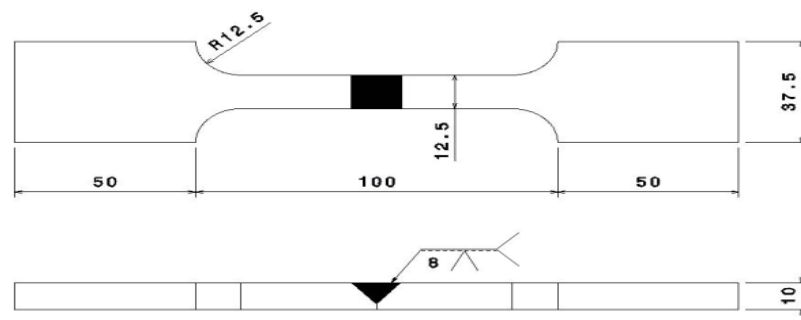
- a. Mempersiapkan mesin las SMAW.
- b. Mempersiapkan benda kerja yang akan dilas pada papan las yang berada diatas mesin semiotomatis
- c. Posisi pengelasan dengan menggunakan posisi pengelasan mendatar atau bawah tangan.
- d. Kampuh yang digunakan jenis kampuh V terbuka dengan sudut 80°
- e. Mempersiapkan elektroda, dalam penelitian ini dipilih elektroda jenis E6013 dan E7016 dengan diameter elektroda 2,6 mm.
- f. Menyetel ampere meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. Ampere meter diatur pada angka 80 A. Selanjutnya mulai dilakukan pengelasan untuk specimen menggunakan elektroda E6013 dan E7016 dengan arus 80 A.
- g. Menyetel ampere meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. Ampere meter diatur pada angka 90 A. Selanjutnya mulai dilakukan pengelasan untuk specimen dengan menggunakan elektroda E6013 dan E7016 dengan arus 100 A.

- h. Menyetel ampere meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. Ampere meter diatur pada angka 100 A. Selanjutnya mulai dilakukan pengelasan menggunakan elektroda E6013 dan E7016 dengan arus 110 A.
- i. Menyetel ampere meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. Ampere meter diatur pada angka 110 A. Selanjutnya mulai dilakukan pengelasan menggunakan elektroda E6013 dan E7016 dengan arus 120 A.

3. Pembuatan Spesimen

Mengacu standar ASTM E8 untuk pengujian kualitas kekuatan tarik bahan. Setelah proses pengelasan selesai maka dilanjutkan pembuatan spesimen sesuai standar ASTM E8, yang nantinya akan diuji tarik. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

- a. Meratakan alur hasil pengelasan dengan mesin frais.
- b. Bahan dipotong-potong dengan ukuran panjang 200 mm dan lebar 25 mm.
- c. Membuat gambar pada kertas yang agak tebal atau mal mengacu ukuran standar ASTM E8.
- d. Gambar atau mal ditempel pada bahan selanjutnya dilakukan pengefraisan sesuai dengan bentuk gambar.



Gambar 3.3 Specimen Uji Tarik

4. Proses Pengujian Kekuatan Tarik

Prosedur dan pembacaan hasil pada pengujian tarik adalah sebagai berikut. Benda uji dijepit pada ragam uji tarik, setelah sebelumnya diketahui penampangnya, panjang awalnya dan ketebalannya. Langkah pengujian sebagai berikut :

- a. Menyiapkan kertas milimeter block dan letakkan tersebut pada plotter.
- b. Benda uji mulai mendapat beban tarik dengan menggunakan tenaga hidrolis diawali 0 kg hingga benda putus pada beban maksimum yang dapat ditahan benda tersebut.
- c. Benda uji yang sudah putus lalu diukur berapa besar penampang dan panjang benda uji setelah putus.
- d. Gaya atau beban yang maksimum ditandai dengan putusnya benda uji terdapat pada layar digital dan dicatat sebagai data.
- e. Hasil diagram terdapat pada kertas milimeter block yang ada pada meja plotter.
- f. Hal terakhir yaitu menghitung kekuatan tarik, perpanjangan, reduksi penampang dari data yang telah didapat dengan menggunakan persamaan yang ada.

5. Foto Struktur Mikro

Sebelum melakukan pengujian foto struktur mikro benda uji perlu dipoles dahulu. Pemolesan dengan menggunakan ampelas grade 200 sampai 1200. Setelah spesimen diampelas dengan ukuran 1200 sampai halus kemudian diberi autosol agar spesimen lebih halus lagi. Spesimen yang telah diproses dilanjutkan dengan pengujian foto struktur mikro, adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

- a. Spesimen dibersihkan menggunakan kain, karena spesimen lebih besar dari tempat etsa maka pengetsaan menggunakan kapas yang dibasahi cairan etsa kemudian dioleskan pada permukaan yang dikehendaki. Setelah selesai dioles dengan cairan etsa kemudian dibilas dengan alkohol.
- b. Letakkan spesimen pada landasan mikroskop optik, aktifkan mesin, dekatkan lensa pembesar untuk melihat permukaan spesimen. Pengambilan foto struktur mikro dengan perbesaran 400x. Lihatlah struktur mikro apabila kurang jelas atau kabur, fokuskan lensa agar terlihat dengan jelas.

- c. Usahakan pada saat pengambilan foto tidak ada hal apapun yang membuat mikroskop optik bergerak, karena apabila mikroskop optik bergerak akan mempengaruhi hasilnya.

3.8 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian digunakan untuk mencari pengaruh dari satu faktor yaitu pengaruh kuat arus dan jenis elektroda pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik hasil lasan pada baja St 60

3.8.1 Analisa Data

Setelah data diperoleh selanjutnya adalah menganalisa data dengan cara mengolah data yang sudah terkumpul. Data dari hasil pengujian dimasukkan kedalam persamaan-persamaan yang ada sehingga diperoleh data yang bersifat kuantitatif, yaitu data yang berupa angka-angka. Teknik analisa data pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik las SMAW dengan elektroda E6013 dan E7016 berupa perbandingan prosentase dan rata-rata antara data-data yang mengalami variasi arus pengelasan

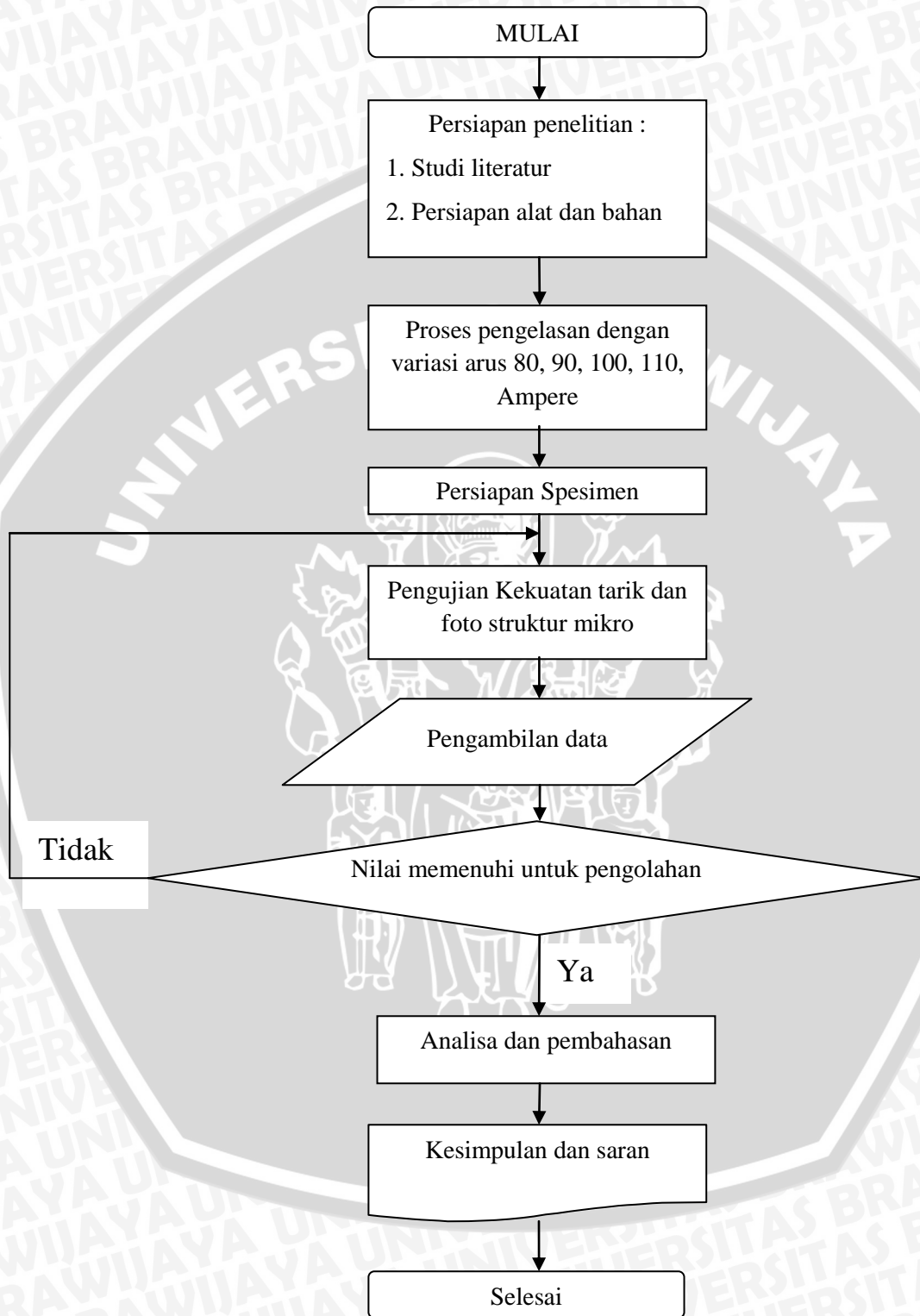
Tabel 3.1 Rancangan Data Pengujian Tarik Dengan Variasi Jenis Elektroda dan Kecepatan Pengelasan

No	Jenis Elektroda	Diameter Elektroda (mm)	Welding Current		Arus Pengelasan (Ampere)	UTS (MPa)	UTS Rata-rata (MPa)
			Kecepatan pengelasan (mm/menit)	Tegangan Busur (Volt)			
1	E6013	2,6	250	22	80		
2		2,6	250	22			
3		2,6	250	22			
4		2,6	250	22	90		
5		2,6	250	22			
6		2,6	250	22			

7		2,6	250	22		
8		2,6	250	22	100	
9		2,6	250	22		
10		2,6	250	22		
11		2,6	250	22	110	
12		2,6	250	22		
13		2,6	250	22		
14		2,6	250	22	80	
15		2,6	250	22		
16		2,6	250	22		
17		2,6	250	22	90	
18		2,6	250	22		
19	E7016	2,6	250	22		
20		2,6	250	22	100	
21		2,6	250	22		
22		2,6	250	22	110	
23		2,6	250	22		
24		2,6	250	22		



3.9 Diagram Alir



BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Komposisi Kimia Material

Hasil komposisi kimia material pada penelitian ini dimasukkan dalam tabel sebagai berikut:

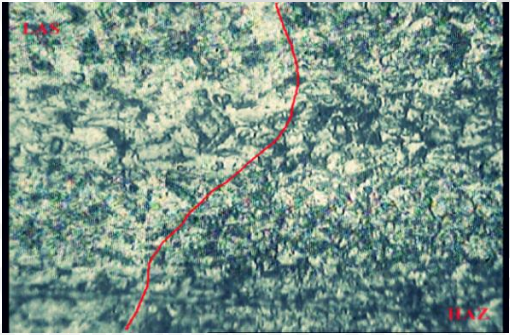
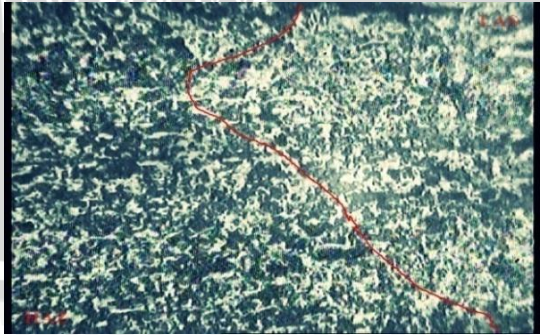
C (%)	Mn (%)	Si (%)	S (%)	Cr + Mo + Ni (%)
0,42–0,50	0,50–0,80	0,40	0,020–0,040	0,63

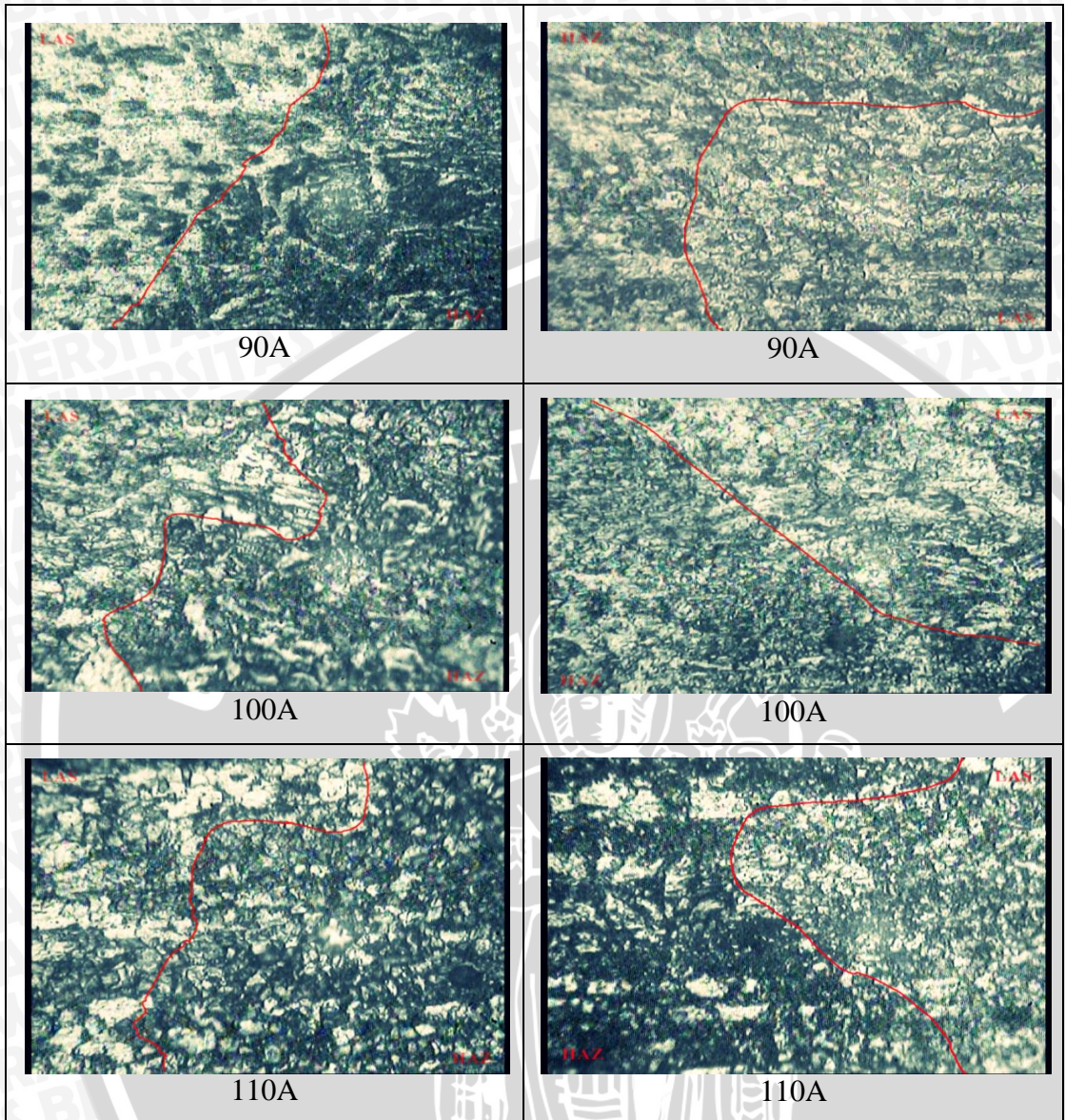
Dari tabel komposisi kimia diatas, kandungan karbon (C) sebesar 0,42–0,50 %. Maka material St 60 yang digunakan tergolong sebagai baja paduan menengah.

4.1.2 Hasil Foto Struktur Mikro

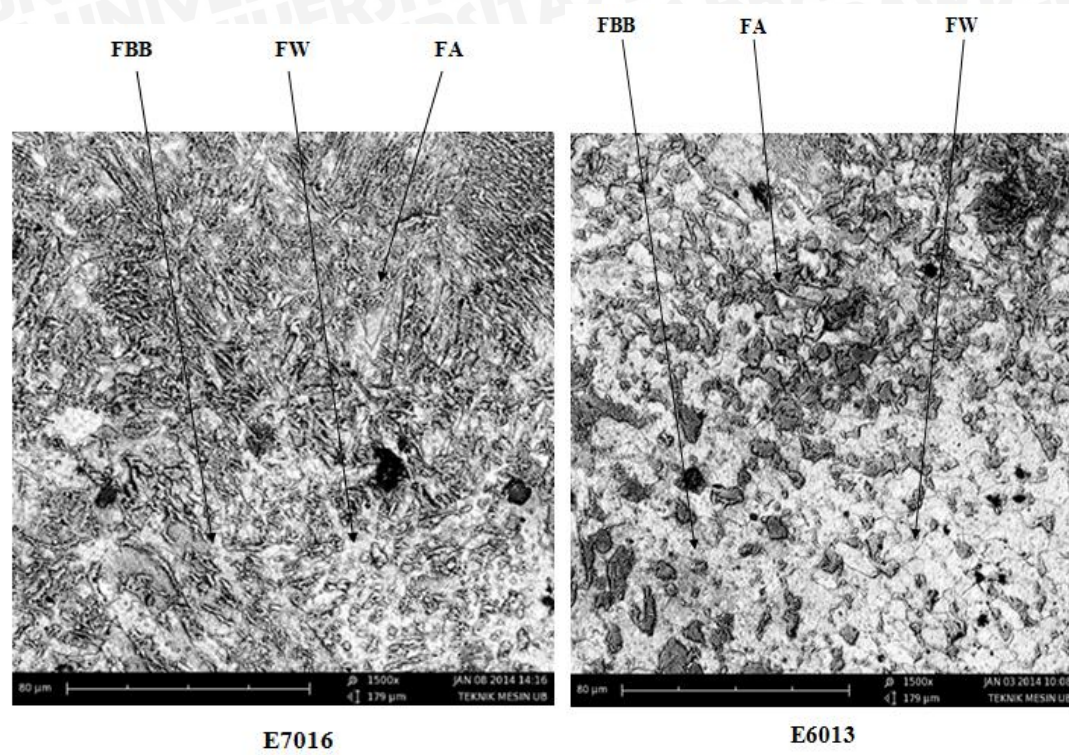
Foto mikro dilakukan agar mempermudah analisa struktur yang terbentuk antara logam las dan logam HAZ. Foto mikro dilakukan setelah dilakukan pengelasan pada baja St 60.

Tabel 4.1 Hasil Foto Mikro

Perbandingan Hasil Foto Mikro Antara Pemakaian Kuat Arus Pengelasan dan Jenis Elektroda	
Elektroda E6013	Elektroda E7016
 <p>80A</p>	 <p>80A</p>



Untuk memperjelas struktur mikro dari hasil lasan dilakukan foto sem agar pembahasan struktur mikro lebih detail dan jelas. Berikut ini contoh foto sem hasil lasan menggunakan elektroda jenis E6013 dan E7016 dengan kuat arus 100 ampere



Gambar 4.1 Foto Sem Hasil Lasan

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa struktur mikro daerah las pada pemakaian elektroda jenis E6013 lebih banyak mengandung *ferrite widmanstatten* (FW) yang tersusun renggang sedangkan logam HAZ lebih banyak mengandung *ferrite acicular* (FA) yang tersusun renggang. *Ferrite* jenis ini terbentuk sekitar suhu 650°C . *Ferrite* batas butir (FBB) terdapat pada batas antara logam las dengan logam HAZ. Pada struktur mikro daerah las pemakaian elektroda jenis E7016 terlihat *ferrite widmanstatten* lebih rapat. Ini berarti pencampuran logam induk dengan elektroda berlangsung baik. Sedangkan pada logam HAZ didominasi oleh *ferrite accicular* yang tersusun rapat. Dengan sifat *ferrite accicular* yang mempunyai ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan jenis *ferrite* yang lain, maka hasil uji tarik menggunakan jenis elektroda E7016 lebih tinggi dibandingkan E6013.

4.1.3 Data Hasil Uji Tarik Pada Sambungan Las

Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan data hasil uji tarik pada hasil sambungan las SMAW (*Shielding Metal Arc Welding*). Pengambilan data menggunakan alat uji tarik setelah specimen dilakukan pengelasan. Pada setiap pemakaian arus yang

berbeda dilakukan tiga kali pengelasan dan tiga kali uji tarik yang nantinya diperoleh nilai rata-rata dari ketiga pengujian.

Tabel 4.2 Data Hasil Uji Tarik Pada Sambungan Las

No	Jenis Elektroda	Diameter Elektroda (mm)	Welding Current		Arus Pengelasan (Ampere)	UTS (MPa)	UTS Rata-rata (MPa)
			Kecepatan pengelasan (mm/menit)	Tegangan Busur (Volt)			
1	E6013	2,6	250	22	80	416	336
2		2,6	250	22		288	
3		2,6	250	22		304	
4		2,6	250	22	90	448	392
5		2,6	250	22		352	
6		2,6	250	22		376	
7		2,6	250	22	100	432	437,333
8		2,6	250	22		432	
9		2,6	250	22		448	
10		2,6	250	22	110	528	517,333
11		2,6	250	22		512	
12		2,6	250	22		512	
13	E7016	2,6	250	22	80	416	416
14		2,6	250	22		512	
15		2,6	250	22		320	
16		2,6	250	22	90	480	453,333
17		2,6	250	22		480	
18		2,6	250	22		400	



19		2,6	250	22		448	501,333
20		2,6	250	22	100	528	
21		2,6	250	22		528	
22		2,6	250	22		576	538,667
23		2,6	250	22	110	512	
24		2,6	250	22		528	

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Perhitungan Teoritis

Setelah diperoleh hasil uji tarik, maka dapat dihitung tegangan, regangan dan reduksi penampang. Berikut ini contoh perhitungan teoritis dari tegangan, regangan dan reduksi penampang

Tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan Teoritis

Elektroda	Besar Arus (Ampere)	L_0 (mm)	A_0 (mm ²)	σ_u (MPa)	ϵ (%)
E.6013	80	200	125	416	2
		200	125	304	1.5
		200	125	288	2
	90	200	125	448	2.5
		200	125	376	2.5
		200	125	352	3
	100	200	125	432	3.5
		200	125	448	3
		200	125	432	4
	110	200	125	528	4
		200	125	512	3
		200	125	512	3

E.7016	80	200	125	512	3
		200	125	320	1.5
		200	125	416	2
	90	200	125	480	3.5
		200	125	400	2
		200	125	480	2.5
	100	200	125	448	3
		200	125	528	3.5
		200	125	528	3
	110	200	125	576	4.5
		200	125	528	4
		200	125	512	3.5

1. contoh perhitungan

$$a) \sigma_u = \frac{F_u}{A_o}$$

$$F_u = 52 \text{ Kn}$$

$$= \frac{52 \times 100 \text{ kg}}{125 \text{ mm}^2} = 41,6 \text{ kg/mm}^2 = 416 \text{ MPa}$$

$$b) \varepsilon = \frac{L - L_o}{L_o} \times 100\%$$

$$= \frac{204 - 200}{200} \times 100\%$$

$$= 2\%$$

4.2.2 Anova

Pengujian klasifikasi dua arah dengan interaksi merupakan pengujian beda tiga rata-rata atau lebih dengan dua faktor yang berpengaruh dan pengaruh interaksi antara kedua faktor tersebut diperhitungkan.

Hipotesa:

Ho : Tidak ada pengaruh antara jenis elektroda dan arus pengelasan terhadap hasil uji tarik sambungan las

H1 : Ada pengaruh antara jenis elektroda dan arus pengelasan terhadap hasil uji tarik sambungan las

Tabel 4.4 Data Statistika Induk Perhitungan Anova Hasil Uji Tarik Sambungan Las

Variabel	Pengulangan	Kekuatan Tarik		Σ	
		Elektroda E6013	Elektroda E7016		
Arus Pengelasan	80 A	1.	416	512	
		2.	288	416	
		3.	304	320	
		Jumlah	1008	1248	
	90 A	1.	448	480	
		2.	352	480	
		3.	376	400	
		Jumlah	1176	1360	
	100 A	1.	432	448	
		2.	432	528	
		3.	448	528	
		Jumlah	1312	1504	
	110 A	1.	528	512	
		2.	512	576	
		3.	512	528	
		Jumlah	1552	1616	
Σ		5048	5728	10776	



Dari tabel diatas diperoleh $b = 4, k = 3, n = 3$

Keterangan : b = Banyaknya baris pada variable yang digunakan

k = Banyaknya kolom pada variable yang digunakan

n = Banyaknya pengulangan yang dilakukan

$$JK_T = \frac{\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^k \sum_{k=1}^n X_{ijk}^2}{bkn} - \frac{T^2}{bkn}$$

$$JK_T = 4980800 - \frac{116122176}{36} = 1755184$$

$$JK_A = \frac{\sum_{i=1}^b T_i^2}{kn} - \frac{T^2}{bkn}$$

$$JK_A = \left(\frac{29486912}{9} \right) - \frac{116122176}{36} = 50707,556$$

$$JK_B = \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{bn} - \frac{T^2}{bkn}$$

$$JK_B = \left(\frac{58292288}{12} \right) - \frac{116122176}{36} = 1632074,667$$

$$JK_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^b T_i^2}{kn} - \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{bn} + \frac{T^2}{bkn}$$

$$JK_{AB} = \left(\frac{14809664}{3} \right) - \left(\frac{29486912}{9} \right) - \left(\frac{58292288}{12} \right) + \left(\frac{116122176}{36} \right) = 28156,444$$

$$JK_D = JK_T - JK_A - JK_B - JK_{AB}$$

$$JK_D = 1755184 - 50707,556 - 1632074,667 - 28156,444 = 44245,333$$

$$db_A (\text{BARIS}) = 4 - 1 = 3$$

$$db_B (\text{KOLOM}) = 3 - 1 = 2$$

$$db_{AB} (\text{INTERAKSI}) = 3 \times 2 = 6$$

$$db_D (\text{RESIDU}) = 36 - (4 \times 3) = 36 - 12 = 24$$

$$db_T (\text{TOTAL}) = 36 - 1 = 35$$

$$KR_A = \frac{50707,556}{3} = 16902,518$$

$$KR_B = \frac{1632074,667}{2} = 816037,335$$

$$KR_{AB} = \frac{28156,444}{6} = 4692,74$$

$$KR_D = \frac{44245,333}{24} = 1843,555$$

$$F_A = \frac{16902,518}{1843,555} = 9,16$$

$$F_B = \frac{816037,335}{1843,555} = 442,64$$

$$F_{AB} = \frac{4692,74}{1843,555} = 2,54$$

$$\alpha : 0,05$$

$$F_{A(\text{tabel})} = f_{\alpha(b-1;bk(n-1))} = 8,64$$

$$F_{B(\text{tabel})} = f_{\alpha(k-1;bk(n-1))} = 19,45$$

$$F_{AB(\text{tabel})} = f_{\alpha((b-1)(k-1);bk(n-1))} = 3,84$$

Dari perhitungan statistik menggunakan analisa varian dua arah, maka akan didapatkan data seperti yang terlihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Analisa Varian Dua Arah Kekasaran Permukaan Rata-rata

SK	JK	Derajat bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	f hitung	f tabel
Arus Pengelasan	50707,556	3	16902,518	9,16	8,64
Jenis Elektroda	1632074,667	2	816037,335	442,64	19,45
Interaksi (SD)	28156,444	6	4692,74	2,54	3,84
Galat	44245,333	24	1264,152		
Total	1755184	35			

Kesimpulan:

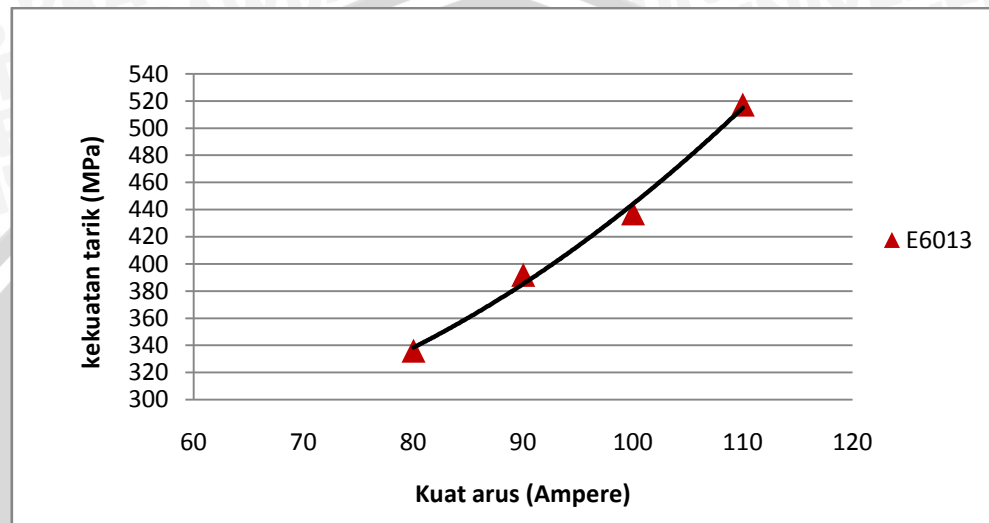
- a. $F_A (\text{hitung}) > F_A (\text{tabel})$ atau $9,168 > 8,69$. Karena harga $F_A (\text{hitung})$ lebih besar dari $F_A (\text{tabel})$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya ada pengaruh antara arus pengelasan terhadap uji tarik hasil sambungan las pada baja St 60
- b. $F_B (\text{hitung}) > F_B (\text{tabel})$ atau $442,64 > 19,45$. Karena harga $F_B (\text{hitung})$ lebih besar dari $F_B (\text{tabel})$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya ada pengaruh antara jenis elektroda terhadap uji tarik hasil sambungan las pada baja St 60
- c. $F_{AB} (\text{hitung}) < F_{AB} (\text{tabel})$ atau $2,54 < 3,84$. Karena harga $F_{AB} (\text{hitung})$ lebih kecil dari $F_{AB} (\text{tabel})$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak artinya tidak ada interaksi pengaruh antara arus pengelasan dan jenis elektroda terhadap uji tarik hasil sambungan las pada baja St 60.



4.3 Pembahasan

4.3.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Elektroda E6013

Data dari tabel 4.1 hasil uji tarik selanjutnya dijadikan grafik garis seperti dibawah ini:

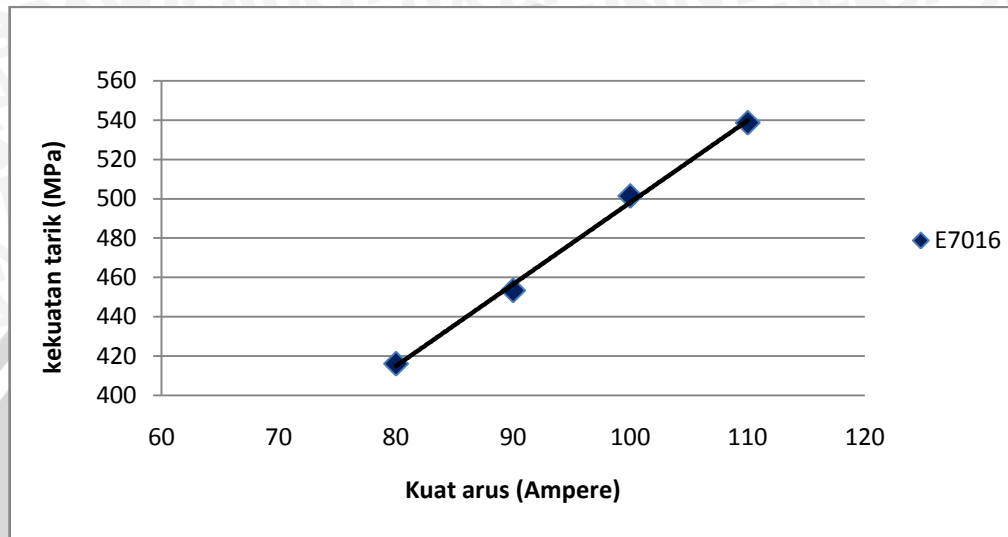


Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Elektroda E6013

Dari grafik 4.2 terlihat bahwa semakin besar arus yang digunakan, semakin besar pula kekuatannya dengan pemakaian kecepatan pengelasan yang sama yaitu 250 mm/menit. Hal ini dapat dilihat dari penggunaan arus 80 ampere sampai arus 110 ampere. Pada arus 80 ampere, kekuatannya sebesar 336 MPa. Selanjutnya pada arus 90 ampere kekuatannya sebesar 392 MPa. Ini berarti mengalami kenaikan pada kekuatan tarik sebesar 56 MPa dari kelompok arus 80 ampere. Pada pemakaian arus 100 ampere kekuatannya sebesar 437,333 MPa, hal ini mengalami kenaikan sebesar 81,333 MPa dari kelompok 90 ampere. Nilai tertinggi pada kekuatan tarik yang menggunakan elektroda jenis E6013 terdapat pada penggunaan arus 110 ampere, yang mempunyai kekuatan tarik sebesar 517,333 MPa. Pada arus 110 ampere kekuatan tarik mengalami kenaikan sebesar yaitu 80 MPa dari kelompok 100 A. Nilai tersebut masih mengalami penurunan 122,667 MPa jika dibandingkan dengan *raw material* yang mempunyai kekuatan tarik sebesar 640 MPa.

4.3.2 Grafik Hubungan Antara Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Elektroda E7016

Data dari tabel 4.1 hasil uji tarik selanjutnya dijadikan grafik garis seperti dibawah ini:



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Elektroda E7016

Hampir sama dengan grafik sebelumnya, grafik 4.3 terlihat bahwa semakin besar arus yang digunakan, semakin besar pula kekuatannya dengan pemakaian kecepatan pengelasan yang sama yaitu 250 mm/menit. Hal ini dapat dilihat dari penggunaan arus 80 ampere sampai arus 110 ampere. Pada arus 80 ampere, kekuatannya sebesar 416 MPa. Selanjutnya pada arus 90 ampere kekuatannya sebesar 453,333 MPa. Hal ini berarti mengalami kenaikan pada kekuatan tarik sebesar 37,333 MPa dari kelompok arus 80 ampere. Pada pemakaian arus 100 ampere kekuatannya sebesar 501,333 MPa, ini mengalami kenaikan sebesar 48 MPa dari kelompok 90 ampere. Nilai tertinggi pada kekuatan tarik yang menggunakan elektroda jenis E7016 terdapat pada kelompok arus 110 ampere, yang mempunyai kekuatan tarik sebesar 538,667 MPa. Pada arus 110 ampere kekuatan tarik mengalami kenaikan sebesar yaitu 37,333 MPa. Nilai tersebut masih mengalami penurunan 101,333 MPa jika dibandingkan dengan *raw material* yang mempunyai kekuatan tarik sebesar 640 MPa.

4.3.3 Pembahasan Grafik

Kedua grafik diatas memiliki kecenderungan yang sama yaitu kecenderungan naik. Semakin besar arus yang digunakan semakin besar pula nilai kekuatan tariknya. Mulai dari pemakaian arus 80 ampere sampai arus 110 ampere grafik cenderung naik. Pada pemakaian arus 80 ampere dengan kecepatan 250 mm/menit, arus yang terjadi terlalu rendah menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang dihasilkan tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan *raw material* serta penembusan yang terjadi kurang maksimal. Sehingga hasil uji tarik dari kelompok arus 80 ampere mempunyai nilai uji tarik terendah. Sebaliknya dengan pemakaian arus 110 ampere dengan kecepatan 250 mm/menit, arus yang digunakan menghasilkan percikan busur yang lebih besar dan peleburan elektroda lebih cepat. Sehingga elektroda dan *raw material* dapat melebur dengan sempurna. Hal ini dikarenakan semakin besar arus pengelasan maka semakin besar pula *heat input*. *Heat input* sendiri berpengaruh pada proses pencairan *raw material* dan logam pengisi. Hal ini sesuai dengan rumus (2-2):

$$HI = \eta \frac{EI 60}{v 1000} \text{ kJ/mm}$$

Keterangan : HI = Heat Input (kJ/mm)

E = Tegangan listrik (Volt)

I = Besar arus (Ampere)

η = Efisiensi mesin, untuk SMAW nialinya 0,9 (Malau, 2003)

v = Kecepatan pengelasan (mm/menit)

Dari rumusan diatas dapat dilihat bahwa semakin besar arus dengan kecepatan yang sama, maka semakin besar pula nilai *heat input* atau energy panasnya. Hal tersebut akan mempermudah dalam proses pencairan antara *raw material* dan logam pengisinya. Jadi dengan penggunaan arus yang lebih besar akan semakin besar *heat input* dan semakin besar pula hasil uji tarik dari specimen tersebut. Berikut ini hasil perhitungan *heat input* pada pada arus 80, 90, 100 dan 110 ampere.

Tabel 4.6 Data Besar Energy Pengelasan (*Heat Input*)

Besar Arus (ampere)	Tegangan Listrik (Volt)	Kecepatan Pengelasan (mm/menit)	Efisiensi Mesin	<i>Heat Input</i> (kJ/mm)
80	22	250	0.9	0.38016
90	22	250	0.9	0.42768
100	22	250	0.9	0.4752
110	22	250	0.9	0.52272

Dengan diketahuinya *heat input* diatas dapat diprediksi pula temperatur puncak (T_p) pada permukaan benda kerja selama proses pengelasan dengan menggunakan rumus (2-3):

$$T_p = \frac{1}{\frac{\sqrt{2\pi e} \cdot Y \cdot g \cdot \rho C}{Q} + \frac{1}{T_m - T_0}} + T_0$$

Keterangan :

T_p = Temperatur puncak (K)

T_0 = Temperatur awal benda kerja (K)

T_m = Temperatur lebur (K)

e = 2,718 angka alam logaritma

Y = Jarak dari *Fusion Line* (m)

g = Tebal benda kerja (m)

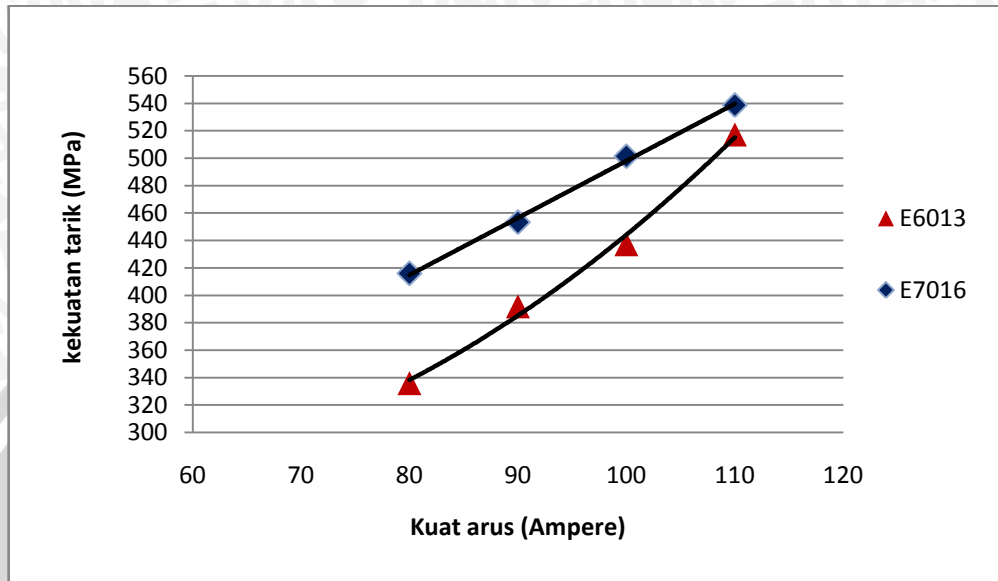
ρC = *Volume Thermal Capacity* (J/m^3K)

Q = Masukan energi (*heat input*) (J/m)

Tabel 4.7 Data Hasil Temperatur Puncak

No	Q (J/m)	g (m)	ρC (J/m^3K)	Y (m)	T_0 (K)	T_m (K)	T_p (K)	T_p (C)
1	380160	0,001	$4,5 \times 10^6$	0,02	300	1800	907,899	634,899
2	427680	0,001	$4,5 \times 10^6$	0,02	300	1800	950,913	677,913
3	475200	0,001	$4,5 \times 10^6$	0,02	300	1800	989,969	716,969
4	522720	0,001	$4,5 \times 10^6$	0,02	300	1800	1025,59	752,59

4.3.4 Grafik Hubungan Antara Kuat Arus Pengelasan Dan Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Kuat Arus Pengelasan Dan Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik

Dari grafik 4.4 terlihat bahwa pemakaian elektroda E7016 memiliki kekuatan tarik lebih dibandingkan pemakaian elektroda E6013. Hal tersebut bisa dilihat mulai dari arus 80 ampere sampai 110 ampere dengan pemakaian elektroda E7016 kekuatan tariknya selalu lebih tinggi dibanding dengan pemakaian elektroda E6013. Jadi dengan pemakaian jenis elektroda yang berbeda, akan mempengaruhi kekuatan tariknya. Hal ini dikarenakan kedua elektroda memiliki jenis bahan penyusun (komposisi) elektroda dan *fluks* yang berbeda. Perbedaan komposisi tersebut juga akan mempengaruhi sifat dari kedua elektroda. Berikut ini perbandingan komposisi dari kedua elektroda.

Tabel 4.8 Perbandingan Komposisi Kimia Elektroda E6013 dan E7016

Elektroda	C	Si	Mn	P	S
E6013	0,08	0,30	0,37	0,012	0,010
E7016	0,08	0,60	0,94	0,011	0,006

Sumber : *Kobelco Welding Handbook*

Dari tabel 4.8 diperoleh data bahwa persentase komposisi Mn (mangan) dan Si (silikon) pada elektroda E7016 lebih tinggi dibandingkan elektroda E6013. E7016 mengandung unsur Mn yang besar yaitu 0,94 % dan kandungan unsur silikon (Si) sebesar 0,6 %. Fungsi dari unsur Mn adalah dapat mengikat karbon (C) membentuk karbida mangan (Mn_3C) yang dapat menaikkan kekuatan, ketangguhan baja dan meningkatkan kekerasan. Sedangkan fungsi dari kandungan unsur silikon adalah pembentuk ferit yang sangat kuat dan juga untuk menguatkan baja.

Jenis *fluks* yang digunakan pada elektroda E6013 berbeda dengan yang digunakan pada E7016. Elektroda E6013 mempunyai jenis *fluks high titania potassium*. Elektroda E6013 ini sifat busurnya lemah dengan daya penembusan yang dangkal. Karena itu elektroda E6013 dapat dengan baik dipakai pada tegangan rendah. Elektroda E6013 ini sangat baik untuk mengelas pelat-pelat tipis tetapi kurang baik untuk mengelas pelat-pelat yang tebal, apalagi untuk mengelas kampuh dengan celah yang curam. Hal tersebut disebabkan karena pembakaran elektroda E6013 yang kurang dalam. Sedangkan Elektroda E7016 mempunyai jenis *fluks Low hydrogen potassium*. Elektroda jenis ini sifat busurnya sedang dan dalamnya pembakaran sedang. Maka dari itu daya penembusan dari elektroda E7016 lebih baik dari elektroda jenis E6013. Daya penembusan dan kedalaman pembakaran akan berpengaruh pada proses pengelasan pada specimen yang tebal dan berkampuh.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin besar kuat arus pengelasan maka kekuatan tarik yang dihasilkan semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin besar arus pengelasan maka semakin besar pula *heat input*. *Heat input* sendiri berpengaruh pada proses pencairan *raw material* dan logam pengisi. Selain itu pemakaian jenis elektroda E7016 memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih besar daripada elektroda jenis E6013. Komposisi *fluks* dan kawat inti dari kedua elektroda yang menyebabkan terjadinya perbedaan kekuatan tarik dari kedua elektroda. Nilai uji tarik terbesar pada penelitian ini sebesar 544 MPa menggunakan arus pengelasan 110 A dengan elektroda E7016. Sedangkan nilai terendah sebesar 352 MPa menggunakan arus pengelasan 80 A dengan elektroda E6013.

5.2 Saran

1. Sebaiknya dilakukan foto SEM agar pembahasan tentang struktur yang terbentuk antara logam las dan logam haz lebih jelas.
2. Perlu menggunakan variasi jenis elektroda yang lebih banyak agar diketahui elektroda yang cocok dengan arus 80,90,100 dan 110 ampere.
3. Perlu dikembangkan penelitian pengaruh kuat arus dan jenis elektroda pada las SMAW semi otomatis menggunakan material yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S. , 1997, *Las Listrik dan Ototen*, Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Dallam, C.B., Liu, S., dan olson, D.L., 1985, *Flux Composition Dependence of Microstructure and Toughness of Submerged Arc HSLA Weldments*, *Welding Journal* 64, pp. 140-151
- Djaprie, Sriati (Trl.), 1994, *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*, Erlangga, Jakarta.
- Funderburk, Scott, 1999, *Key Concepts In Welding Engineering Journal Of Welding Innovation*.
- Hery S., dan Rochim S., 2006, *Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*, Cetakan kedua, CV Alfabeta, Bandung.
- Kobelco Welding Handbook, 2012, *Welding Consumables And Processes*, Tokyo
- Kou S., *Welding Metallurgy, Second edition*, John Wiley & Son, Inc., 2003, New Jersey.
- Malau, V., 2003, *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam*, Yogyakarta.
- Masurung, 2007, *Pengaruh Kuat Arus Dan Diameter Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Las Smaw Logam ST 37*, Skripsi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, Malang.
- Messler, Robert, W., 1999, *Principle of Welding Processes, Physics, Chemistry, & Metallurgy*, John Wiley & Son, New York.
- Pamungkas, 2009, *Perbandingan Elektroda 7016 dan 7018 Proses SMAW pada Plat ASTM A36 dengan Tipe Butt Joint terhadap Kekuatan Tarik dan Lebar HAZ*, Tugas Akhir Jurusan DIII Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Prasetyawanto, Lukas Okta, 2012, *Ringkasan Materi Sub Bidang Pengelasan Smaw*, Serang.
- Putri, Fenoria, *Pengaruh Besar Arus Listrik Dan Panjang Busur Api Terhadap Hasil Pengelasan*, Skripsi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
- Sunari, 2007, *Teknik Pengelasan Logam*, Ganeca Exact, Jakarta
- Surdia, Tata, 1999, *Teknik Pengecoran Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Thewlis, G., 1992, *Factors Affecting Weld Metal Properties in Arc Welding*, British Steel Corporation
- Walpole, E. Ronald, 1992, *Pengantar Statistik*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Widharto S., 2006, *Petunjuk Kerja Las*, Cetakan keenam, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Wiryo Sumarto H., dan Okumura T., 2000, *Teknologi pengelasan Logam*, Cetakan kedelapan, PT Pradnya Paramita, Jakarta.





KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK
LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN KONSTRUKSI
Mayjend. Haryono 167 Malang 65145 – Telp (0341) 587710, 587711 Pes. 1125-1126

SURAT KETERANGAN

No : 213 /LBK.F.T/X/2013

Yang bertandatangan dibawah ini , Kepala Laboratorium Struktur Dan Bahan Konstruksi
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, menerangkan bahwa mahasiswa tersebut dibawah ini :

No	Nama	NIM
1	Teddy Andi P	1110622004-62

Lembaga Asal : Teknik Mesin FT UB

Telah melakukan pengujian Tarik Plat di Laboratorium Struktur pada tanggal 18 Oktober 2013

Demikian Surat Keterangan ini di buat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya

Malang, 21 Oktober 2013
Kepala Laboratorium



Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS
NIP. 19511211 198103 2 001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA
LABORATORIUM PROSES PRODUKSI I
Jl. Mayjen M.T.Haryono 167 Malang 65145 Tlp. 551611-551615 Pes.221 Fax (0341) 551430-551993



SURAT KETERANGAN

No. 16-PP1-FT-UB-GJL-I-2014

Yang bertanda tangan dibawah ini Kepala Laboratorium Proses Produksi I Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya :

Nama : Dr. Eng., Eko Siswanto, ST., MT.
NIP : 19701017 199802 1 001

Menerangkan bahwa :

Nama : Teddy Andi Pramono
Instansi : Teknik Mesin Universitas Brawijaya
NIM : 1110622004

Telah melakukan penelitian sehubungan dengan skripsi yang bersangkutan dengan judul **'PENGARUH KUAT ARUS PENGELASAN DAN JENIS ELEKTRODA TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL SAMBUNGAN LAS SMAW (SHIELD METAL ARC WELDING) PADA BAJA St 60'** di Laboratorium Proses Produksi I Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tanggal 1 September - 1 Oktober 2013.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan dengan sebagaimana mestinya.

Malang, 21 Januari 2014

Kepala Laboratorium Proses Produksi I
Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya



Dr. Eng., Eko Siswanto, ST., MT.
NIP. 19701017 199802 1 001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN

Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 1214 Malang 65145

Nomor : 003/PT.13.FT.6.M/I/2014

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa:

Nama : Teddy Andi Pramono
Nim. : 1110622004-62
Jurusan / Program Studi : Teknik Mesin
Instansi : Universitas Brawijaya Malang

Benar-benar telah melaksanakan penelitian / pengambilan data Pengujian Foto Mikrostruktur di laboratorium Pengujian Bahan Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang pada tanggal 28 Oktober - 01 Nopember 2013 guna keperluan penyelesaian Tugas Akhir dengan judul:

"Pengaruh Kuat Arus Pengelasan dan Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Sambungan Las SMAW Baja ST 60 "

Demikian surat keterangan ini di buat dengan sebenar benarnya dan diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan dengan seperlunya.



Malang, 20 Januari 2014
K. Lab. Pengujian Bahan

Erwin Sulisty
Ir. Erwin Sulisty, MT.
NIP. 19661213 199802 1 001

TA STEEL **HQ 760[®]**

High Quality Machinery Steel

CHEMICAL ANALYSIS, %	C	Mn	Si (max)	S	Cr + Mo + Ni (max)
	0.42 - 0.50	0.50 - 0.80	0.40	0.020 - 0.040	0.63

COMPARISON TO INTERNATIONAL STANDARDS

AISI/SAE/ASTM	1045
Werkstoff	1.0503
DIN	C 45
JIS	S 45 C
SIS	1672

CHARACTERISTICS & APPLICATIONS

HQ 760[®] is an easily machinable carbon steel characterized by:

- Good machinability
- Fair resistance to abrasion
- Good mechanical strength

HQ 760[®] is primarily intended to be used in the as-delivery condition. It is only to be heat treated for special applications.

Application includes engine mounting, liner, ceramic mould, lever and other machinery parts that requires moderate strength and wear resistance.

MECHANICAL PROPERTIES WELDING

Yield strength, Rp 0.2	305 N/mm ² (30 kg/mm ²)
Tensile strength, Rm	580 N/mm ² (58 kg/mm ²)

As is the case with most tool steels, the welding of HQ 760[®] is associated with high risk of cracking. In order to minimize this risk, welding should be carried out with preheating at 100 - 350°C (210 - 660°F).

Electrode: Unalloyed basic electrode for welding of unalloyed structural steel.

Note: Use well-dried basic electrode. Welding may also be performed with a stainless austenitic electrode, whereby a lower working temperature may be used. But the weld metals will have a lower strength (hardness) than the base material.

**PT TIRA ANDALAN STEEL**

A subsidiary of PT Tira Austenite Tbk.

Jl. Pulo Ayang Kav. R1
Pulogadung Industrial Estate
Jakarta 13930 - Indonesia
P.O. Box 1010/JAT - Jakarta 13010

Phone : (021) 4602594 (Hunting)

Fax : (021) 4602593

Homepage : <http://www.tiraustenite.com>email : headoffice@tiraustenite.com

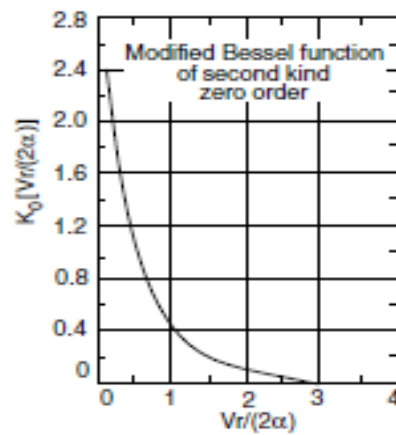


Figure 2.16 Modified Bessel function of second kind and zero order (26).

TABLE 2.1 Thermal Properties for Several Materials

Material	Thermal Diffusivity, α (m^2/s)	Volume Thermal Capacity, ρC_p ($\text{J}/\text{m}^3\text{K}$)	Thermal Conductivity, k ($\text{J}/\text{m s K}$)	Melting Point (K)
Aluminum	8.5×10^{-5}	2.7×10^6	229.0	933
Carbon steel	9.1×10^{-6}	4.5×10^6	41.0	1800
9% Ni steel	1.1×10^{-5}	3.2×10^6	35.2	1673
Austenitic stainless steel	5.3×10^{-6}	4.7×10^6	24.9	1773
Inconel 600	4.7×10^{-6}	3.9×10^6	18.3	1673
Ti alloy	9.0×10^{-6}	3.0×10^6	27.0	1923
Copper	9.6×10^{-5}	4.0×10^6	384.0	1336
Monel 400	8.0×10^{-6}	4.4×10^6	35.2	1573

Source: Gray et al. (27).

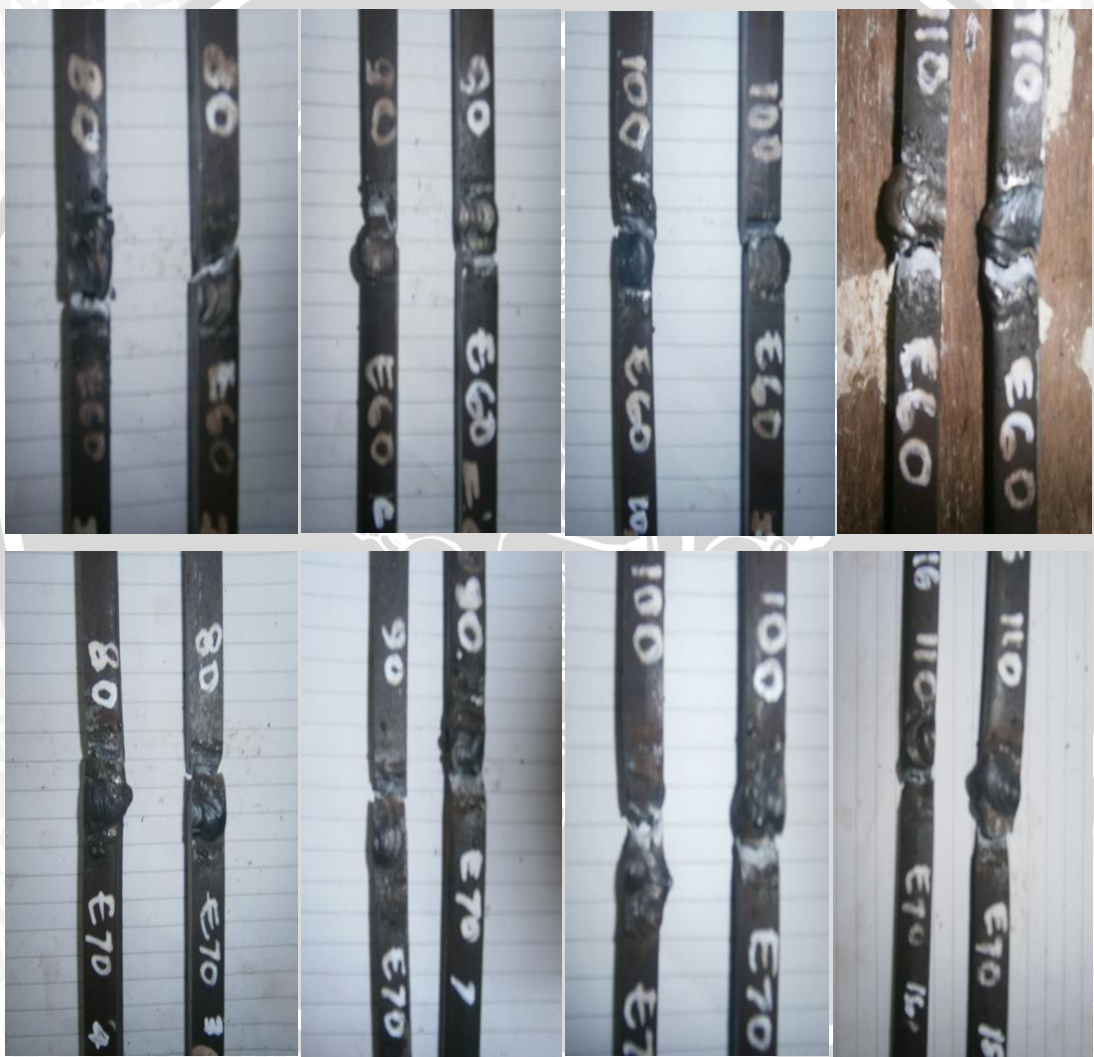
where R is the radial distance from the origin, namely, $(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$. For a given material and a given welding condition, an isotherm T on a plane at a given x has a radius of R . In other words, Equation (2.10) implies that on the transverse cross section of the weld all isotherms, including the fusion boundary and the outer boundary of the heat-affected zone, are semicircular in shape. Equation (2.10) can be used to calculate the steady-state temperature $T(x, y, z)$, with respect to the moving heat source, at any location in the workpiece (x, y, z) , for instance, at $x = 1$ cm, $y = 4$ cm, and $z = 0$ cm, as shown in Figure 2.17. The temperatures at other locations along $y = 4$ cm can also be

$V_1 - dk$ pembatang

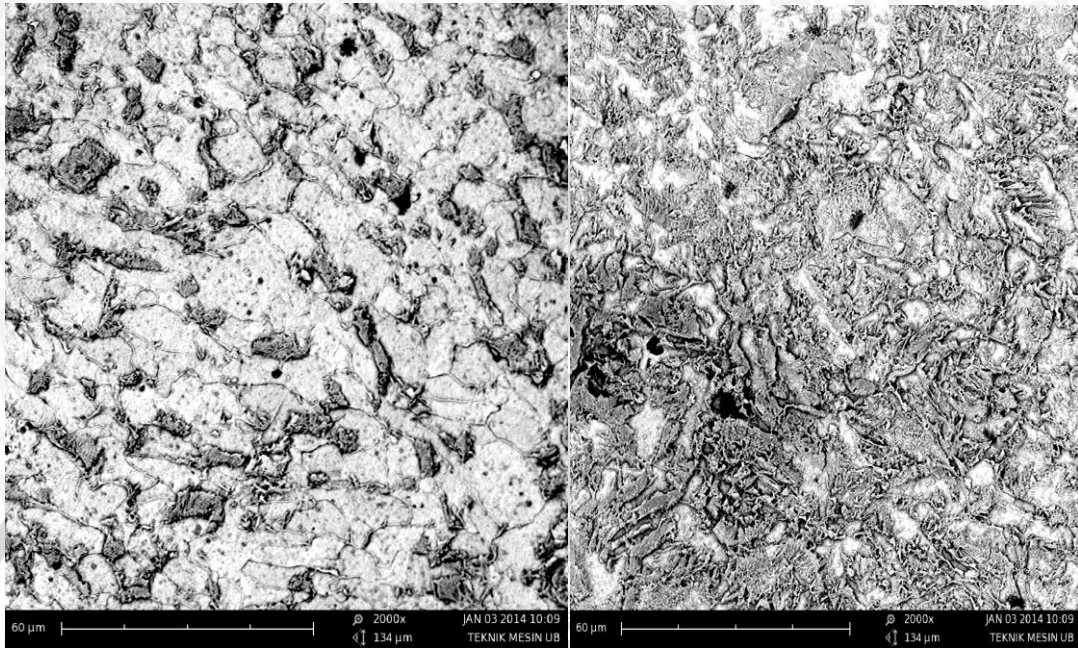
$V_2 - dk$ penyebut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	00	
36	4.11	3.26	2.80	2.63	2.48	2.38	2.28	2.21	2.15	2.10	2.06	2.03	1.88	1.83	1.87	1.82	1.78	1.72	1.68	1.65	1.62	1.59	1.58	1.55	1.87
38	4.10	3.25	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.08	2.05	2.02	1.86	1.82	1.85	1.80	1.76	1.71	1.67	1.63	1.60	1.57	1.54	1.53	1.84
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.07	2.04	2.00	1.85	1.80	1.84	1.78	1.74	1.68	1.64	1.61	1.58	1.55	1.53	1.51	1.49
42	4.07	3.22	2.83	2.58	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	1.99	1.94	1.89	1.82	1.78	1.73	1.68	1.64	1.60	1.57	1.54	1.51	1.48	1.47	1.78
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.92	1.88	1.81	1.76	1.72	1.68	1.63	1.58	1.56	1.52	1.50	1.48	1.48
46	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.14	2.08	2.04	2.00	1.97	1.91	1.87	1.80	1.75	1.71	1.65	1.62	1.57	1.54	1.51	1.48	1.48	1.75
48	4.04	3.19	2.80	2.56	2.41	2.30	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.90	1.86	1.79	1.74	1.70	1.64	1.61	1.56	1.53	1.50	1.47	1.45	1.70
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.90	1.85	1.78	1.71	1.68	1.63	1.60	1.55	1.52	1.48	1.46	1.44	1.68
55	4.02	3.17	2.78	2.51	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.97	1.93	1.88	1.83	1.76	1.72	1.67	1.61	1.58	1.52	1.47	1.45	1.40	1.37	1.68
60	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.27	2.17	2.10	2.01	1.99	1.95	1.92	1.88	1.81	1.75	1.70	1.63	1.59	1.56	1.50	1.48	1.44	1.41	1.39	1.60
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.94	1.90	1.85	1.80	1.74	1.68	1.63	1.57	1.54	1.48	1.46	1.42	1.38	1.37	1.60
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.32	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.72	1.67	1.62	1.58	1.54	1.47	1.45	1.40	1.37	1.35	1.58
80	3.96	3.44	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.91	1.88	1.82	1.77	1.70	1.65	1.60	1.54	1.51	1.45	1.42	1.38	1.35	1.32	1.49
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.79	1.75	1.68	1.63	1.57	1.51	1.48	1.42	1.39	1.34	1.30	1.28	1.43
125	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.77	1.72	1.65	1.60	1.55	1.48	1.45	1.38	1.36	1.31	1.27	1.25	1.37
150	3.91	3.06	2.67	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.76	1.71	1.64	1.59	1.54	1.47	1.44	1.37	1.34	1.29	1.25	1.22	1.33
200	3.89	3.04	2.65	2.41	2.26	2.14	2.05	1.98	1.92	1.87	1.83	1.80	1.74	1.69	1.62	1.57	1.52	1.45	1.42	1.35	1.32	1.28	1.22	1.19	1.31
400	3.86	3.02	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.78	1.72	1.67	1.60	1.54	1.49	1.42	1.38	1.32	1.28	1.22	1.16	1.13	1.28
670	4.86	4.66	3.83	3.36	3.06	2.85	2.69	2.55	2.16	2.37	2.28	2.23	2.12	2.04	1.92	1.84	1.74	1.84	1.57	1.47	1.42	1.32	1.24	1.19	1.19

Hasil lasan menggunakan elektoda E6013 dan E7016

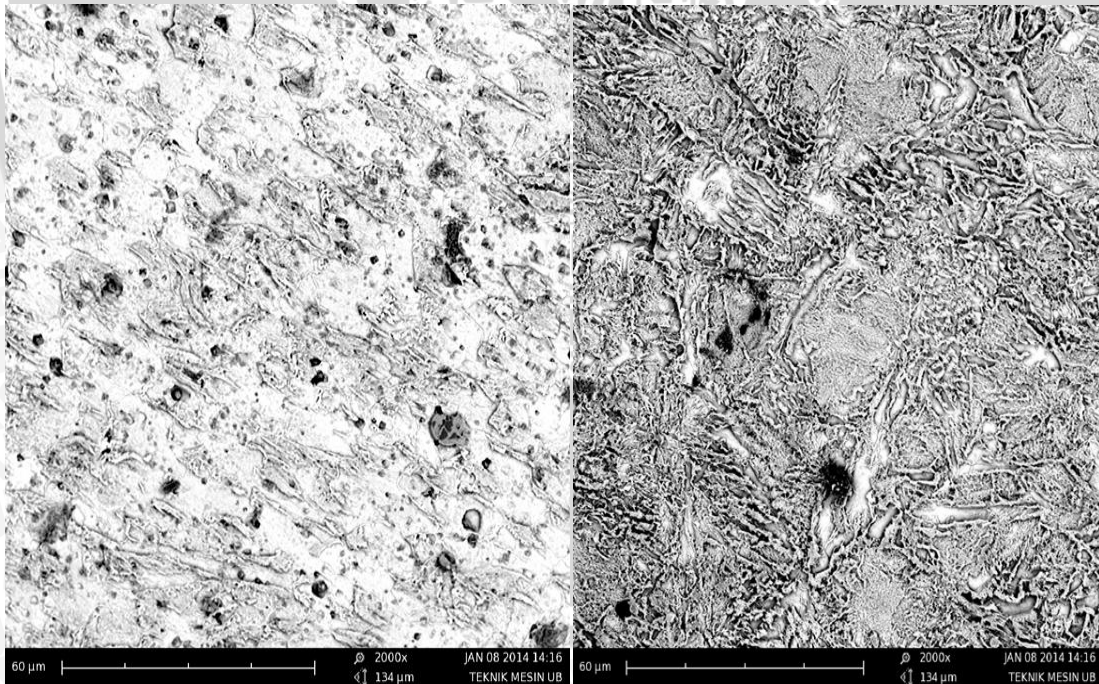




Hasil foto SEM



Daerah Las dan HAZ menggunakan elektroda E6013 dengan arus 100 Ampere



Daerah Las dan HAZ menggunakan elektroda E7016 dengan arus 100 Ampere

Alat-alat yang digunakan saat penelitian

