

**PENGARUH KUAT ARUS TERHADAP KEKERASAN HASIL
LASAN PADA PIPA SA – 209 T1 DENGAN LAS GTAW**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

TAN DENNY YUWONO
NIM. 0510620095-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH KUAT ARUS TERHADAP KEKERASAN HASIL
LASAN PADA PIPA SA – 209 T1 DENGAN LAS GTAW**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



TAN DENNY YUWONO
NIM. 0510620095-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.
NIP: 19591128 198710 1 001

Ir. Bardji Hadi Pranoto
NIP: 19450714 198103 1 003



LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH KUAT ARUS TERHADAP KEKERASAN HASIL
LASAN PADA PIPA SA – 209 T1 DENGAN LAS GTAW

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:
TAN DENNY YUWONO
NIM. 0510620095-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 29 Juli 2010

Skripsi 1

Skripsi 2

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

Dr. Eng., Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

Komprehensif

Sugiarto, ST., MT.
NIP. 19690417 199512 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga skripsi yang berjudul “**Pengaruh Kuat Arus Terhadap Kekerasan Hasil Lasan Pada Pipa SA-209 T1 Dengan Las GTAW**” dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penulis sadar bahwa selama dalam penulisan skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M. Eng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Marsoedi Wiroharjo, M.MT. selaku Ketua Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT. selaku dosen pembimbing pertama.
5. Bapak Ir. Bardji Hadi Pranoto selaku dosen pembimbing kedua.
6. Keluargaku Ayahanda Yohan Tanoyo, Ibunda Hertjahyani, dr Devi Yolanda dan dr Dedik Cahyono (calon), tercinta yang telah memberikan nasihat dan kasih sayang tanpa batas serta dorongan untuk segera menyelesaikan skripsi.
7. Semy Arayunedy dan Erwin Manurung selaku patner dalam pengerjaan skripsi.
8. Teman-teman Mesin Angkatan 2005 Mesin Brawijaya atas solidaritasnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi melengkapi skripsi ini.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua

Malang, Juli 2010

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya	4
2.2. Definisi dan Klasifikasi Cara Pengelasan	5
2.3. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW).....	6
2.4. Masukan Panas.....	9
2.5. Efek Parameter Las	10
2.6. Jenis- jenis Las dan Sambungan	11
2.7. Klasifikasi Baja Karbon.....	12
2.8. Pengujian Kekerasan	13
2.9. Superheater.....	14
2.10. Kerangka Berpikir.....	15
2.11. Hipotesis.....	16
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1. Metode Penelitian	18
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian	18
3.2.1. Tempat Penelitian.....	18
3.2.2. Waktu Penelitian.....	18
3.3. Alat dan Bahan yang Digunakan	18
3.3.1. Alat yang Digunakan.....	18

3.3.2. Bahan yang Digunakan.....	19
3.4. Variabel Penelitian	20
3.4.1. Variabel Bebas	20
3.4.2. Variabel Terikat	20
3.4.3. Variabel Terkontrol	20
3.5. Prosedur Penelitian.	20
3.6. Dimensi Spesimen	21
3.7. Rancangan Penelitian.....	21
3.7.1. Analisis Statistik	21
3.7.2 Analisis Varian Satu Arah	22
3.7.3 Analisis Grafik.....	24
3.8. Diagram Alir Penelitian	25
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Hasil Penelitian	26
4.1.1. Analisis Statistik	32
4.2. Pembahasan.....	36
4.2.1. Hubungan Antara Kuat Arus Dengan Kekerasan Material Pada <i>Weld Metal</i>	36
4.2.2. Hubungan Antara Kuat Arus Dengan Kekerasan Material Pada <i>Haz</i>	38
4.2.3. Hubungan Antara Kuat Arus Dengan Kekerasan Material Pada <i>Base Metal</i>	39
4.3. Hubungan Kekerasan Hasil Pengelasan terhadap Karakteristik pada Pipa Superheater.....	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Baja Karbon.....	13
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian Pengujian Kekerasan.....	21
Tabel 3.2	Format Tabel Hasil Analisis Varian Satu Arah.....	24
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Kekerasan pada <i>weld metal</i>	32
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Kekerasan pada <i>HAZ</i>	32
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Kekerasan pada <i>base metal</i>	32
Tabel 4.4	Interval Penduga pada <i>weld metal</i>	33
Tabel 4.5	Interval Penduga pada <i>HAZ</i>	34
Tabel 4.6	Interval Penduga pada <i>base metal</i>	34



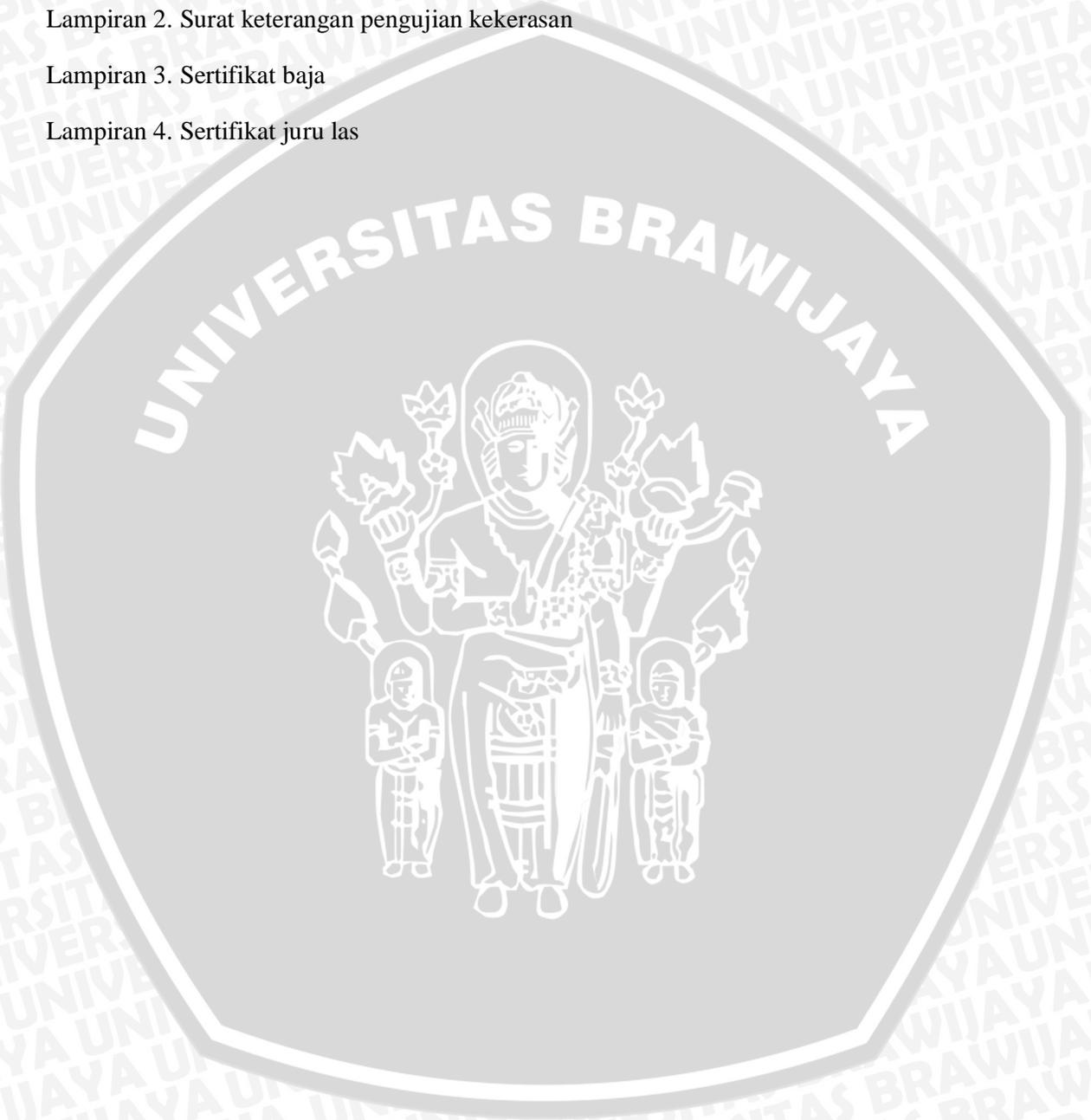
DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Klasifikasi Cara Pengelasan.....	6
Gambar 2.2	Skema Las Busur Gas.....	7
Gambar 2.3	Mesin Las TIG dengan Tangan.....	8
Gambar 2.4	Mesin Las TIG Semi Otomatis	8
Gambar 2.5	Jenis Las	11
Gambar 2.6	Jenis Sambungan	11
Gambar 2.7	Alur Sambungan Las Tumpul	12
Gambar 2.8	Bentuk Pengujian Kekerasan.....	14
Gambar 3.1	Mesin Uji Kekerasan.....	19
Gambar 3.2	Dimensi Spesimen.....	21
Gambar 4.1	Hasil Pengelasan.....	26
Gambar 4.2	Hasil Foto Mikrostruktur daerah <i>weld metal</i>	28
Gambar 4.3	Hasil Foto Mikrostruktur daerah <i>HAZ</i>	29
Gambar 4.4	Hasil Foto Mikrostruktur daerah <i>base metal</i>	31
Gambar 4.5	Hubungan antara Kuat Arus dengan Kekerasan pada <i>weld metal</i>	36
Gambar 4.6	Hubungan antara Kuat Arus dengan Kekerasan pada <i>HAZ</i>	38
Gambar 4.7	Hubungan antara Kuat Arus dengan Kekerasan pada <i>base metal</i>	39



LAMPIRAN

- | No | Judul lampiran |
|-------------|--|
| Lampiran 1. | Surat keterangan penelitian Indomarine |
| Lampiran 2. | Surat keterangan pengujian kekerasan |
| Lampiran 3. | Sertifikat baja |
| Lampiran 4. | Sertifikat juru las |



RINGKASAN

Tan Denny Yuwono, Fakultas Teknik, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang, Juli 2010, *Pengaruh Kuat Arus Terhadap Kekerasan Hasil Lasan Pada Pipa SA-209 T1 dengan Las GTAW*, Dosen Pembimbing : Achmad As'ad Sonief dan Bardji Hadi Pranoto.

Proses pengelasan banyak digunakan pada era globalisasi saat ini. Pengelasan digunakan dalam dunia industri untuk melakukan penyambungan material baja. Pada penelitian kali ini penulis mengkaji khusus pengelasan untuk penyambungan pipa baja khususnya pada pipa superheater. Proses penyambungan las sebagai salah satu alternatif yang harus dipelajari karena berpengaruh terhadap kekuatan dari hasil sambungan tersebut. Proses pengelasan akan mempengaruhi sifat mekanik dari material khususnya baja. Penelitian ini bertujuan mengetahui bagaimana pengaruh variasi kuat arus pengelasan terhadap kekuatan material sambungan dan pengaruh kekuatan yang dihasilkan dari proses las tersebut terhadap perencanaan beban.

Penelitian ini menggunakan material pipa superheater SA-209 T1 dengan las GTAW. Baja ini akan dilas dengan memvariasikan 5 kuat arus yaitu 80A, 95A, 110A, 125A, 140A. Kemudian dilakukan proses uji kekerasan yang dapat ditarik kesimpulan bahwa arus 110A menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 232,6BHN. Hal ini disebabkan pada arus tersebut proses peleburan terjadi dengan sempurna sehingga unsur yang bercampur dalam kondisi sempurna sehingga didapat nilai kekerasan yang maksimum.

Pengujian kekerasan disini penulis lakukan untuk merencanakan kekuatan daerah lasan untuk dapat menahan beban yang sering diterima oleh pipa superheater. Hasil perhitungan perencanaan mendapatkan bahwa dengan menggunakan Las GTAW dan kuat arus sebesar 110A didapatkan hasil lasan dengan kekuatan maksimum. Oleh sebab itu, besar arus listrik ini dapat dijadikan acuan dalam melakukan penyambungan pipa superheater SA-209 T1 dengan las GTAW.

Kata Kunci: las GTAW, kuat arus, kekerasan, pipa superheater

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kemajuan teknologi dewasa ini semakin pesat, demikian pula yang terjadi di Indonesia. Teknologi pengelasan merupakan salah satu teknologi yang dibutuhkan untuk menunjang suksesnya pembangunan nasional. Perkembangan teknologi ini dapat dilihat dengan semakin kompleksnya proses penyambungan logam dan aspek-aspek yang berkaitan dengan proses pengelasan tersebut.

Proses pengelasan saat ini telah digunakan secara luas dalam dunia industri, baik untuk penyambungan material logam pada konstruksi-konstruksi baja dan konstruksi mesin. Salah satunya adalah pada pemasangan pipa-pipa *superheater* yang terdapat pada instalasi mesin ketel uap. Pengelasan yang sering digunakan untuk menyambung pipa *superheater* adalah las GTAW karena kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga penetrasi ke dalam logam induk dapat diatur sesuai keinginan dan kualitas yang lebih baik dari daerah las.

Pada perencanaan proses pengelasan pipa *superheater* sering terjadi permasalahan yang kompleks untuk mendapatkan hasil lasan yang baik. Yaitu sering terjadi retak atau pecah pada sambungan las antar pipa. Oleh karena itu suatu proses pengelasan harus direncanakan dengan mempertimbangkan karakteristik dari pipa *superheater*. Dimana karakteristik dari Pipa *superheater* yaitu bekerja dalam tekanan yang sangat tinggi dan berubah-ubah, oleh karena itu dibutuhkan material yang dapat bekerja dalam tekanan tinggi, selain material sambungan las pada pipa *superheater* juga harus dapat bekerja dalam tekanan yang tinggi pula. Oleh karena itu material dan sambungan las pada pipa *superheater* harus memiliki sifat mekanik keras. Sehingga mampu bekerja dalam tekanan tinggi dan berubah-ubah. Salah satu parameter dalam pengelasan yang dapat mempengaruhi dan mendukung kekerasan yaitu variasi kuat arus. Karena dengan adanya variasi kuat arus maka struktur butir menjadi semakin halus sehingga daya ikat antar atom menjadi semakin kuat, kekerasan meningkat. Oleh karena itu variasi kuat arus mempengaruhi sifat mekanik dari pipa *superheater*.

Sehubungan dengan hal tersebut diatas, dalam tugas akhir ini akan dianalisa kekerasan yang dihasilkan dari proses pengelasan pada pipa *superheater*, yang akan

diuji di 3 daerah yaitu daerah *base metal*, daerah *weld metal*, dan daerah *Haz*. Serta akan dianalisa pengaruh dari kuat arus pengelasan terhadap kekerasan yang dihasilkan pada sambungan las pada masing-masing daerah.

1.2 Rumusan Masalah

Bedasarkan latar belakang tersebut diatas, maka dapat disusun suatu rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi arus pengelasan pada las GTAW terhadap kekerasan daerah lasan SA-209 T1 pada daerah *weld metal*.
2. Bagaimana pengaruh variasi arus pengelasan pada las GTAW terhadap kekerasan SA-209 T1 pada daerah *HAZ*.
3. Bagaimana pengaruh variasi arus pengelasan pada las GTAW terhadap kekerasan SA-209 T1 pada daerah *base metal*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang ada maka dalam penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Pipa *superheater* yang akan dilas adalah SA-209 T1 dengan diameter 38,1mm dan tebal 3,2mm
2. Pengelasan dilakukan dengan las GTAW dengan elektroda ER 70S-G
3. Pengelasan dilakukan hanya dengan memvariasikan besar kuat arus listrik
4. Sifat mekanis yang diuji dan dibahas adalah kekerasan dari hasil pengelasan
5. Peralatan dianggap sesuai standar

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan pada las GTAW terhadap kekerasan daerah lasan SA-209 T1 pada daerah *weld metal*..
2. Mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan pada las GTAW terhadap kekerasan SA-209 T1 pada daerah *HAZ*..
3. Mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan pada las GTAW terhadap kekerasan SA-209 T1 pada daerah *base metal*..

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan:

1. Suatu masukan dalam pelaksanaan pekerjaan las dalam dunia industri khususnya
2. Dapat menerapkan ilmu yang didapatkan dari bangku kuliah dan menambah pengetahuan bagi penulis



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian yang dilakukan oleh Respati (2002) dapat diketahui perubahan arus listrik pengelasan berpengaruh terhadap kekuatan lasan dan kekerasan hasil lasan, dimana peningkatan arus listrik pengelasan akan meningkatkan kekerasan namun akan menurun jika sudah mencapai arus listrik yang terbaik. Metode yang digunakan oleh penulis yaitu dengan cara memvariasikan arus listrik dan kemudian penulis melakukan pengujian kekerasan. Hasilnya arus listrik yang sesuai pada pengelasan posisi 5G dan 5F dari arah 0° ke 90° dan 180° ke 90° adalah 110 ampere sampai 130 ampere dan dari arah 270° ke 0° dan 270° ke 180° adalah 130 ampere sampai 150 ampere.

Penelitian yang dilakukan oleh Emmanata (2004) dapat diketahui peningkatan arus pengelasan dan kecepatan pengelasan menyebabkan peningkatan cacat las secara kuantitas. Variasi variabel pengelasan yang digunakan adalah kuat arus pengelasan yaitu 80A, 95A, 110A, 125A, dan 140A dan kecepatan pengelasan 50mm/menit, 75mm/menit dan 100 mm/menit. Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan dari variasi arus pengelasan dan kecepatan pengelasan menyebabkan peningkatan cacat secara kuantitas. Peningkatan arus pengelasan dan kecepatan pengelasan pada titik tertentu akan meningkatkan kekuatan tarik sambungan las dan kemudian akan cenderung menurun.

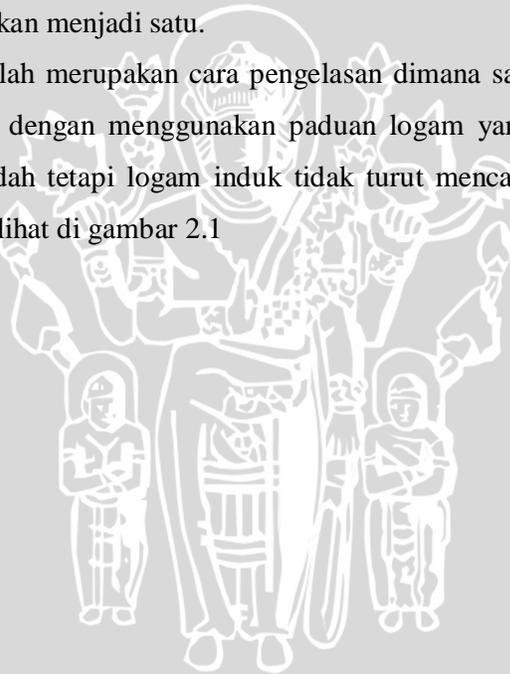
Oleh karena banyaknya masalah yang terjadi pada pipa *superheater*, dan berdasarkan penelitian di atas, maka penulis akan meneliti agar dapat mengurangi masalah yang ada pada pipa *superheater*. Dengan cara memperhatikan karakteristik dari pipa, yaitu bekerja pada tekanan yang tinggi dan berubah-ubah. Sehingga dengan adanya variasi arus listrik pada saat pengelasan dapat mempengaruhi hasil lasan dan kekerasan dari material tersebut. Sehingga dengan penelitian ini akan didapatkan hasil lasan yang ideal untuk pipa *superheater*. Sehingga permasalahan yang sering terjadi pada pipa *superheater* selama ini dapat dikurangi.

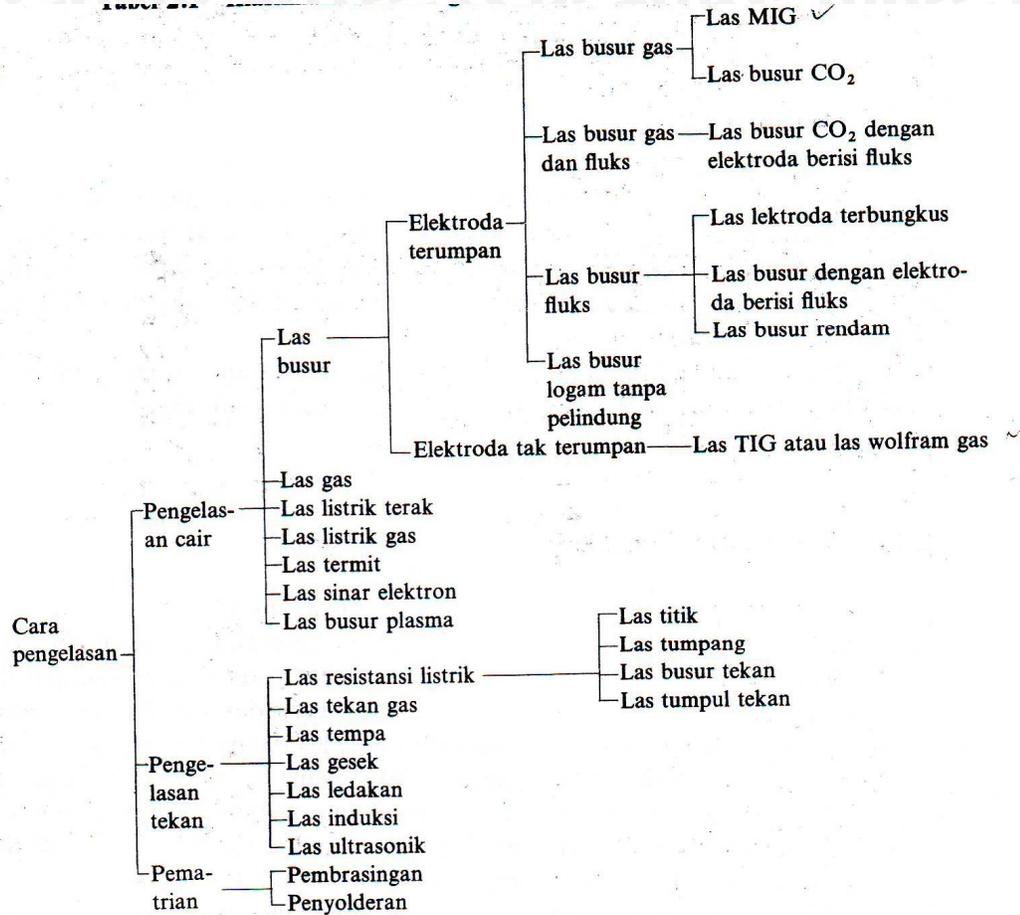
2.2 Definisi dan Klasifikasi Cara Pengelasan

Bedasarkan definisi dari *Deutche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (wiryo sumarto, 1998:1).

Secara konvensional klasifikasi cara pengelasan dapat digolongkan menjadi tiga cara yaitu (Wiryo sumarto, 1988:7):

1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan yang dilakukan dengan melakukan pemanasan pada sambungan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan menjadi satu.
3. Pematrian adalah merupakan cara pengelasan dimana sambungan las diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair lebih rendah tetapi logam induk tidak turut mencair. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat di gambar 2.1



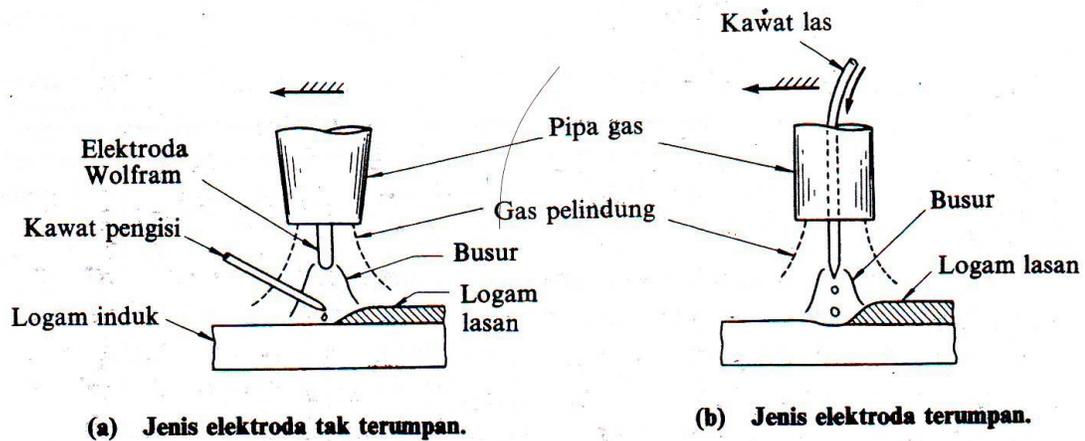


Gambar 2.1 : Klasifikasi Cara Pengelasan

Sumber : Wiryosumarto, 1988:8

2.3 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

Las busur gas tungsten (GTAW) atau dengan nama lain las TIG (Tungsten Arc Welding) adalah termasuk proses las listrik yang menggunakan gas mulia sebagai gas pelindung daerah lasan terhadap pengaruh udara luar. Panas yang dibutuhkan untuk pengelasan terjadi dengan adanya busur listrik (arc) antara elektroda tak terumpan (nonconsumable tungsten electrode) dengan benda kerja.

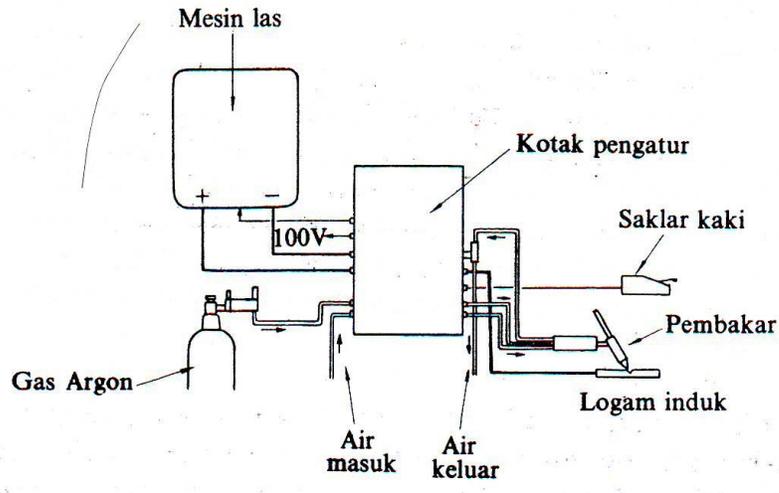


Gambar 2.2 : Skema Las Busur Gas

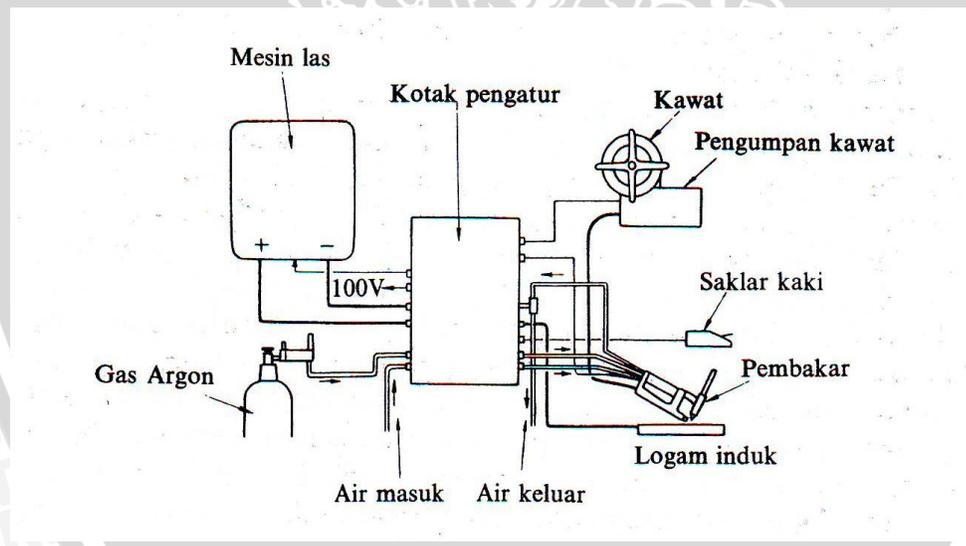
Sumber : Wiryosumarto, 1988:16

Skema dari las GTAW dapat dilihat dalam gambar 2.2. Seperti tampak dalam gambar, busur listriknya timbul antara batang wolfram atau tungsten dan logam induk dan dilindungi oleh gas Argon. Elektroda tungsten yang dipakai tidak turut mencair, tetapi untuk pengelasan-pengelasan yang membutuhkan bahan penambah dapat dipakai logam pengisi yang ditambahkan pada daerah las dan ikut mencair dengan benda kerja. Pada jenis ini logam pengisi dimasukkan ke daerah arus busur sehingga mencair dan terbawa ke logam induk. Tetapi untuk mengelas pelat yang tipis kadang-kadang tidak diperlukan logam pengisi. Las GTAW dapat dilaksanakan dengan tangan, semi otomatis, dan secara otomatis dengan mengotomatiskan cara pengumpanan logam pengisi.

Las GTAW yang menggunakan tangan dapat dilihat pada gambar 2.3, dimana kecepatan pengelasan, kecepatan pengumpanan sepenuhnya diatur oleh welder. Sedangkan pada gambar 2.4 adalah gambar Las GTAW semi otomatis, dimana kecepatan pengelasan dan kecepatan pengumpanan berjalan otomatis sesuai dengan pemilihan kecepatan pada mesin Las GTAW.



Gambar 2.3 : Mesin Las GTAW dengan Tangan
Sumber : Wiryosumarto, 1988:19



Gambar 2.4 : Mesin Las GTAW Semi Otomatis
Sumber : Wiryosumarto, 1988:19

Keuntungan penggunaan las GTAW adalah

1. Kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga penetrasi ke dalam logam induk dapat diatur sesuai keinginan. Cara pengaturan ini memungkinkan las GTAW dapat digunakan dengan baik untuk pengelasan baja tipis maupun baja tebal.
2. Kualitas yang lebih baik dari daerah las

Dari kedua keuntungan di atas maka las GTAW dapat digunakan untuk mengelas pelat baja tipis maupun tebal tetapi bila dibandingkan dengan las GMAW (MIG), efisiensinya masih lebih rendah dan biaya operasinya masih lebih tinggi. Oleh karena itu las TIG biasanya digunakan untuk mengelas baja-baja kualitas tinggi (Wirjosumarto, 1988:17)

2.4 Masukan Panas

Pencairan logam induk dan pengisi memerlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan dihasilkan dari bermacam-macam sumber tergantung pada proses pengelasannya. Sumber energi yang digunakan pada las busur elektroda terbungkus berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi ini dipengaruhi oleh tiga parameter yaitu arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut masukan panas. Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut (Sunaryo, 2008:185):

$$H = \frac{E \times I}{v} \quad (2-1)$$

dengan :

H = Masukan panas (Joule/mm)

E = Tegangan (V)

I = Arus (A)

v = Kecepatan pengelasan (mm/s)

Persamaan itu dapat menjelaskan 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.

2.5 Efek Parameter Las

a. Besarnya Arus Las

Besarnya arus las yang diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan, macam elektroda, dan diameter inti elektroda. Dalam hal daerah las mempunyai kapasitas panas yang tinggi maka dengan sendirinya diperlukan arus las yang besar dan mungkin juga diperlukan pemanasan tambahan. Dalam pengelasan logam paduan, untuk menghindari terakarnya unsur-unsur paduan sebaiknya menggunakan arus las yang kecil.

b. Kecepatan Pengelasan

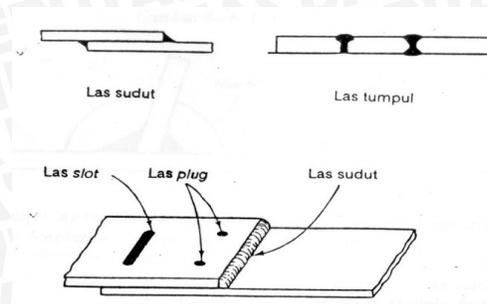
Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan dan lain-lainnya. Dalam hal hubungannya dengan tegangan dan arus las, dapat dikatakan bahwa kecepatan las hampir tidak ada hubungannya dengan tegangan las tetapi berbanding lurus dengan arus las. Karena itu pengelasan yang cepat memerlukan arus las yang tinggi.

Pada suatu kecepatan tertentu, kenaikan kecepatan akan memperbesar penembusan. Bila kecepatan pengelasan dinaikkan terus maka masukan panas per satuan panjang juga akan menjadi kecil, sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat yang mungkin akan memperkeras daerah HAZ (*Heat Affected Zone*)

Pada umumnya dalam pelaksanaan kecepatan selalu diusahakan setinggi-tingginya tetapi masih belum merusak kualitas manik las. Pengalaman juga menunjukkan bahwa makin tinggi kecepatan makin kecil perubahan bentuk yang terjadi (Wiryo Sumarto, 1988:225).

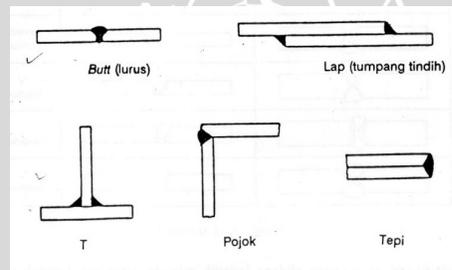
2.6 Jenis-jenis Las dan Sambungan

Dua jenis las yang mendominasi aplikasi struktural adalah las sudut (*fillet weld*) dan las tumpul (*groove weld*). Las struktural lainnya adalah *plug weld* dan *slot weld*. Keempat jenis ini terdapat dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Jenis las.
Sumber: Spiegel (1991:258).

Elemen-elemen struktur yang digabung dapat mempunyai berbagai posisi. Sambungan ini dapat diklasifikasikan sebagai sambungan tumpul, T, pojok, tumpang, dan tepi. Jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Jenis sambungan.
Sumber: Spiegel (1991:259)

Sambungan lurus atau tumpul adalah jenis yang paling efisien karena mampu mengeliminasi eksentrisitas yang sering terjadi (Salmon, 1992:224). Sambungan ini dibagi menjadi dua yaitu penetrasi penuh dan penetrasi sebagian. Bentuk alur sambungan tumpul dapat dilihat pada Tabel 2.1.

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

Tabel 2.7 Alur Sambungan Las Tumpul
 Sumber: Wiryosumarto (2000:158)

2.7 Klasifikasi Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini digolongkan berdasarkan kadar karbonnya. Bila kadar karbon naik kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun (Wiryosumarto, 1988:89).

Berdasarkan kadar karbonnya, baja karbon dibagi menjadi 3 kelas yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, baja karbon tinggi.

1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah mengandung karbon yang bervariasi dari 0.08% sampai 0.30% karbon. Penyelesaian dingin dari batangan akan memperbaiki sifat mekanik yakni tegangan tarik dan tegangan luluh akan meningkat. Sifat mampu mesin jika dikerjakan panas akan meningkat karena baja karbon rendah semakin ulet.

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang adalah baja yang mengandung karbon antara 0.30% sampai 0.45% karbon. Baja karbon sedang digunakan untuk tempa baja karbon kekuatan tinggi.

3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi mengandung karbon antara 0.45% sampai 1.70% karbon. Baja karbon tinggi digunakan untuk tempa, seperti rel kereta api dan batangan yang keras. Produk kawat kekuatan tinggi seperti kawat piano, kabel jembatan, suspensi dan pagas dibuat dari baja karbon tinggi.

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

Tabel 2.1 : Klasifikasi Baja Karbon

Sumber : Wiryosumarto, 1988:90

2.8 Pengujian Kekerasan

Pengujian ini digunakan untuk menentukan kekerasan dari daerah lasan. Sedangkan kekerasan adalah suatu sifat mekanik material untuk menahan goresan atau penetrasi. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan terhadap daerah lasan (*weld metal*), *Haz* dan daerah yang tidak terpengaruh panas (*base metal*) untuk mengetahui nilai kekerasan pada lokasi tertentu yang ditetapkan.

Pada metode penetrasi pengujian dilakukan dengan memberi gaya pada benda uji, sehingga akan timbul penetrasi pada kedalaman tertentu untuk dianalisa, dan alat yang digunakan adalah alat uji kekerasan brinell. Pada pengukuran ini dilakukan

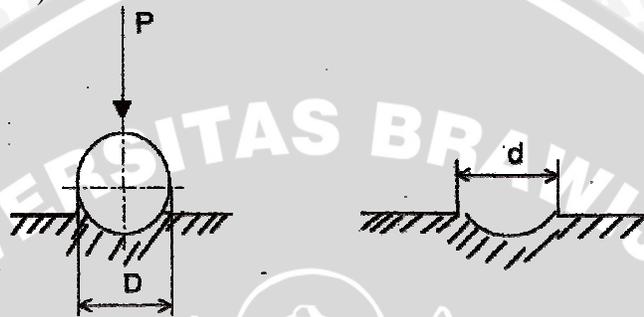
penekanan permukaan benda uji dengan sebuah bola baja (*indenter*) bergaris tengah D dan dengan beban sebesar P selama selang waktu tertentu.

$$BHN = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{Sunaryo 2008:127})$$

P = beban (kg)

D = diameter indenter (mm)

d = diameter jejak (mm)



Gambar 2.8 Skema Pengujian Kekerasan

Sumber : ASTM A. 370

2.9 Superheater

Ketel uap adalah salah satu bagian dari suatu unit pembangkit tenaga uap, dimana pada ketel uap tersebut air dirubah menjadi uap yang akan dialirkan melalui pipa menuju ke turbin uapnya. Ketel uap sendiri terdiri dari beberapa bagian utama yaitu:

- dapur
- drum air/uap
- pipa air (untuk jenis pipa air)
- superheater

Superheater (super = lebih, Heater = pemanas, superheater = pemanas lebih lanjut). *Superheater* berfungsi untuk merubah uap basah menjadi uap kering. Tujuannya adalah menambah kandungan panas sehingga akan meningkatkan efisiensi termal dan juga mencegah kondensasi pada turbin. Disini superheater mendapatkan panas dari gas asap langsung dari dapur. Operasi dari superheater ini diusahakan pada tekanan yang konstan. Namun justru pada umumnya akan terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*). Terjadinya penurunan tekanan ini adalah akibat dari adanya gesekan oleh pipa dan adanya lengkungungan pipa.

2.10 Kerangka Berpikir

Ketel uap adalah suatu pesawat untuk mengubah air yang dikandung di dalamnya menjadi uap dengan jalan dipanaskan. Dimana uap panas tersebut akan dialirkan melalui pipa *superheater*. Pipa *superheater* mempunyai beberapa karakteristik. Salah satunya adalah tahan terhadap tekanan yang tinggi akibat pemanasan.

Superheater berfungsi untuk merubah uap basah menjadi uap kering. Tujuannya adalah menambah kandungan panas sehingga akan meningkatkan efisiensi termal dan juga mencegah kondensasi pada turbin. Disini *superheater* mendapatkan panas dari gas asap langsung dari dapur. Pipa *superheater* bekerja dalam tekanan yang tinggi, oleh karena itu dibutuhkan material yang dapat bekerja dalam tekanan tinggi, selain material sambungan las pada pipa *superheater* juga harus dapat bekerja dalam tekanan yang tinggi pula. Oleh karena itu material dan sambungan las pada pipa *superheater* harus memiliki sifat mekanik keras. Pipa *superheater* disini memiliki panjang dan lengkung yang berbeda beda sesuai dengan kebutuhan, dimana pipa tersebut disambung dengan menggunakan pengelasan.

Proses pengelasan pada pipa *superheater* sering menggunakan las GTAW karena menghasilkan busur listrik yang efisien untuk menyalurkan panas. Panas yang dibutuhkan untuk pengelasan terjadi dengan adanya busur listrik (arc) antara elektroda tak terumpan (nonconsumable tungsten electrode) dengan benda kerja. Busur listriknya timbul antara batang wolfram atau tungsten dan logam induk dan dilindungi oleh gas Argon.

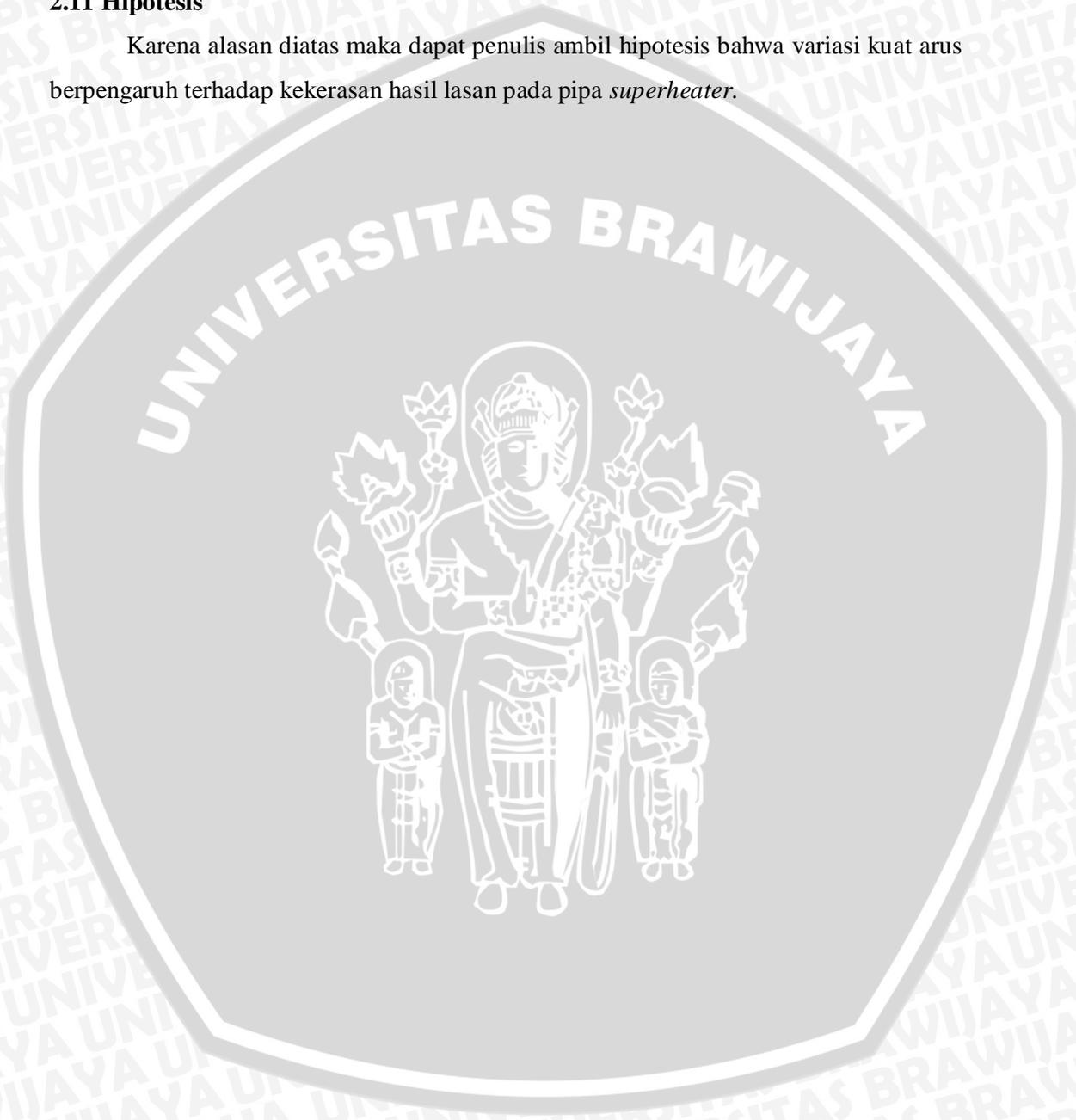
Pada penggunaan las GTAW, arus yang tinggi akan menghasilkan panas yang tinggi, penetrasi yang dalam, ketebalan manik las yang lebih tinggi, pencairan logam yang cepat, dan butiran yang semakin halus. Arus yang tinggi juga memperbanyak waktu bagi atom untuk saling berikatan dengan atom lainnya. Dengan adanya variasi kuat arus pada saat pengelasan akan mempengaruhi gaya ikat antar atom dan berpengaruh terhadap sifat mekanik pipa. Gaya ikat antar atom yang semakin kuat menyebabkan kekerasan semakin meningkat.

Kekerasan semakin meningkat akan mengakibatkan pipa *superheater* lebih tahan terhadap tekanan dalam. Ketahanan terhadap tekanan dalam akan mencegah kerusakan pada pipa *superheater*. Oleh karena itu, pemilihan arus yang sesuai diharapkan menghasilkan kekerasan yang optimal sehingga mampu menahan beban – beban yang terjadi dalam pipa *superheater*. Penulis akan meneliti kekerasan pada pipa *superheater*

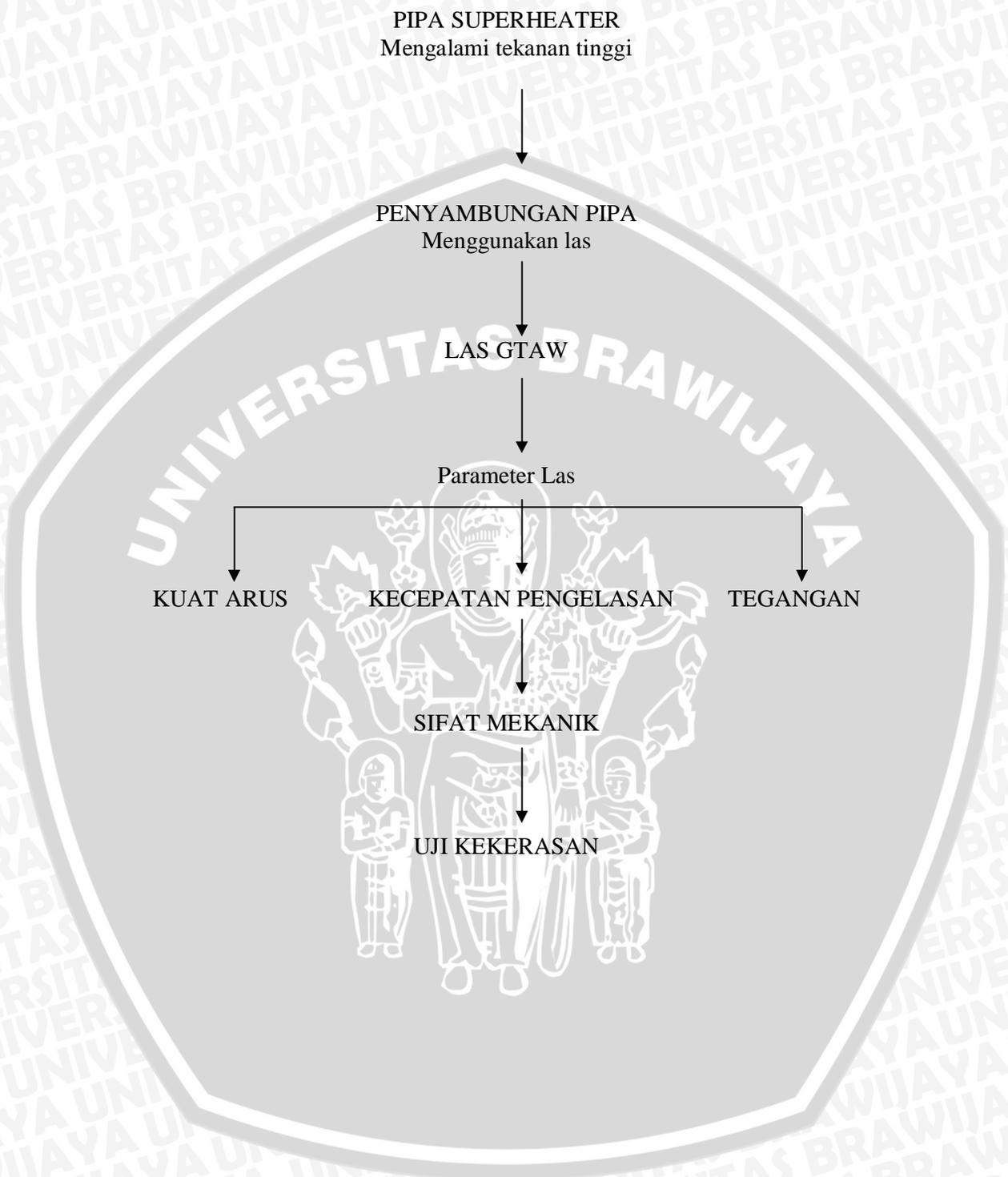
karena dengan uji kekerasan dapat dilakukan di 3 titik yaitu *base metal*, *weld metal*, dan *Haz*. Sehingga dapat diketahui dengan jelas nilai kekerasan yang efisien untuk pipa *superheater*.

2.11 Hipotesis

Karena alasan diatas maka dapat penulis ambil hipotesis bahwa variasi kuat arus berpengaruh terhadap kekerasan hasil lasan pada pipa *superheater*.



Kerangka Berpikir



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental sejati (*true experimental research*). Metode ini digunakan untuk mengetahui pengaruh kuat arus terhadap kekerasan pada daerah lasan SA-209 T1 untuk pengerjaan pipa *superheater*. Kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada di perpustakaan maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa tempat antara lain:

1. PT indomarine CO. Ltd tempat dilakukannya pengelasan.
2. Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tempat pengujian kekerasan.

3.2.2. Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari 2010 s/d selesai.

3.3. Alat dan Bahan yang Digunakan

3.3.1. Alat yang digunakan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mesin las GTAW
Penelitian ini menggunakan las busur elektroda terbungkus untuk proses pengelasan.
2. Mesin Uji Kekerasan
Digunakan untuk mendapatkan nilai kekerasan dari material yang diuji



Gambar 3.1 Mesin Uji Kekerasan

Sumber: Dokumen pribadi

3. Gergaji besi
Digunakan untuk memotong spesimen.
4. Jangka sorong
Alat ini digunakan untuk mengukur dimensi spesimen.
5. Mesin Uji Mikrostruktur
Alat ini digunakan untuk melihat hasil mikrostruktur dari spesimen.
6. Digital Camera
Digunakan untuk mengambil gambar spesimen pada saat penelitian.

3.3.2. Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah SA-209 T1 dengan tebal 3,2mm dan diameter 38,1mm

3.4. Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan 3 variabel yaitu:

3.4.1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah kuat arus. Variasi kuat arus yang digunakan adalah 80A, 95A, 110A, 125A, 140A.

3.4.2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini adalah hasil uji kekerasan.

3.4.3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang besarnya selalu dijaga untuk mendukung penelitian. Adapun variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah

- Diameter elektroda 2,4mm
- Jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan tumpul
- Tebal pipa = 3.2 mm
- Kecepatan pengelasan

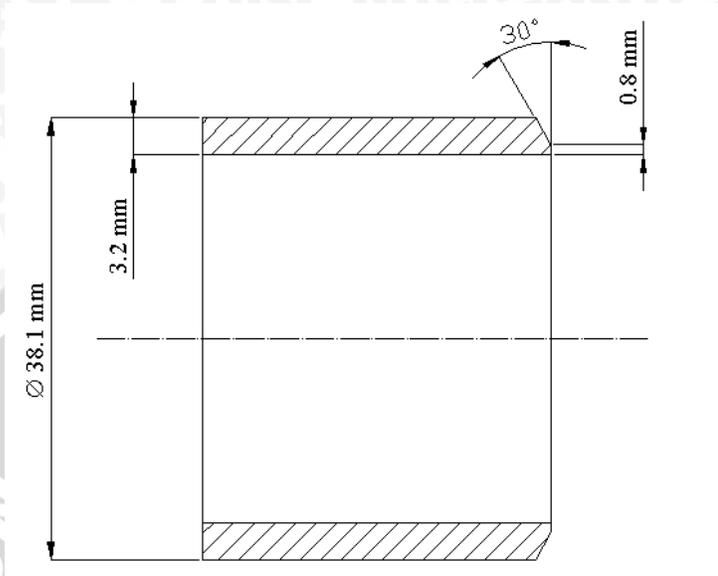
3.5. Prosedur Penelitian

1. Persiapan bahan pipa SA-209 T1 yang akan di las.
2. Pengelasan bahan pipa SA-209 T1 dengan las GTAW
3. Mengatur besar arus pada mesin las sesuai dengan variabel yang akan divariasikan, berikut ini variasi yang akan digunakan yaitu 80A, 95A, 110A, 125A, 140A.
4. Pengelasan benda kerja dengan menggunakan las GTAW.
5. Pendinginan dilakukan dengan media udara
6. Ulangi langkah 3 sampai 5 dengan variasi arus yang berbeda sesuai dengan yang ditentukan pada variabel bebas.
7. Pengujian kekerasan
8. Pengambilan data kekerasan.
9. Pengambilan foto mikrostruktur

10. Penyusunan hipotesis

11. Kesimpulan dan saran

3.6. Dimensi Spesimen



Gambar 3.2 Dimensi Spesimen

3.7. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian digunakan untuk mencari pengaruh dari satu faktor yaitu pengaruh kuat arus terhadap kekerasan hasil lasan pada pipa SA-209 T1.

3.7.1. Analisis Statistik

Pengolahan data untuk analisis statistik digunakan analisis varian satu arah. Dari analisa akan diketahui pengaruh variasi kuat arus dengan pengelasan GTAW terhadap kekerasan hasil lasan pada pipa SA-209 T1.

Tabel 3.1. Tabel Rancangan Penelitian Pengujian Kekerasan

Pengulangan	Besarnya arus (Ampere)					
	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6
1	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆
2	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅	X ₂₆
3	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	X ₃₅	X ₃₆
Jumlah	$\sum X_{i1}$	$\sum X_{i2}$	$\sum X_{i3}$	$\sum X_{i4}$	$\sum X_{i5}$	$\sum X_{i6}$
Nilai Rata-rata	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4	\bar{X}_5	\bar{X}_6

Keterangan:

A = Variasi kuat arus

X = Data hasil pengujian Kekerasan

Perhitungan statistik dari tabel di atas:

- Kekerasan rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (3-1)$$

- Standar deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3-2)$$

- Standar deviasi rata-rata

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3-3)$$

- Interval penduga rata-rata kekerasan

Derajat bebas (db) = n - 1

Dengan mengambil $\alpha = 5\%$ maka $t(\alpha/2; db)$

$$\bar{x} - t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right)\bar{\sigma} < \mu < \bar{x} + t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right)\bar{\sigma} \quad (3-4)$$

3.7.2. Analisis Varian Satu Arah

Analisis yang digunakan dalam pengujian ini adalah pengujian klasifikasi satu arah. Dari analisa varian satu arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi variabel bebas terhadap variabel terikat. Hasil pengujian dengan variasi variabel bebas dianggap sebagai u_1, u_2, u_3, u_4 dan u_5 . maka hipotesis penelitian ditulis:

$H_0 : u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$ (variasi variabel bebas tidak berpengaruh terhadap variabel terikat)

$H_1 : u_1 \neq u_2 \neq u_3 \neq u_4 \neq u_5$ (variasi variabel bebas berpengaruh terhadap variabel terikat)

Rumus-rumus yang digunakan dalam analisa varian satu arah:

1. Jumlah seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \tag{3-5}$$

2. Jumlah seluruh kuadrat perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 \tag{3-6}$$

3. Faktor koreksi (fk)

$$fk = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{\sum ni} \tag{3-7}$$

4. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk \tag{3-8}$$

5. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - fk \tag{3-9}$$

6. Jumlah kuadrat galat (JKG)

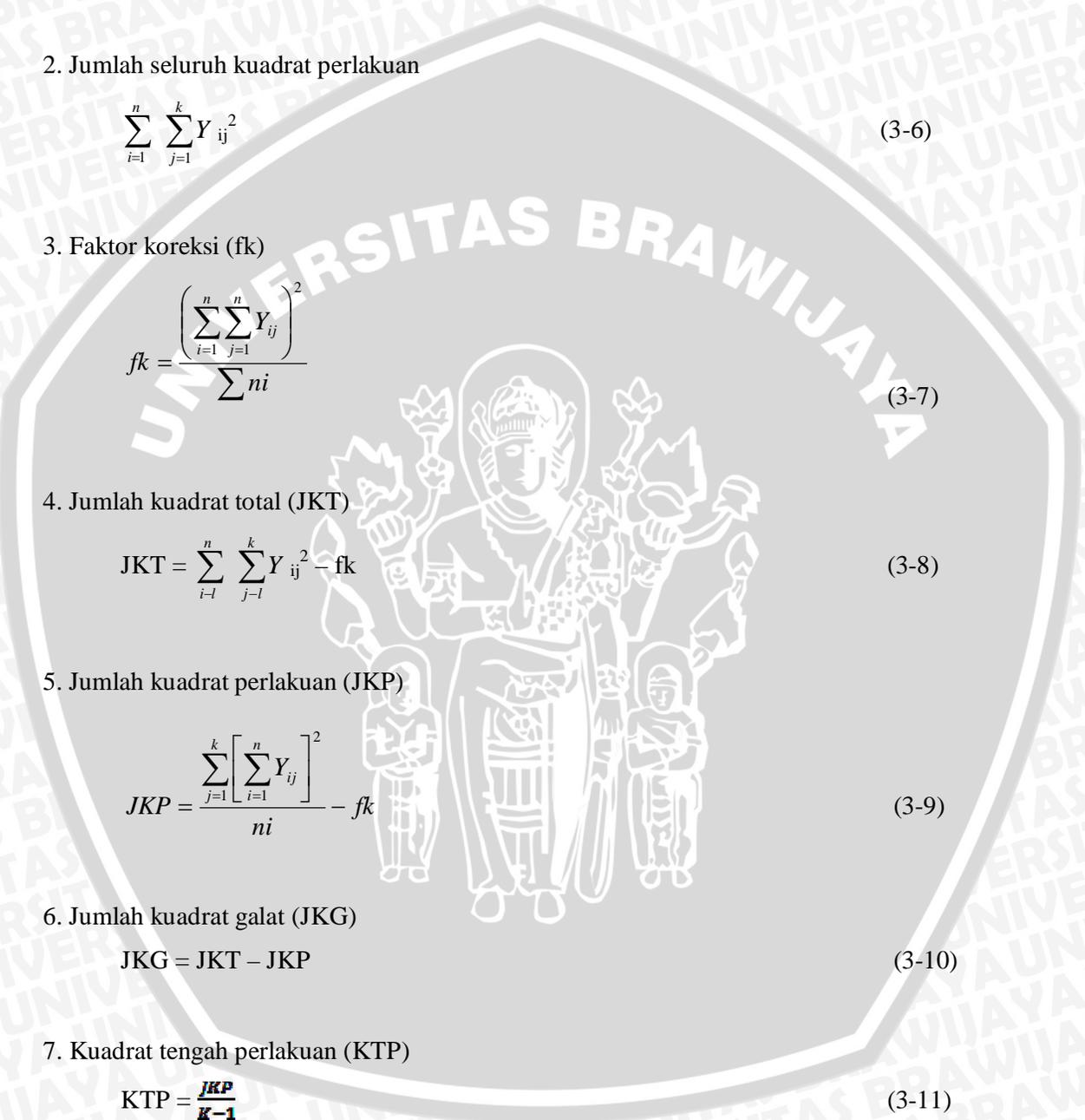
$$JKG = JKT - JKP \tag{3-10}$$

7. Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} \tag{3-11}$$

9. Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{n-k} \tag{3-12}$$



10. Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} \quad (3-13)$$

Pengaruh kuat arus dengan pengelasan GTAW terhadap kekerasan pada SA-209 T1 dapat diuji melalui metode uji F dengan jalan mencari besar F_{hitung} dari rumusan:

Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} \quad (3-13)$$

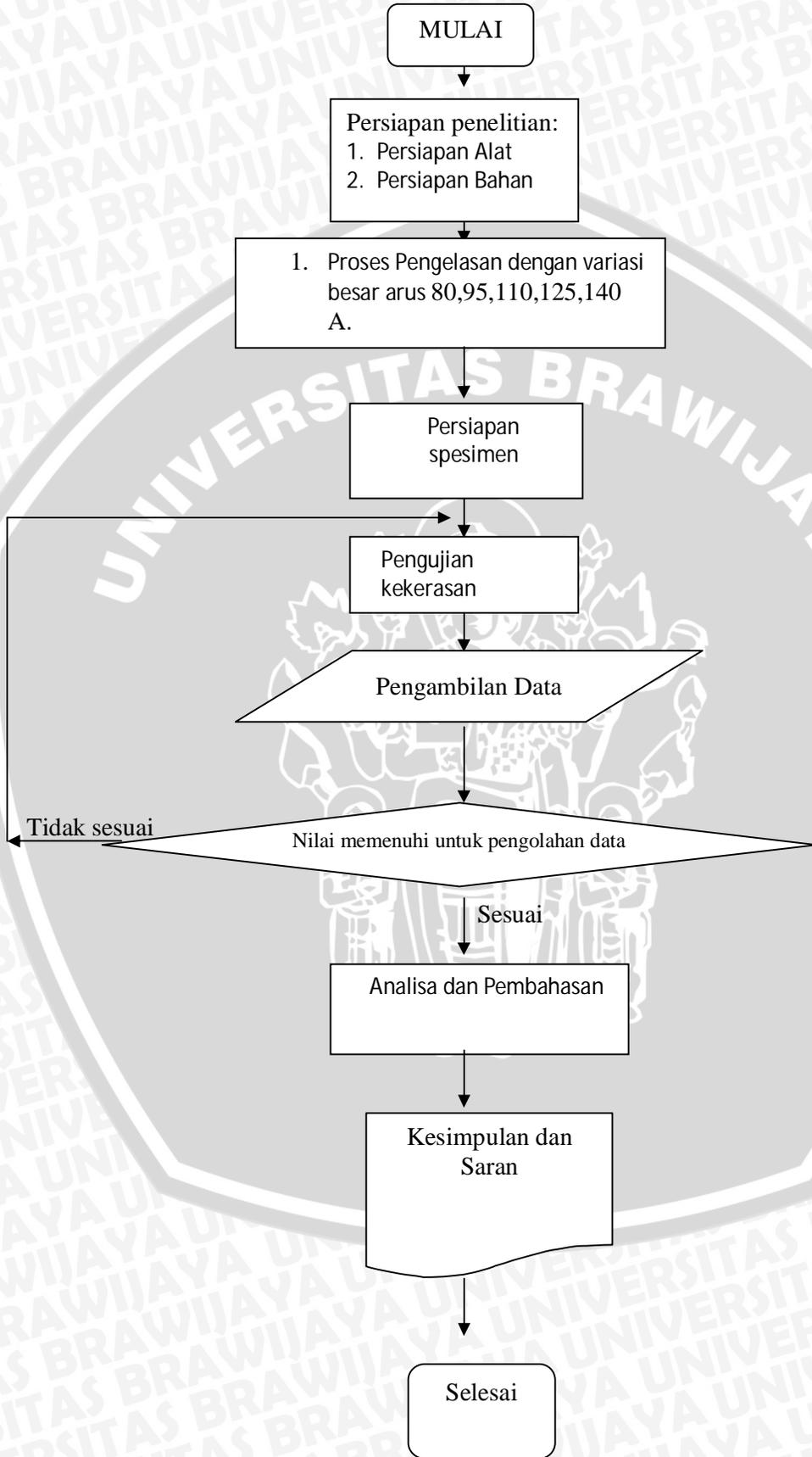
Tabel 3.2. Format Tabel Hasil Analisis Varian Satu Arah

Sumber Varian	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan (Kategori)	k-1	$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - fk$	$KTP = \frac{JKP}{k-1}$	$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$	F_{tabel}
Galat	n-k	$JKG = JKT - JKP$	$KTG = \frac{JKG}{n-k}$		
Total	n-1	$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk$			

3.7.3 Analisis Grafik

Analisa grafik dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Microsoft Excel*, Analisa grafik dilakukan melalui pengamatan perubahan *trend* data pada grafik yang diperoleh dari *ploting* data.

3.8. Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Berikut adalah gambar spesimen SA-209T1 setelah pengelasan menggunakan Las GTAW



80A



95A



110A



125A



140A



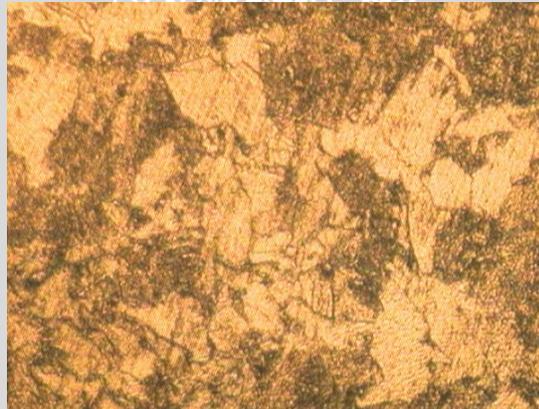
Gambar 4.1 Hasil pengelasan

Berikut adalah hasil foto mikrostruktur spesimen SA-209T1 setelah pengelasan menggunakan Las GTAW pada daerah LAS

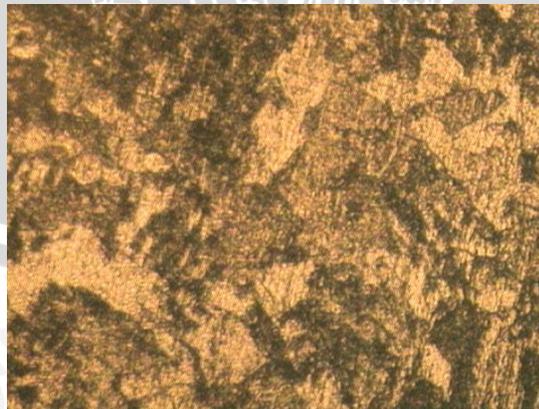
80A



95A



110A



125A



140A



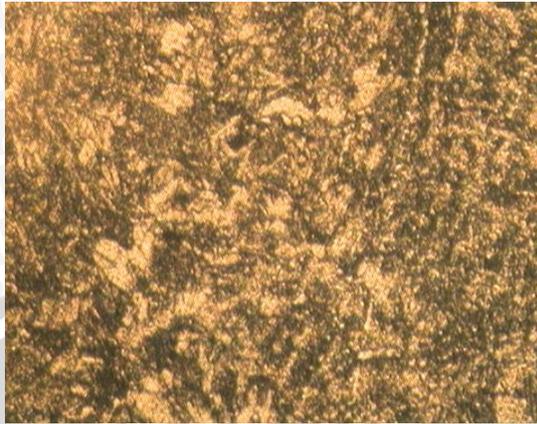
Gambar 4.2 Hasil foto mikrostruktur daerah *weld metal*

Berikut adalah hasil foto mikrostruktur spesimen SA-209T1 setelah pengelasan menggunakan Las GTAW pada daerah HAZ

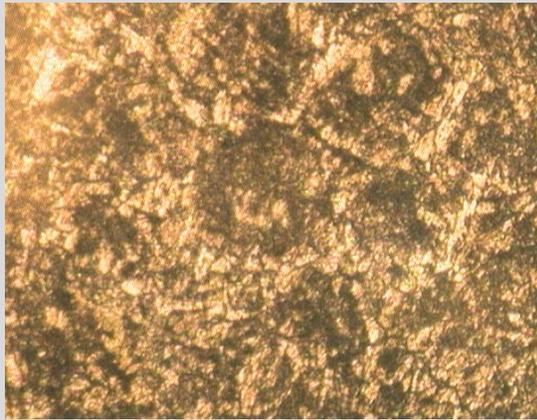
80A



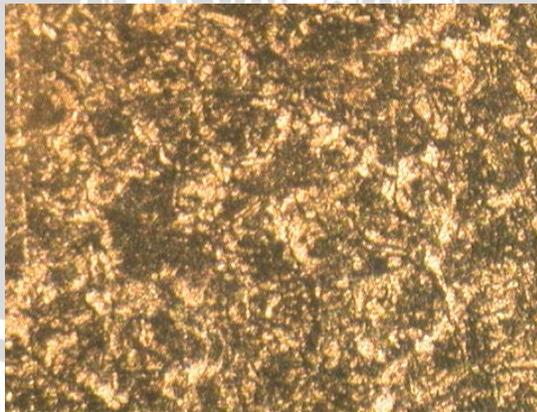
95A



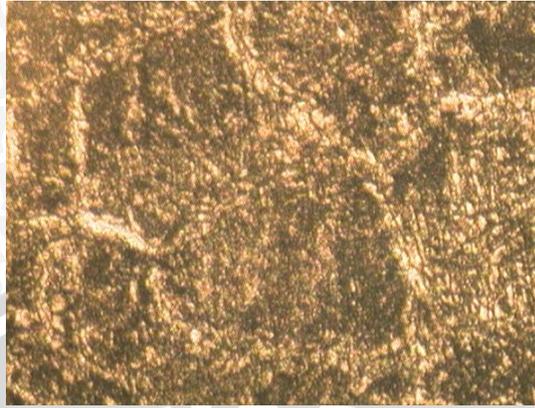
110A



125A

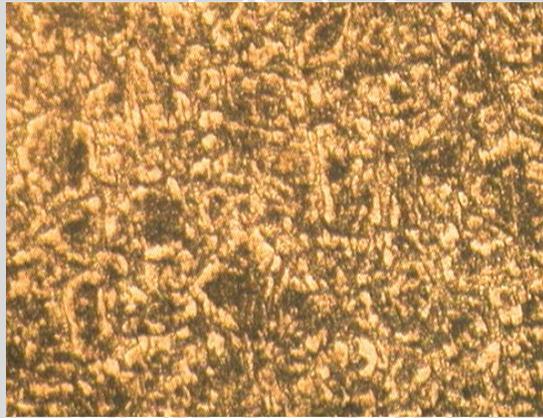


140A



Gambar 4.3 Hasil foto mikrostruktur daerah HAZ

Berikut adalah hasil foto mikrostruktur spesimen SA-209T1 setelah pengelasan menggunakan Las GTAW pada daerah base metal



Gambar 4.4 Hasil foto mikrostruktur daerah *base metal*

Hasil Penelitian terdiri dari 3 macam yaitu:

- Perubahan kekerasan material pada daerah *Weld Metal*.
- Perubahan kekerasan material pada daerah *Haz*.
- Perubahan kekerasan material pada daerah *Base Metal*.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Pada *Weld Metal*(BHN)

	80	95	110	125	140
1	195	220	230	228	205
2	200	222	235	220	208
3	195	220	235	230	208
4	205	220	228	232	205
5	205	220	235	220	208
Jumlah	1000	1102	1163	1130	1034
Rata-rata	200	220,4	232,6	226	206,8

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan Pada *Haz.*(BHN)

	80	95	110	125	140
1	190	210	215	215	202
2	188	205	222	212	200
3	185	205	220	205	202
4	190	200	224	210	200
5	185	200	220	205	200
Jumlah	938	1020	1101	1047	1004
Rata-rata	187,6	204	220,2	209,4	200,8

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan Pada Base Metal.(BHN)

	80	95	110	125	140
1	170	170	175	174	170
2	175	175	170	170	172
3	172	172	172	170	170
4	170	172	170	172	172
5	172	168	172	172	170
Jumlah	859	857	859	858	854
Rata-rata	171,8	171,4	171,8	171,6	170,8

4.1.1 Analisis statistik

A. Interval Penduga

Analisis statistik digunakan untuk mengetahui interval penduga rata-rata. Berikut ini contoh perhitungan statistik nilai kekerasan material untuk data spesimen dengan kuat arus sebesar 80 A pada *Weld Metal*.

- Kekerasan rata-rata:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{1000}{5} = 200$$

- Standar deviasi (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$= 5$$

- Standar deviasi rata-rata

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$= 2,23$$

- Interval penduga rata-rata kekerasan

Derajat bebas (db) = $n - 1 = 5 - 1 = 4$

Dengan mengambil $\alpha = 5\%$ maka $t(\alpha/2; db) = t(0,025; 4) = 2,776$

$$\bar{x} - t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right)\bar{\sigma} < \mu < \bar{x} + t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right)\bar{\sigma}$$

$$200 - (2,776 \times 2,23) < \mu < 200 + (2,776 \times 2,23)$$

$$193,8143 < \mu < 206,1923$$

Interval penduga rata-rata nilai kekerasan pada *weld metal* pada spesimen yang diberi arus sebesar 80 A adalah antara 193,8143 sampai dengan 206,1923 dengan tingkat keyakinan 95%. Dengan cara yang sama maka dapat diketahui nilai interval dugaan rata-rata kekerasan untuk spesimen dengan kuat arus yang lain, seperti yang terlihat pada Tabel berikut:

Tabel 4.4 Interval Penduga Pada *Weld Metal*.

Kuat Arus (A)	Kekerasan
80	193,8143 < μ < 206,1923
95	216,4273 < μ < 224,3727
110	176,4858 < μ < 288,7142
125	67,09249 < μ < 384,9075
140	193,3922 < μ < 220,2078

Tabel 4.5 Interval Penduga Pada *Haz*.

Kuat Arus (A)	Kekerasan
80	156,3151 < μ < 218,8849
95	117,0975 < μ < 290,9025
110	164,5824 < μ < 275,8176
125	113,5589 < μ < 305,2411
140	194,841 < μ < 206,759

Tabel 4.6 Interval Penduga Pada *Base Metal*.

Kuat Arus (A)	Kekerasan
80	150,9434 < μ < 192,6566
95	137,6322 < μ < 205,1678
110	150,9434 < μ < 192,6566
125	157,6956 < μ < 185,5044
140	164,841 < μ < 176,759

B. Analisa Varian Satu Arah

Analisis yang digunakan dalam pengujian ini adalah pengujian klasifikasi satu arah. Dari analisa varian satu arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi variabel bebas terhadap variabel terikat. Hasil pengujian dengan variasi variabel bebas dianggap sebagai u1, u2, u3, u4 dan u5. maka hipotesis penelitian ditulis:

H0 : u1 = u2 = u3 = u4 = u5 (variasi variabel bebas tidak berpengaruh terhadap variabel terikat)

H1 : u1 ≠ u2 ≠ u3 ≠ u4 ≠ u5 (variasi variabel bebas berpengaruh terhadap variabel terikat)

Berdasarkan data kekerasan, maka dapat dihitung nilai:

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} = 5429$$

- Jumlah seluruh kuadrat perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y^2_{ij} = 1182893$$

- Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k t_{ij}]^2}{\sum ni} = 1178962$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y^2_{ij} - FK = 3931,36$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k [\sum_{i=1}^n y_{ij}]^2}{ni} - FK = 3644,16$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$JKG = 3931,6 - 3644,16 = 287,2$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} = 911,04$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{n-k} = 14,36$$

- Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} = 63,4429$$

Dengan menggunakan tingkat kesalahan (α) sebesar 5%, maka diperoleh nilai $F_{tabel}(\alpha; k-1; N-k)$ sebesar:

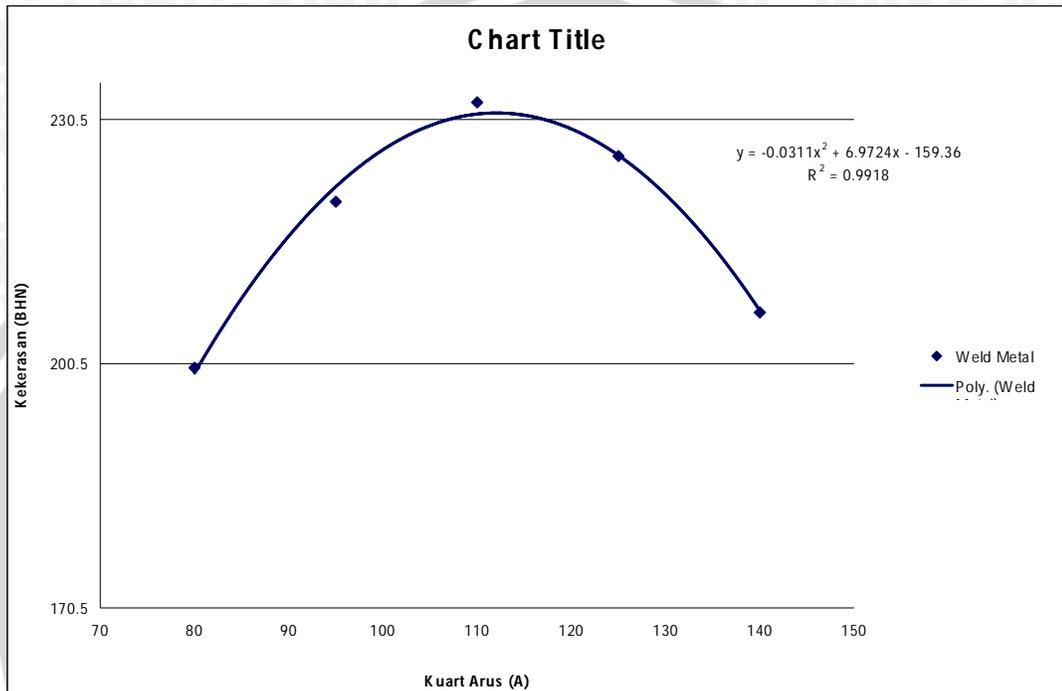
$$F_{tabel}(0,05; 4; 20) = 2,78$$

Dari hasil perhitungan analisis varian satu arah menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa besarnya kuat arus mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekerasan pada daerah *weld metal*. Dengan cara yang sama untuk perhitungan F_{hitung} pada *Haz* didapatkan F_{hitung} 64,18919 sehingga menunjukkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa besarnya kuat arus mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekerasan pada daerah *Haz*. Sedangkan untuk daerah base metal didapatkan F_{hitung} 0,223958 sehingga menunjukkan bahwa $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa besarnya kuat arus tidak mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekerasan pada daerah *Base Metal*.

4.2 Pembahasan

Pembahasan ini dilakukan untuk mengetahui pola kecenderungan dari data hasil penelitian yang dilakukan pada setiap pengambilan data kekerasan material akibat pengaruh kuat arus pada pengelasan.

4.2.1 Hubungan Antara Kuat Arus Dengan Kekerasan Material Pada *Weld Metal*.



Gambar 4.5 Grafik hubungan kuat arus dengan kekerasan material pada *weld metal*.

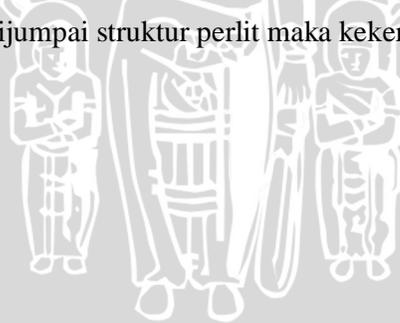
Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa variasi kuat arus menyebabkan kekerasan material pada daerah *weld metal* berubah ubah atau dengan kata lain variasi kuat arus mempengaruhi kekerasan hasil lasan. Data hasil penelitian menunjukkan kekerasan material akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya kuat arus yang diberikan pada proses pengelasan sampai pada kuat arus maksimum yaitu pada kuat arus sekitar 110A kemudian setelah itu kekerasan material akan menurun seiring dengan bertambahnya kuat arus pada pengelasan. Dengan adanya perubahan kuat arus kekerasan yang dihasilkan berbeda-beda hal ini disebabkan salah satunya karena faktor kecepatan pengelasan. Pada saat pengelasan, kecepatan pengelasan dijaga konstan, oleh karena itu pada saat arus 80 A didapat kekerasan hanya 200 BHN karena pada saat pengelasan banyak rongga pada hasil lasan. Sehingga kekerasan yang didapat rendah. Pada saat menggunakan kuat arus 95 A rongga yang dihasilkan lebih sedikit

dibandingkan dengan menggunakan kuat arus 80 A, oleh karena itu memiliki kekerasan diatas 80A yaitu 220,4 BHN. Sedangkan pada saat menggunakan arus 110A didapat kekerasan paling tinggi yaitu 232,6BHN dikarenakan pada saat menggunakan arus 110A terjadi pengelasan yang optimal, yaitu antara kecepatan pengelasan dan proses peleburan pada saat yang tepat sehingga hasil lasan mendekati sempurna tanpa rongga sehingga kekerasan meningkat.

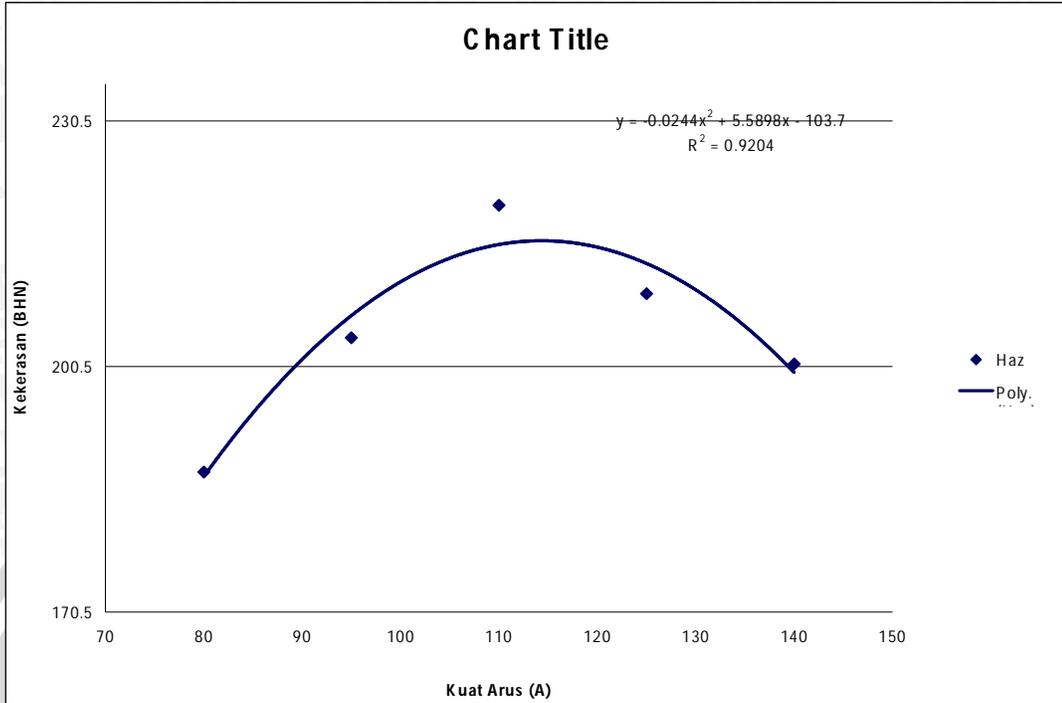
Arus yang terlalu meningkat juga menghasilkan hasil yang kurang memuaskan. Arus tertinggi yang digunakan pada penelitian ini yaitu 140 A justru menghasilkan kekerasan terendah yaitu sebesar 206,8 BHN. Grafik juga menunjukkan setelah titik maksimal dicapai maka garis semakin turun. Hal ini bisa dijelaskan bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat sehingga menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang terlalu dalam.

Sehubungan dengan hal itu, panjang busur sangat mempengaruhi hasil lasan. Hal yang paling sukar dalam pengelasan busur elektroda terbungkus dengan arus 140A ini adalah mempertahankan panjang busur tetap. Busur listrik yang terlalu panjang tidak dikehendaki karena stabilitasnya mudah terganggu sehingga hasil pengelasan tidak rata

Dengan adanya variasi kuat arus maka kekerasan hasil lasan juga berbeda beda, hal ini ditunjang juga dengan hasil uji mikrostruktur, dimana jumlah perlit pada tiap variasi kuat arus berbeda beda, dimana jumlah perlit sangat berpengaruh terhadap kekerasan. Semakin banyak dijumpai struktur perlit maka kekerasan semakin tinggi.



4.2.2 Hubungan Antara Kuat Arus Dengan Kekerasan Material Pada Haz.

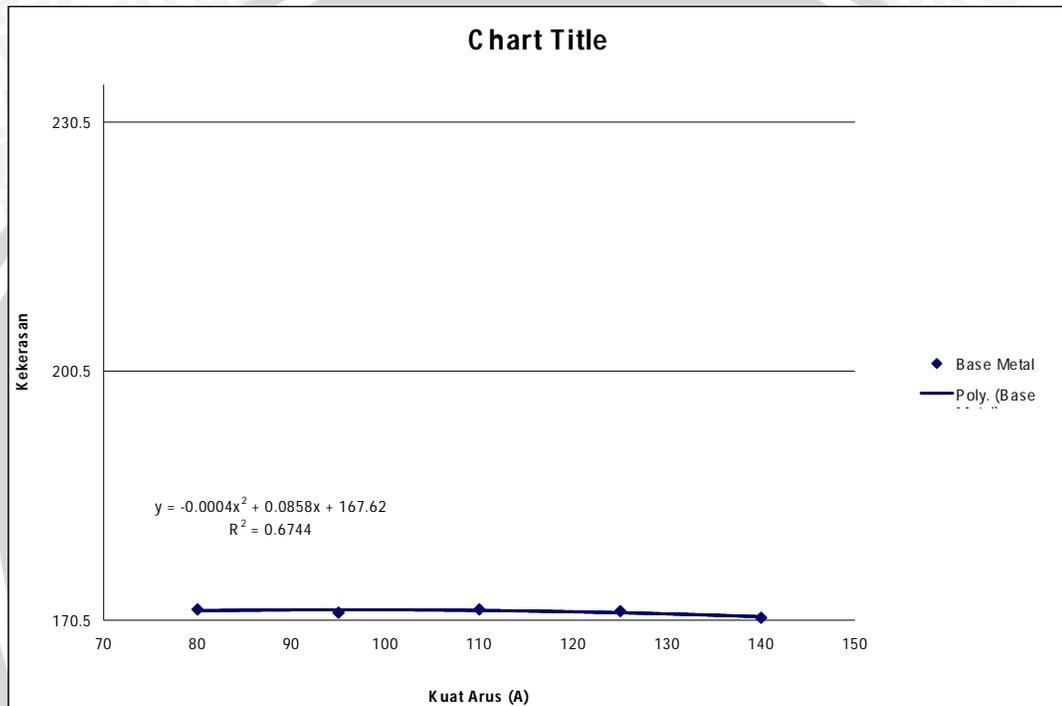


Gambar 4.6 Grafik hubungan kuat arus dengan kekerasan material pada haz.

Dari gambar 4.6 dapat disimpulkan dengan adanya variasi kuat arus pada saat pengelasan menyebabkan kekerasan pada daerah haz ikut terpengaruh. Dari data penelitian didapatkan dengan adanya penambahan kuat arus pada daerah haz, maka kekerasan material akan terus meningkat dan didapat kekerasan maksimum pada saat kuat arus 110A. Kemudian setelah itu kekerasan material menurun seiring dengan bertambahnya kuat arus pada pengelasan. Kecenderungan ini bisa dijelaskan sebagai berikut. Panas yang masuk saat proses pengelasan menyebabkan perubahan struktur kristal pada haz. Struktur dan komposisi haz merupakan komponen logam induk yang mengalami perubahan struktur akibat pengaruh panas. Dari kecenderungan grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi kuat arus akan semakin meningkatkan nilai kekerasannya hal ini dikarenakan banyaknya struktur perlit yang terbentuk akibat pemanasan. Hal ini ditunjang dengan adanya foto mikrostruktur yang dilakukan pada daerah haz pada tiap tiap variasi kuat arus. Dengan adanya foto mikro dapat kita lihat dengan jelas bahwa struktur perlit terbanyak ada pada saat kuat arus 110A. Oleh karena itu kekerasan material tertinggi terdapat di material dengan pengelasan menggunakan kuat arus 110A.

Pada saat penelitian, penggunaan arus 140A adalah arus tertinggi, dan menghasilkan kekerasan hanya 200,8BHN. Hal ini dikarenakan pada saat arus terlalu tinggi maka masukan panas yang dihasilkan sangat besar sehingga menghasilkan permukaan las dan haz yang lebih lebar. Panas yang besar dapat menyebabkan butiran berkembang menjadi besar dan menurunkan nilai kekerasan dari material tersebut.

4.2.3 Hubungan Antara Kuat Arus Dengan Kekerasan Material Pada *Base Metal*.



Gambar 4.7 Grafik hubungan kuat arus dengan kekerasan material pada *Base Metal*.

Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa dengan adanya pemberian variasi kuat arus yang berbeda-beda tidak menyebabkan kekerasan material pada daerah *base metal* terpengaruh secara signifikan. Data hasil penelitian menunjukkan tidak adanya perubahan seiring dengan bertambahnya kuat arus yang diberikan pada proses pengelasan. Hal ini dikarenakan pada daerah *base metal* tidak terpengaruh dari panas pengelasan sehingga strukturnya tidak mengalami perubahan. Struktur yang tetap mengakibatkan tidak adanya perubahan nilai kekerasannya. Sehingga nilai kekerasan dari material tersebut tetap dengan kata lain, pengelasan yang dilakukan tidak menimbulkan perubahan struktur dari material tersebut.

4.3 Hubungan Kekerasan Hasil Pengelasan terhadap Karakteristik pada Pipa Superheater

Superheater (super = lebih, Heater = pemanas, superheater = pemanas lebih lanjut). *Superheater* berfungsi untuk merubah uap basah menjadi uap kering. Tujuannya adalah menambah kandungan panas sehingga akan meningkatkan efisiensi termal dan juga mencegah kondensasi pada turbin. Disini superheater mendapatkan panas dari gas asap langsung dari dapur. Operasi dari superheater ini diusahakan pada tekanan yang konstan. Pipa superheater mempunyai beberapa karakteristik. Salah satunya adalah tahan terhadap tekanan yang tinggi akibat pemanasan. Pipa superheater yang mendapat tekanan dari dalam mengakibatkan regangan pada dinding yang membentuk body pipa. Tekanan dalam yang terjadi dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu tekanan melingkar dan tekanan membujur. Tekanan yang terjadi pada body pipa akan menyebabkan robek dan terpotong menjadi dua. Tekanan kerja pipa superheater biasanya bekerja kurang dari 24 kg/cm^2 .

Dari hasil penelitian didapatkan hasil kekerasan yaitu :

1. Pada daerah weld metal.
 - kuat arus 80 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 200 BHN
 - kuat arus 95 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 220,4 BHN
 - kuat arus 110 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 232,6 BHN
 - kuat arus 125 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 226 BHN
 - kuat arus 140 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 206,8 BHN
2. Pada daerah haz.
 - kuat arus 80 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 187,6 BHN
 - kuat arus 95 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 204 BHN
 - kuat arus 110 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 220,2 BHN
 - kuat arus 125 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 209,4 BHN
 - kuat arus 140 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 200,8 BHN
3. Pada daerah base metal
 - kuat arus 80 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 171,8 BHN
 - kuat arus 95 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 171,4 BHN
 - kuat arus 110 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 171,8 BHN
 - kuat arus 125 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 171,6 BHN
 - kuat arus 140 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 170,8 BHN

Kekerasan mempunyai hubungan yang erat dengan kekuatan tarik , sehingga nilai kekerasan yang didapatkan dari pengujian dapat diperkirakan kekuatan tariknya. Bentuk hubungannya adalah sebagai berikut :

$$UTS \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \text{BHN} \times 0,36$$

Dimana :

UTS = *Ultimate Tensile Strength*

BHN = *Brinell Hardness Number*

Maka dengan menggunakan rumusan diatas didapatkan kekuatan tarik *ultimate* nya sebagai berikut :

1. Pada daerah weld metal.

- kuat arus 80 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 200 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 72 kg/cm²
- kuat arus 95 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 220,4 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 79,344 kg/cm²
- kuat arus 110 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 232,6 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 83,736 kg/cm²
- kuat arus 125 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 226 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 81,36 kg/cm²
- kuat arus 140 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 206,8 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 74,448 kg/cm²

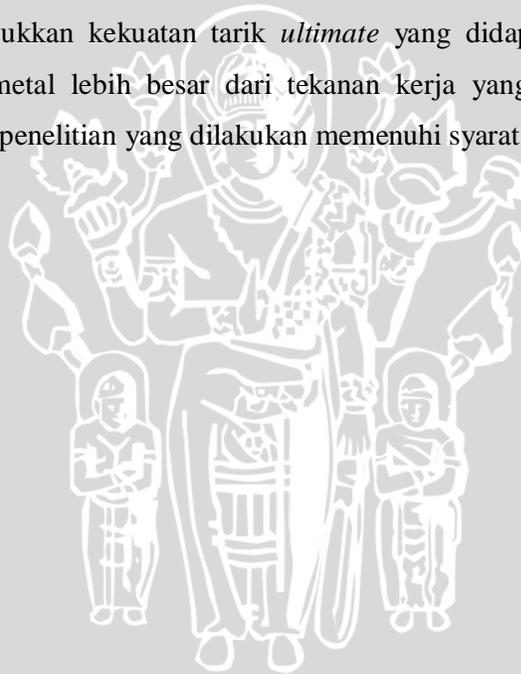
2. Pada daerah haz.

- kuat arus 80 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 187,6 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 67,536 kg/cm²
- kuat arus 95 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 204 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 73,44 kg/cm²
- kuat arus 110 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 220,2 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 79,272 kg/cm²
- kuat arus 125 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 209,4 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 75,384 kg/cm²
- kuat arus 140 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 200,8 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 72,288 kg/cm²

3. Pada daerah base metal

- kuat arus 80 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 171,8 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 61,848 kg/cm²
- kuat arus 95 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 171,4 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 61,704 kg/cm²
- kuat arus 110 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 171,8 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 61,848 kg/cm²
- kuat arus 125 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 171,6 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 61,776 kg/cm²
- kuat arus 140 ampere didapatkan nilai kekerasan rata – rata 170,8 BHN didapatkan kekuatan tarik *ultimate* 61,488 kg/cm²

Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik *ultimate* yang didapatkan pada daerah weld , Haz dan base metal lebih besar dari tekanan kerja yang terjadi pada *pipa superheater*. Maka hasil penelitian yang dilakukan memenuhi syarat pipa superheater.



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pengaruh kuat arus terhadap kekerasan hasil lasan pada pipa SA-209 T1 dengan las GTAW adalah:

1. Variasi kuat arus berpengaruh terhadap kekerasan hasil lasan pada sambungan las, dimana peningkatan arus sampai titik tertentu akan meningkatkan kekerasan sambungan las sampai titik tertentu dan kemudian akan cenderung menurun.
2. Kuat arus berpengaruh besar terhadap kekerasan hasil lasan pada daerah *weld metal*, yaitu pada kuat arus 80 A didapatkan nilai kekerasan 200 BHN, pada kuat arus 95 A didapatkan nilai kekerasan 220,4 BHN, pada kuat arus 110 A didapatkan 232,6 BHN, pada kuat arus 125 A didapatkan nilai kekerasan 226 BHN, pada kuat arus 140 A didapatkan nilai kekerasan 206,8 BHN.
3. Proses pengelasan baja, dalam hal ini pada pipa superheater, memerlukan prosedur pengelasan yang sesuai. Arus listrik merupakan prosedur yang harus diperhatikan. Hasil pengujian mendapatkan arus sebesar 110A sebagai arus yang diharapkan untuk proses pengelasan. Arus ini menghasilkan nilai kekerasan tertinggi yaitu 232,6 BHN.

5.2. Saran

Penelitian pada skripsi ini masih harus dikembangkan lagi. Banyak hal yang perlu diteliti lebih lanjut, seperti:

1. Prosedur pengelasan, selain arus listrik, yaitu kecepatan pengelasan, tegangan busur las, dan polaritas listrik perlu divariasikan.
2. Beberapa kondisi standar dalam pengelasan yaitu tebal pelat, bentuk sambungan, jenis elektroda, dan diameter inti elektroda perlu divariasikan.
3. Pengujian bisa dilakukan dengan merusak atau tidak merusak benda uji. Hal ini dilakukan atas dasar kebutuhan yang diinginkan pada pipa *superheater*.
4. Bahan baja yang disambung dengan las perlu divariasikan sesuai jenis pipa yang ingin diteliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B. H. 1990. *Teknologi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Arata, Y., Matsuda, F., Mukae, S., Katoh, M. 1973. *Effect of Weld Solidification Mode on Tensile Properties of Aluminium Weld Metal*. Kyushu: Kyushu Institute of Technology.
- Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Jilid I. Terjemahan Ir. Sriati Djaprie, M.E., M. Met. Jakarta: Erlangga.
- Djoko, M.J. 1999. *Ketel Uap*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Wiryosumarto, H. & Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Limbrunner, G. F. & Spiegel, L. 1991. *Desain Baja Struktural Terapan*. Bandung: Eresco.
- Luknanto, Djoko. 1992. *Regresi Kuadrat Terkecil untuk Kalibrasi Bangunan Ukur Debit*. Yogyakarta.
- Respati, Sri Mulyo Bondan. 2002. "Pengaruh Arus Listrik Terhadap Cacat Permukaan Sambungan Pipa Untuk Ekonomiser Dengan Las Busur Wolfram-Gas. Kripsi tidak diterbitkan. Malang: Jurusan Teknik Mesin FT Unibraw
- Van Vlack, H. Lawrence. 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Edisi V. Terjemahan Ir. Sriati Djaprie, M.E., M. Met. Jakarta: Erlangga.