

**PENGARUH KECEPATAN PENGELASAN *TUNGSTEN INERT*
GAS PADA *AUSTENITIC STAINLESS STEEL* TERHADAP
TEGANGAN TARIK DAN TEGANGAN *BENDING***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

**MOCH SULISDIANTO
NIM. 0410623052-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2009**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH KECEPATAN PENGELASAN *TUNGSTEN INERT*
GAS PADA *AUSTENITIC STAINLESS STEEL* TERHADAP
TEGANGAN TARIK DAN TEGANGAN *BENDING***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

MOCH SULISDIANTO
NIM. 0410623052-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Pratikto, MMT.
NIP. 19461110 198103 1 001

Ir. Suharto, MT.
NIP. 19531030 198212 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KECEPATAN PENGELASAN *TUNGSTEN INERT*
GAS PADA *AUSTENITIC STAINLESS STEEL* TERHADAP
TEGANGAN TARIK DAN TEGANGAN *BENDING***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

**MOCH SULISDIANTO
NIM. 0410623052-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 23 Desember 2009

Skripsi 1

Skripsi 2

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

Ir. Agustinus Ariseno, MT.
NIP. 19510822 198701 1 001

Komprehensif

Ir. Imam Zaky, MT.
NIP. 19450918 197702 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Kecepatan Pengelasan Tungsten Inert Gas Pada Austenitic Stainless Steel Terhadap Tegangan Tarik Dan Tegangan Bending”**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat pihak-pihak sebagai berikut :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST, M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Pratikto, MMT. selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan saran yang konstruktif dalam menyusun skripsi ini.
5. Bapak Ir. Suharto, MT. Selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Hastono Wijaya, MT. selaku Dosen Wali yang memberikan dukungan dan konsultasi dalam menentukan perkuliahan.
7. Seluruh Dosen pengajar dan Staff administrasi Jurusan Teknik Mesin, yang telah banyak memberikan bantuan kepada penulis.
8. Orang tua penulis H. Mashudi dan Hj. Masturoh yang selalu memberikan motivasi, doa dan material sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini
9. Kakakku Mas Abdulloh, Mbak Yuni, Mbak Yeni dan Mas Joko yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
10. Ponakan-ponakan kecilku Vira, Vina, Rean, Reno, Ayis, Nadia, Salom, Lila yang selalu memberikan keceriaan bagi penulis.

11. Bapak Haryadi dan Mama Min sebagai orang tua kedua yang banyak memberikan masukan dan nasehat selama penulis tinggal di Malang.
12. Teman-teman Griya Jazom mas Anggry, mas Karim, Roby, Sugeng, Hepa dan lain-lain yang belum bisa penulis sebutkan yang sangat membantu dalam penyelesaian Skripsi ini.
13. Teman-teman seperjuangan skripsi yang menjadi teman pada saat senang maupun susah. Gatot, Yunianto.
14. Rekan-rekan Teknik Mesin Angkatan 2004 yang banyak membantu menyelesaikan skripsi ini.
15. Adhekku yang memberikan motivasi dan doa sehingga penulis semangat dalam menyelesaikan skripsi ini. Thanks ya nduk...
16. Dan semua pihak yang belum penulis sebutkan yang sangat membantu dalam penyelesaian Skripsi ini.

Atas semua jasa-jasa dan bantuannya yang telah diberikan semoga mendapat limpahan anugerah dari Allah SWT. Amin.

Dalam penyusunan Skripsi ini penulis masih perlu banyak belajar lagi karena masih banyak kelemahan dan kekurangan sehingga diharapkan adanya saran dan kritik yang membangun dan semoga penyusunan Skripsi ini bermanfaat bagi semua yang bersangkutan.

Malang, 10 Desember 2009

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
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 Proses Pengelasan	4
2.2.1 Definisi dan Klasifikasi Pengelasan	4
2.2.2 Parameter Pengelasan	5
2.3 Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas)	7
2.3.1 Definisi Tungsten Inert Gas	7
2.3.2 Elektroda	9
2.3.3 Kebutuhan Gas Lindung	9
2.4 Siklus Termal Daerah Lasan	10
2.4.1 Pembekuan dan Struktur Logam Las	10
2.4.2 Reaksi Metalurgi yang Terjadi Dalam Pembekuan	11
2.4.3 Siklus Termal Proses Pengelasan	11
2.5 Struktur Daerah Pengaruh Panas	12
2.6 Pengaruh Kecepatan Pengelasan pada Proses Pengelasan	13
2.7 Baja Tahan Karat (Stainless Steel)	14
2.7.1 Klasifikasi Stainless Steel	14
2.7.2 Struktur Stainless Steel	15
2.7.3 Pengelasan Austenitic Stainless Steel	16



2.7.4 Pengaruh Unsur yang Terkandung	16
pada <i>Austenitic stainless steel</i>	16
2.8 Tegangan Tarik.....	18
2.9 Proses <i>Bending</i>	18
2.10 Hipotesis.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Metode Penelitian.....	21
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2.1 Tempat Penelitian.....	21
3.2.2 Waktu Penelitian	21
3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan.....	21
3.3.1 Alat yang digunakan.....	21
3.3.2 Bahan yang digunakan	22
3.4 Variabel Penelitian	22
3.4.1 Variabel Bebas	22
3.4.2 Variabel Terikat.....	22
3.4.3 Variabel Terkontrol.....	23
3.5 Prosedur Penelitian.....	23
3.6 Dimensi Benda Uji Tarik dan <i>Bending</i>	25
3.7 Rancangan Penelitian	25
3.7.1 Analisis Statistik.....	25
3.7.2 Analisis Varian Satu Arah.....	27
3.7.3 Analisis Grafik	29
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Data Hasil Pengujian.....	31
4.1.1 Data Hasil Pengujian Tegangan Tarik	32
4.1.2 Data Hasil Pengujian Tegangan <i>Bending</i>	33
4.2 Pengolahan Data.....	34
4.2.1 Analisis Statistik Tegangan Tarik	34
4.2.2 Analisis Varian Satu Arah Tegangan Tarik	35
4.2.3 Analisis Statistik Tegangan <i>Bending</i>	37
4.2.2 Analisis Varian Satu Arah Tegangan <i>Bending</i>	38
4.3 Pembahasan	42



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	49



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi <i>Stainless Steel</i>	15
Tabel 3.1	Kandungan Unsur Kimia <i>Austenitic Stainless Steel 304</i>	22
Tabel 3.2	Tabel Rancangan Penelitian Pengujian Tarik	26
Tabel 3.3	Tabel Rancangan Penelitian Pengujian <i>Bending</i>	26
Tabel 3.4	Format Tabel Hasil Analisa Varian Satu Arah	28
Tabel 4.1	Data Kecepatan Pengelasan Dengan <i>TIG</i>	31
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Tegangan Tarik	32
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Tegangan <i>Bending</i>	33
Tabel 4.4	Interval Penduga Rata-Rata Tegangan Tarik	35
Tabel 4.5	Data Analisis Varian Satu Arah Tegangan Tarik	35
Tabel 4.6	Rancangan Analisis Varian Satu Arah Tegangan Tarik	37
Tabel 4.7	Interval Penduga Rata-Rata Tegangan <i>Bending</i>	38
Tabel 4.8	Data Analisis Varian Satu Arah Tegangan <i>Bending</i>	39
Tabel 4.9	Rancangan Analisis Varian Satu Arah Tegangan <i>Bending</i>	41

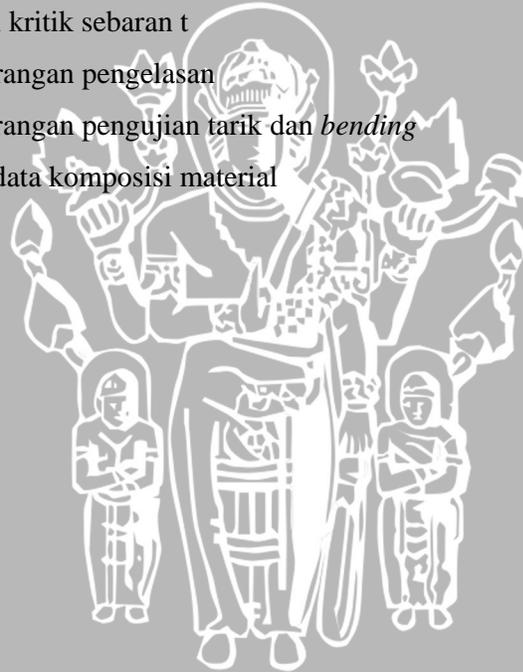


DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Klasifikasi Proses Pengelasan	5
Gambar 2.2	Diagram Rangkaian Listrik Dari Mesin Las Listrik <i>TIG</i> DC	8
Gambar 2.3	Pengaruh Polaritas Pada Pengelasan <i>TIG</i>	8
Gambar 2.4	Arah Pembekuan Dari Logam Las	10
Gambar 2.5	Siklus Termal Las	12
Gambar 2.6	Skema Struktur Mikro Pada Daerah Pengaruh Panas Atau <i>HAZ</i>	13
Gambar 2.7	Endapan Antar Butir Karbid Khrom Dari Baja 18 Cr-8 Ni	16
Gambar 2.8	Pengujian <i>Bending</i> Pada <i>Cantilever Beam</i>	19
Gambar 2.9	Pengujian <i>Bending</i>	19
Gambar 3.1	Dimensi Benda Kerja Las	23
Gambar 3.2	Instalasi <i>Tungsten Inert Gas</i>	24
Gambar 3.3	Bentuk Benda Uji Tarik Standar ASTM E8	25
Gambar 3.4	Bentuk Benda Uji <i>Bending</i> Standar ASTM E190	25
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Antara Kecepatan Pengelasan Dengan Tegangan Tarik Pada <i>Austenitic Stainless Steel</i>	43
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Antara Kecepatan Pengelasan Dengan Tegangan <i>Bending</i> Pada <i>Austenitic Stainless Steel</i>	45

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Persiapan pengelasan dan prosedur penelitian	49
Lampiran 2.	Benda uji setelah di las	50
Lampiran 3.	Benda uji setelah dihaluskan	51
Lampiran 4.	Benda uji tarik standar ASTM E8	52
Lampiran 5.	Benda uji <i>bending</i> standar ASTM E190	53
Lampiran 6.	Pengujian tarik dan <i>bending</i>	54
Lampiran 7.	Benda uji setelah mengalami tegangan tarik	55
Lampiran 8.	Benda uji setelah mengalami tegangan <i>bending</i>	56
Lampiran 9.	Tabel nilai kritik sebaran F	57
Lampiran 10.	Tabel nilai kritik sebaran t	58
Lampiran 11.	Surat keterangan pengelasan	59
Lampiran 12.	Surat keterangan pengujian tarik dan <i>bending</i>	60
Lampiran 13.	Sertifikat data komposisi material	61



RINGKASAN

Moch Sulisdianto, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2009, *Pengaruh Kecepatan Pengelasan Tungsten Inert Gas Pada Austenitic Stainless Steel Terhadap Tegangan Tarik Dan Tegangan Bending*, Dosen Pembimbing : Pratikto dan Suharto.

Dalam proses pengelasan *austenitic stainless steel* sering digunakan *tungsten inert gas (TIG)* karena memiliki keuntungan yaitu daerah pengaruh panas kecil sehingga pengaruh panas pengelasan pada logam induk hanya terbatas pada sekitar sambungan. Karena logam di sekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur metal dan deformasi. Di mana pada pendinginan lambat dari 680°C ke 480°C pada *austenitic stainless steel* akan terbentuk karbid khrom yang mengendap diantara butir yang menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya. Salah satu cara untuk mengurangi nilai masukan panas (*heat input*) yang menyebabkan pendinginan lambat setelah proses pengelasan adalah dengan meningkatkan kecepatan pengelasan. *Austenitic stainless steel* merupakan material non magnetic, sifat mampu las yang baik sekali, tahan korosi yang baik sekali dan tidak dapat dikeraskan pada proses perlakuan panas.

Pada penelitian ini dilakukan proses pengelasan *austenitic stainless steel* dengan *TIG* yang bertujuan untuk menyambung *austenitic stainless steel*. Pada proses pengelasan ini dilakukan lima variasi kecepatan pengelasan yaitu 34 mm/men, 40 mm/men, 48 mm/men, 60 mm/men, 80 mm/men untuk mengetahui pengaruhnya terhadap tegangan tarik dan tegangan *bending*. Bahan yang dilas adalah plat *austenitic stainless steel* 304 tebal 5 mm dengan kawat elektroda wolfram berdiameter 2,6 mm dan *filler metal* ER 308L yang dilas pada posisi *flat position* menggunakan las *TIG*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan pengelasan berpengaruh terhadap tegangan tarik dan tegangan *bending* pada *austenitic stainless steel*. Dari uji tarik pada kecepatan pengelasan 34 mm/menit tegangan tarik rata-rata 612,3 N/mm² karena pendinginan yang lebih lambat yang menyebabkan karbid khrom yang terbentuk di antara butir lebih banyak sehingga tegangan tarik lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan pengelasan 80 mm/menit yang tegangan tarik rata-ratanya 675,2 N/mm², maka grafik menunjukkan peningkatan tegangan tarik pada kecepatan pengelasan 34 mm/menit sampai 80 mm/menit. Dari uji *bending* menunjukkan peningkatan tegangan *bending* pada kecepatan pengelasan 34 mm/menit sampai 80 mm/menit. Pada kecepatan pengelasan 34 mm/menit tegangan *bending* rata-rata 1095,772 N/mm² dan pada kecepatan pengelasan 80 mm/menit tegangan *bending* rata-rata mengalami peningkatan yaitu 1433,830 N/mm², hal ini dikarenakan masukan panas yang diterima material lebih rendah pada kecepatan pengelasan 80 mm/menit yang menyebabkan pendinginannya lebih cepat sehingga karbid khrom yang terbentuk dan mengendap di antara butir lebih sedikit.

Kata kunci : Kecepatan pengelasan *TIG*, *Austenitic stainless steel*, tegangan tarik, tegangan *bending*

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Stainless steel merupakan baja paduan tinggi yang memiliki sifat tahan korosi dan sifat mampu las yang sangat baik. Di samping itu juga mempunyai ketangguhan dan sifat mampu potong yang cukup (Wiryosumarto, 1981: 110). *Stainless steel* banyak digunakan antara lain untuk tangki-tangki bahan kimia, sudu turbin uap, tangki penyimpanan susu dan alat-alat rumah tangga. Unsur paduan utamanya terdiri dari Cr dan Ni dengan sedikit tambahan unsur seperti Mo, Cu, dan Mn. Untuk mengelas *stainless steel* sering digunakan *tungsten inert gas (TIG)* karena memiliki keuntungan yaitu daerah pengaruh panas atau *heat affected zone (HAZ)* kecil sehingga pengaruh panas pengelasan pada logam induk hanya terbatas pada sekitar sambungan.

Tungsten inert gas (TIG) adalah jenis las listrik yang menggunakan bahan *tungsten* sebagai elektroda tidak terkonsumsi. Elektroda ini digunakan hanya untuk menghasilkan busur nyala listrik. Bahan penambah berupa batang las (*rod*) yang dicairkan oleh busur nyala berfungsi untuk mengisi kampuh bahan induk. Untuk mencegah oksidasi digunakan gas mulia (seperti Argon, Helium, Freon) dan CO₂ sebagai gas lindung (Widharto, 2003: 195).

Kecepatan pengelasan akan mempengaruhi masukan panas yang pada gilirannya akan berpengaruh terhadap distribusi suhu dan tegangan sisa. Kecepatan pengelasan yang rendah memberikan masukan panas tinggi, sebaliknya kecepatan pengelasan yang tinggi memberikan masukan panas rendah. Hal ini jelas akan mempengaruhi struktur yang terbentuk pada HAZ maupun logam las sehingga berpengaruh pula pada ketangguhan las. Di mana pada pendinginan lambat dari 680°C ke 480°C *stainless steel* jenis austenit akan terbentuk karbid khrom yang mengendap diantara butir yang menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya (Wiryosumarto, 1981: 112). *Austenitic stainless steel* merupakan material non magnetik dan tidak dapat dikeraskan pada proses perlakuan panas. *Austenitic stainless steel* hanya mampu keras pada pengerjaan dingin.

Drihapsari., 2004 melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Variasi Masukan Panas (*Heat Input*) Terhadap Ketahanan Korosi Pada *Stainless Steel* Dengan Pengelasan

TIG. Variasi masukan panas pada pengelasan *TIG* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap ketahanan korosi pada *stainless steel*. Masukan panas yang semakin tinggi akan memperlambat proses pendinginan, dengan lambatnya pendinginan maka akan terjadi perubahan struktur mikro kearah ketidak tahanan terhadap serangan pada batas butir yang bisa menyebabkan terjadinya korosi batas butir (*intragranular corrosion*).

Stainless steel secara umum dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu jenis ferit, jenis martensit, dan jenis austenit. *Stainless steel* jenis austenit mempunyai sifat mampu bentuk las yang baik bila dibandingkan dengan kedua jenis *stainless steel* yaitu jenis ferit dan jenis martensit. Besarnya kecepatan pengelasan yang dibutuhkan untuk proses pengelasan *stainless steel* jenis austenit menurut prosedur *welding of stainless steel* adalah berdasarkan ketebalan dari material. Spesimen pada ketebalan tertentu membutuhkan kecepatan pengelasan tertentu pula. Sehingga perlu dikaji lebih lanjut mengenai menentukan kecepatan pengelasan untuk mengetahui tegangan tarik dan tegangan *bending* dari ketebalan material tertentu, dalam hal ini adalah menggunakan *austenitic stainless steel*.

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh kecepatan pengelasan dengan menggunakan las *TIG* pada *austenitic stainless steel* terhadap tegangan tarik dan tegangan *bending*?

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan dari penelitian ini tidak meluas sehingga dapat terfokus, maka ditetapkan batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Benda uji dianggap *homogen*.
2. Perpindahan panas yang terjadi tidak diukur.
3. Pembahasan difokuskan terhadap proses pengelasan, tegangan tarik dan tegangan *bending* akibat pengaruh kecepatan pengelasan dengan las *TIG* pada *austenitic stainless steel*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengelasan dengan menggunakan las *TIG* pada *austenitic stainless steel* terhadap tegangan tarik dan tegangan *bending*.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang bisa diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui sejauh mana pengaruh kecepatan pengelasan dengan menggunakan las *TIG* pada *austenitic stainless steel* terhadap tegangan tarik dan tegangan *bending*.
2. Diharapkan dari hasil penelitian dapat memberikan suatu manfaat bagi kepentingan ilmiah atau kepentingan terapan.
3. Memberikan referensi tambahan bagi penelitian lebih lanjut mengenai pengelasan, khususnya pengelasan *TIG* terhadap *stainless steel*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Drihapsari., 2004 melakukan penelitian dengan judul **Pengaruh Variasi Masukan Panas (*Heat Input*) Terhadap Ketahanan Korosi Pada *Stainless Steel* Dengan Pengelasan *TIG***. Variasi masukan panas pada pengelasan *TIG* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap ketahanan korosi pada *stainless steel*. Masukan panas yang semakin tinggi akan memperlambat proses pendinginan, dengan lambatnya pendinginan maka akan terjadi perubahan struktur mikro kearah ketidak tahanan terhadap serangan pada batas butir yang bisa menyebabkan terjadinya korosi batas butir (*intragranular corrosion*).

2.2. Proses Pengelasan

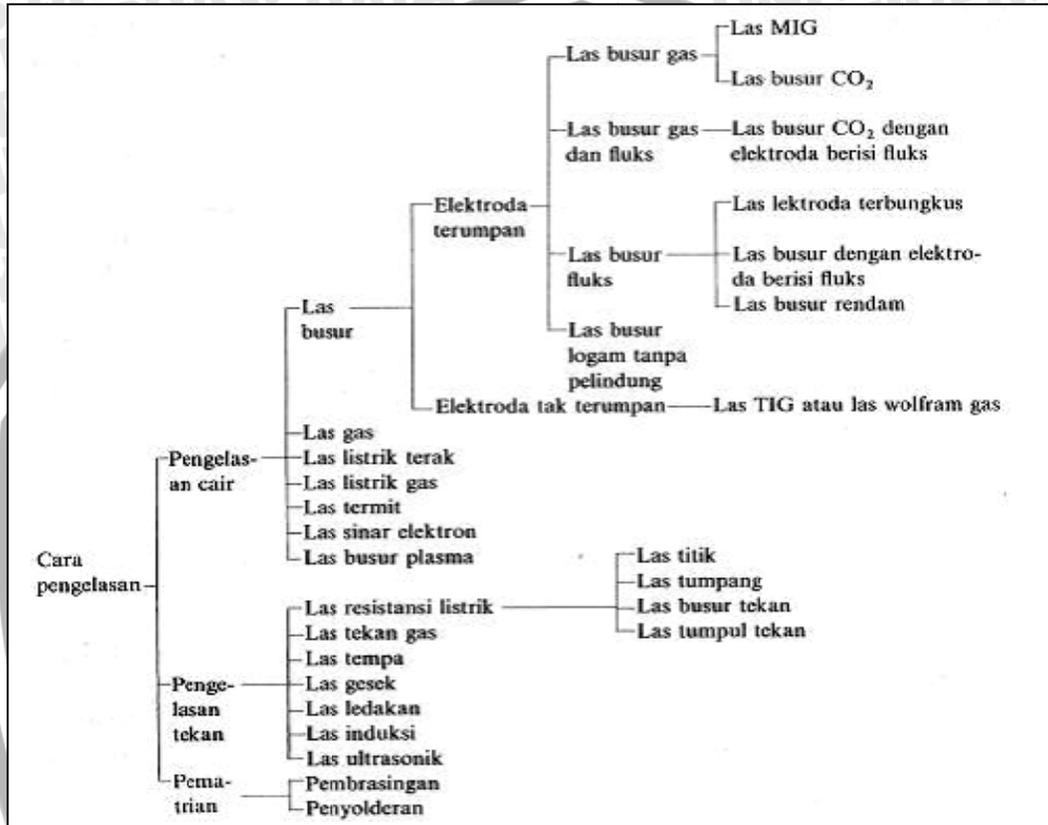
2.2.1. Definisi dan Klasifikasi Pengelasan

Berdasarkan *American Welding Society* (AWS), 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, dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi. Berdasarkan definisi dari DIN (*Deutche Industrie Normen*), Las merupakan 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. Energi panas yang digunakan untuk mencairkan logam pada proses pengelasan tersebut dapat berasal dari pembakaran gas, sinar elektron, gesekan gelombang elektronik, tahanan listrik, ataupun busur listrik. Sehingga terjadi ikatan antara atom-atom atau molekul-molekul dari logam yang disambungkan. Berdasarkan cara kerja, proses pengelasan dapat dibagi dalam 3 kelas utama yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian.

- Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
- Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

c. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang memiliki titik lebur rendah. Dalam cara ini logam induk tidak ikut mencair.

Adapun perincian lebih lanjut mengenai klasifikasi proses pengelasan dapat digambarkan dalam gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Klasifikasi Proses Pengelasan

Sumber: Wiryosumarto, 1981: 8

2.2.2. Parameter Pengelasan

1. Tegangan busur las

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang dikehendaki dan jenis dari elektroda yang digunakan. Pada elektroda yang sejenis tingginya tegangan busur yang diperlukan berbanding lurus dengan panjang busur. Pada dasarnya busur listrik yang terlalu panjang tidak dikehendaki karena stabilitasnya mudah terganggu sehingga hasil pengelasannya tidak rata. Disamping itu tingginya tegangan tidak banyak mempengaruhi kecepatan pencairan, sehingga

tegangan yang terlalu tinggi hanya akan membuang-buang energi saja. Panjang busur yang dianggap baik kira-kira sama dengan garis tengah elektroda.

2. Besar arus listrik 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 lasan 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 terbakarnya unsur-unsur paduan sebaiknya menggunakan arus las yang kecil. Bila ada kemungkinan terjadi retak panas seperti pada pengelasan baja tahan karat austenit maka dengan sendirinya harus diusahakan menggunakan arus yang kecil saja. Dalam hal mengelas baja paduan, dimana daerah *HAZ* dapat mengeras dengan mudah, maka harus diusahakan pendinginan yang pelan dan untuk ini diperlukan arus yang besar dan mungkin masih memerlukan pemanasan kemudian.

3. 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.

4. Polaritas listrik

Pemilihan polaritas ini tergantung pada bahan pembungkus elektroda, konduksi termal dari bahan induk dan kapasitas panas dari sambungan. Bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas panasnya besar sebaiknya digunakan polaritas lurus dimana elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif. Sebaliknya bila kapasitas panasnya kecil seperti pada pelat tipis maka dianjurkan untuk menggunakan polaritas balik dimana elektroda dihubungkan dengan kutub positif. Untuk menurunkan penembusan, misalnya dalam pengelasan baja tahan karat austenit atau pada pengelasan pelapisan keras, sebaiknya elektroda dihubungkan dengan kutub positif. Sifat busur pada umumnya lebih stabil pada arus searah dari pada arus bolak balik, terutama pada pengelasan dengan arus

yang rendah. Tetapi untuk pengelasan sambungan pendek lebih baik menggunakan arus bolak balik karena pada arus searah sering terjadi ledakan busur pada akhir dari pengelasan.

5. Besarnya penembusan atau penetrasi

Untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang tinggi diperlukan penembusan atau penetrasi yang cukup. Sedangkan besarnya penembusan tergantung kepada polaritas, besarnya arus, kecepatan las dan tegangan yang digunakan. Pada dasarnya makin besar arus las makin besar pula daya tembusnya. Sedangkan tegangan memberikan pengaruh yang sebaliknya yaitu makin besar tegangan makin panjang busur yang terjadi dan makin tidak terpusat, sehingga panasnya melebar dan menghasilkan penetrasi yang lebar dan dangkal.

6. Standar dalam pengelasan

Agar diperoleh suatu hasil lasan yang baik harus memperhatikan standar yang ada dalam pengelasan, seperti tebal pelat, bentuk sambungan, jenis elektroda dan lain-lainnya (Wirjosumarto, 1981: 224).

2.3. Pengelasan *TIG* (*Tungsten Inert Gas*)

2.3.1. Definisi *Tungsten Inert Gas*

Tungsten inert gas welding (TIG) adalah jenis las listrik yang menggunakan bahan *tungsten* sebagai elektroda tidak terkonsumsi. Elektroda ini digunakan hanya untuk menghasilkan busur nyala listrik. Bahan penambah berupa batang las (*rod*), yang dicairkan oleh busur nyala berfungsi untuk mengisi kampuh bahan induk. Untuk mencegah oksidasi digunakan gas mulia (seperti Argon, Helium, Freon) dan CO₂ sebagai gas lindung (Widharto, 2003:195).

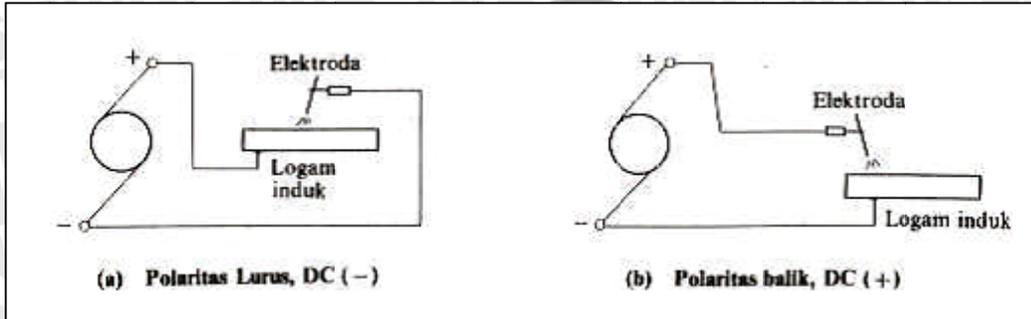
Keuntungan penggunaan las *TIG* adalah (Carry, 1989: 338)

1. Daerah pengaruh panas kecil sehingga pengaruh panas pengelasan pada logam induk hanya terbatas pada sekitar sambungan.
2. Tidak ada percikan butiran logam dari busur karena pada las ini tidak terjadi pemindahan logam pengisi (tidak berfungsi sebagai elektroda) terpisah dari elektroda sehingga busur listrik lebih stabil.

Oleh karena itu las *TIG* biasanya digunakan untuk mengelas baja-baja kualitas tinggi seperti *stainless steel*, *high speed steel* dan untuk mengelas logam-logam bukan baja.

Sumber listrik yang digunakan untuk pengelasan *TIG* dapat berupa listrik DC atau listrik

AC. Pada penggunaan listrik DC rangkaian listriknya dapat dengan polaritas lurus, dimana kutub positif dihubungkan dengan logam induk dan kutub negatif dengan batang elektroda atau rangkaian sebaliknya yang disebut polaritas balik. Skema dari kedua rangkaian ini dapat dilihat dalam gambar 2.2. berikut:

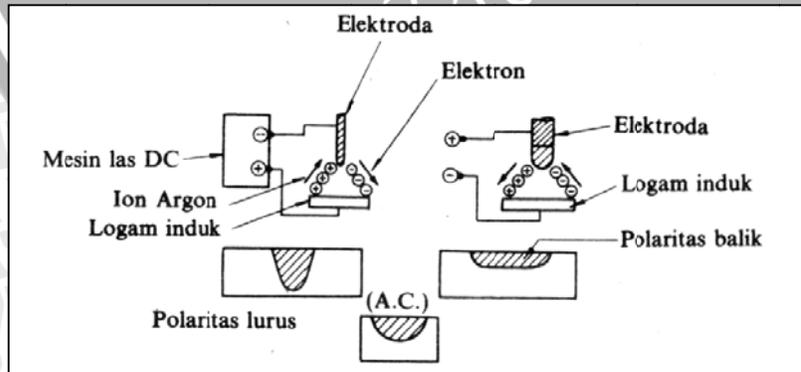


Gambar 2.2 Diagram Rangkaian Listrik Dari Mesin Las Listrik TIG DC

(a) Polaritas Lurus, DC (-) (b) Polaritas Balik, DC (+)

Sumber: Wiryosumarto, 1981: 8

Dalam polaritas lurus, elektron bergerak dari elektroda dan menumbuk logam induk dengan kecepatan yang tinggi sehingga dapat terjadi penetrasi yang dalam. Karena pada elektroda tidak terjadi tumbukan elektron maka secara relatif suhu elektroda tidak terlalu tinggi, karena itu dengan polaritas ini dapat digunakan arus yang besar. Sebaliknya dalam polaritas balik, elektroda menjadi panas sekali sehingga arus listrik yang dapat dialirkan menjadi rendah. Bila arus yang dialirkan terlalu besar maka ujung elektroda akan mencair dan merubah komposisi logam cair yang dihasilkan, dengan polaritas balik penetrasi kedalam logam induk menjadi dangkal dan lebar. Pengaruh polaritas terhadap proses pengelasan TIG dapat dilihat dalam gambar 2.3. berikut:



Gambar 2.3 Pengaruh Polaritas Pada Pengelasan TIG

Sumber: Wiryosumarto, 1981: 18

Bila dipergunakan listrik AC maka proses yang terjadi akan sama dengan menggunakan arus searah (DC) dengan polaritas lurus dan polaritas balik yang digunakan secara bergantian. Karena hal ini penggunaan arus AC, hasil pengelasan akan terletak antara hasil pengelasan dengan arus DC dengan polaritas lurus dan polaritas balik. Berdasarkan keterangan di atas, maka biasanya arus DC dengan polaritas lurus dipakai untuk pengelasan baja, *stainless steel*.

Las *TIG* dapat dilakukan dengan pengelasan manual. Elektroda yang digunakan dalam las *TIG* biasanya dibuat dari *wolfram* murni atau paduan (*tungsten*) antara *wolfram-torium* yang berbentuk batang dengan garis tengah antara 1,0 mm sampai 4,8 mm. Penggunaan logam pengisi tidak ada batasnya, biasanya logam pengisi diambil logam yang mempunyai komposisi yang sama dengan logam induk.

2.3.2. Elektroda

Bahan elektroda adalah *tungsten* murni dan paduan *tungsten*. Bahan ini tidak terkonsumsi dalam pengelasan apabila diperlukan secara benar dan hati-hati. Adapun fungsinya sebagai salah satu terminal busur nyala listrik yang menghasilkan panas untuk pencairan bahan kawat las dan bahan induk.

Titik lebur *metal tungsten* adalah 6.170 °F (3.410 °C). Pada saat *tungsten* mendekati suhu ini, sifatnya menjadi *thermionic* (sumber pemasok elektron). Suhu tersebut di atas dihasilkan melalui tahanan listrik, jika saja bukan karena pengaruh pendinginan dari penguapan elektron yang keluar dari ujung elektroda, elektroda tersebut akan mencair oleh panas yang dihasilkan dari tahanan listrik tersebut. Pada kenyataannya suhu pada ujung elektroda jauh lebih dingin daripada bagian lain dari elektroda diantara ujungnya.

2.3.3. Kebutuhan Gas Lindung

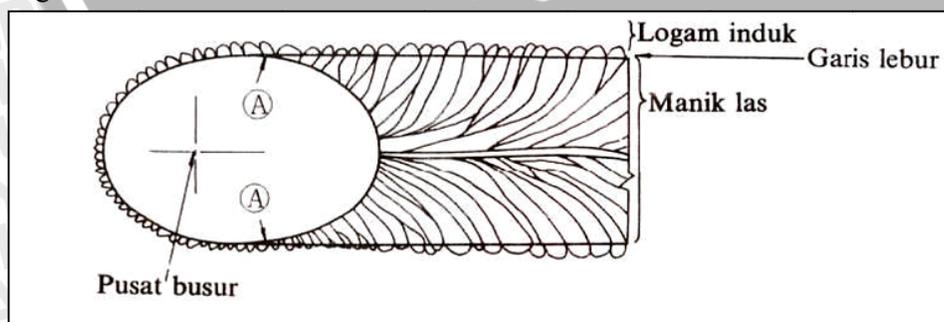
Kebutuhan gas lindung yang memerlukan penyetelan jumlah aliran gas pelindung dipengaruhi oleh tebal benda kerja dan bahan dasar benda kerja. Disamping itu, kebutuhan gas pelindung juga tergantung dari macam gas, jarak nosel dari benda kerja, posisi las, luas daerah panas, kecepatan pengelasan dan gerakan pembakaran las.

2.4. Siklus Termal Daerah Lasan

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Karena proses menggunakan energi panas maka logam di sekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal. Hal-hal ini sangat erat hubungannya dengan sifat mekanik bahan. Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam lasan adalah bagian logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk yang tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Di samping ketiga bagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las (Wiryosumarto, 1981: 56). Dalam membahas siklus termal daerah lasan hal-hal yang perlu dibahas meliputi proses pembekuan.

2.4.1. Pembekuan dan Struktur Logam Las

Proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama. Gambar 2.4. berikut ini akan menunjukkan arah pembekuan dari logam las.



Gambar 2.4 Arah Pembekuan Dari Logam Las

Sumber: Wiryosumarto, 1981: 57

2.4.2. Reaksi Metalurgi yang Terjadi Dalam Pembekuan

1) Pemisahan

Di dalam logam las terdapat tiga jenis pemisahan, yaitu pemisahan makro, pemisahan gelombang dan pemisahan mikro. Pemisahan makro adalah perubahan komponen secara perlahan-lahan yang terjadi mulai dari sekitar garis lebur menuju ke garis sumbu las, sedangkan pemisahan gelombang adalah perubahan komponen karena pembekuan yang terputus yang terjadi pada proses terbentuknya gelombang manik las. Pemisahan mikro adalah perubahan komponen yang terjadi dalam satu pilar atau dalam bagian dari satu pilar.

2) Lubang-Lubang Halus

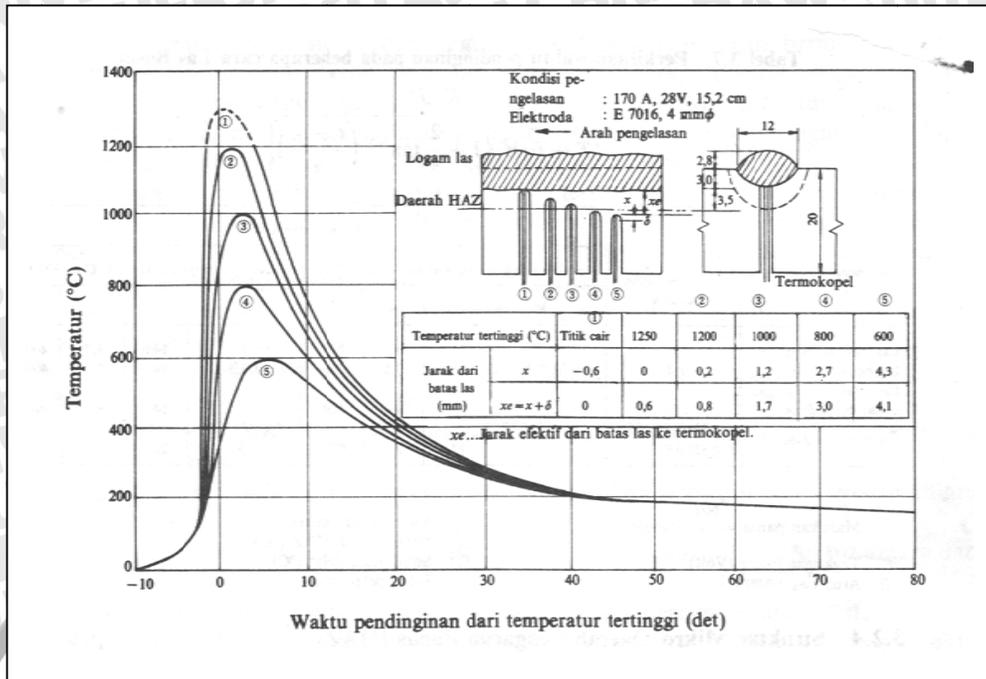
Lubang-lubang halus terjadi karena adanya gas yang tidak larut dalam logam padat. Sedangkan yang terjadi karena reaksi adalah terbentuknya gas CO dalam logam cair dan yang menyusup adalah gas-gas pelindung atau udara yang terkurung dalam akar kampuh las.

3) Proses Dioksidasi

Oksigen yang larut sangat kecil, tetapi karena tekanan disosiasi dari kebanyakan oksida sangat rendah, maka pada umumnya akan terbentuk oksida-oksida yang stabil. Untuk melepaskan oksigen dari larutan biasanya dilakukan usaha-usaha seperti menghilangkan oksida. Proses menghilangkan oksida disebut proses deoksida. Kadar oksigen dalam las *TIG* adalah 0,01 sampai 0,02% (Wirjosumarto, 1981: 58).

2.4.3. Siklus Termal Proses Pengelasan

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah *HAZ* sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800 °C sampai 500 °C. Siklus termal las dapat dilihat pada gambar 2.5. berikut:

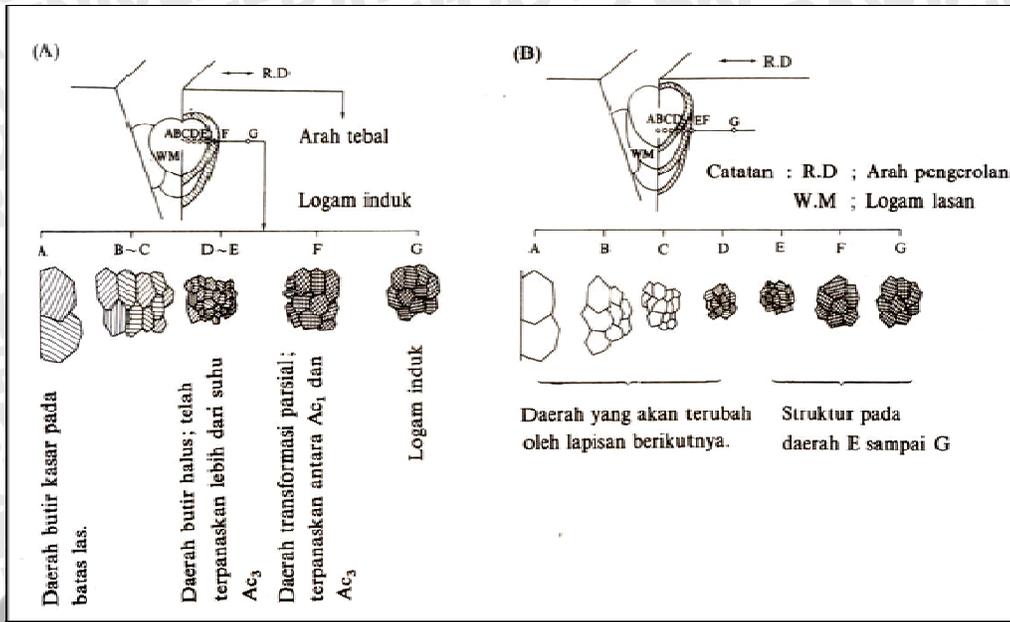


Gambar 2.5 Siklus Termal Las

Sumber: Wiryosumarto, 1981: 59

2.5. Struktur Daerah Pengaruh Panas

Struktur logam pada daerah pengaruh panas atau *HAZ* berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las, pada daerah *HAZ* yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar disebut daerah batas las. Didalam daerah pengaruh panas, besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan. Pada daerah batas las dimana butir-butirnya sangat kasar. Perubahan struktur tersebut disebabkan oleh perbedaan sifat mampu keras baja yang disebabkan karena adanya perbedaan komposisi kimia dan perbedaan kecepatan pendinginan karena panas pengelasan, pemanasan mula, tebal pelat dan sebagainya. Adapun skema struktur mikro pada daerah pengaruh panas atau *HAZ* dapat dilihat pada gambar 2.6. berikut :



Gambar 2.6 Skema Struktur Mikro Pada Daerah Pengaruh Panas Atau HAZ

Sumber: Wiryosumarto, 1981: 66

2.6. Pengaruh Kecepatan Pengelasan pada Proses 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.

Bila tegangan dan arus dibuat tetap, sedangkan kecepatan pengelasan dinaikkan maka jumlah deposit per satuan panjang las jadi menurun. Tetapi disamping itu sampai pada suatu kecepatan tertentu, kenaikan kecepatan akan memperbesar penembusan. Bila kecepatan pengelasan dinaikkan terus maka masukan panas persatuan panjang juga akan semakin kecil, sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat yang mungkin dapat memperkeras daerah HAZ.

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 (Wiryosumarto, 1981: 225).

Rumus kecepatan pengelasan:

$$v = \frac{S}{t} \left(\frac{mm}{menit} \right) \quad (2-1)$$

di mana:

v = Kecepatan pengelasan, (mm/menit)

S = Jarak pengelasan, (mm)

t = Waktu pengelasan, (menit)

Kecepatan pengelasan akan mempengaruhi masukan panas yang pada gilirannya akan berpengaruh terhadap distribusi suhu dan tegangan sisa. Hal ini jelas akan mempengaruhi struktur yang terbentuk pada *HAZ* maupun logam las sehingga berpengaruh pula pada ketangguhan las. Masukan panas didefinisikan sebagai kalor total yang dihasilkan dari proses pengelasan yang dipakai untuk mencairkan logam yang dilas (Carry, 1989: 470). Masukan panas (*heat input*) yang tinggi pada *stainless steel* akan terbentuk karbid khrom yang mengendap diantara butir. Karena adanya endapan ini akan menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya. *Heat input* dapat mengakibatkan perubahan struktur mikro daerah pengaruh panas berubah berangsur-angsur dari struktur logam induk ke struktur logam las, ukuran butir daerah pengaruh panas cenderung besar dan kasar sehingga menurunkan tegangan tariknya.

Heat input berdasarkan (ASM Handbook, 1995: 25)

$$H = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{v} \left(\frac{\text{Joule}}{\text{mm}} \right) \quad (2-2)$$

di mana:

E = Tegangan, (volt)

I = Besar arus, (*ampere*)

V = Kecepatan pengelasan, (mm/menit)

η = Efisiensi mesin

2.7. Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

2.7.1. Klasifikasi *Stainless Steel*

Stainless steel termasuk dalam baja paduan tinggi yang tahan terhadap korosi, suhu tinggi dan suhu rendah. Disamping itu juga mempunyai ketangguhan dan sifat mampu potong yang cukup. *Stainless steel* dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu jenis ferit, jenis martensit, dan jenis austenit. Untuk lebih jelas dapat dilihat dalam tabel 2.3. klasifikasi *stainless steel* dibawah ini.

Klasifikasi	Komposisi Utama (%)			Sifat mampu keras	Sifat tahan korosi	Sifat mampu tempa	Sifat mampu las	Kemagnitan.
	Cr	Ni	C					
Baja tahan karat martensit	11–15	—	$\leq 1,20$	Mengeras sendiri	kurang baik	kurang baik	tidak baik	Magnit
Baja tahan karat ferit	16–27	—	$\leq 0,35$	Tidak dapat dikeraskan	Baik	Baik	Kurang baik	Magnit
Baja tahan karat austenit	≤ 16	≤ 7	$\leq 0,25$	Tidak dapat dikeraskan	Baik sekali	Baik sekali	Baik sekali	Bukan magnit

Tabel 2.1 Klasifikasi *Stainless Steel*

Sumber: Wiryosumarto, 1981: 109

Stainless steel mempunyai sifat yang berbeda baik dengan baja karbon maupun dengan baja paduan rendah, dimana sangat mempengaruhi sifat mampu lasnya. Paduan utama dari *stainless steel* adalah Cr dan Ni dengan sedikit tambahan unsur lain seperti Mo, Cu, dan Mn.

2.7.2. Struktur *Stainless Steel*

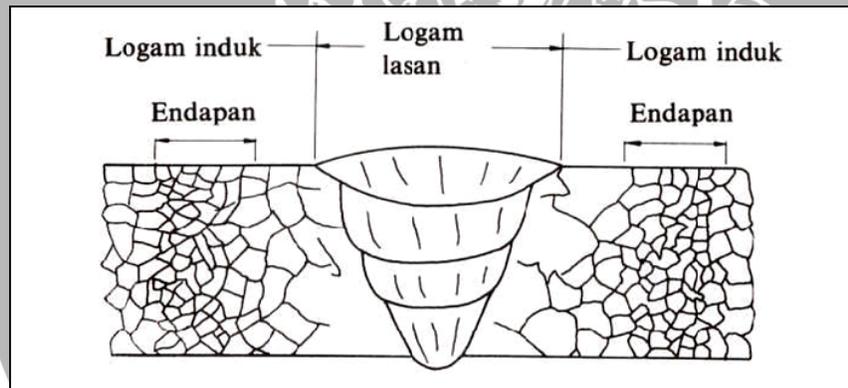
Unsur Cr yang menjadi komponen utama pada *stainless steel*. Cr dapat larut dalam besi memperluas daerah α (ferit). Dalam baja dengan 12% Cr pada temperatur di atas 900 °C terjadi fase γ (austenit), jadi fasa γ diperluas ke daerah yang mempunyai konsentrasi Cr yang lebih tinggi. *Stainless steel* 12% Cr biasa dipakai, diaustenitkan dari 900 °C sampai 1000 °C tergantung kadar C nya, dan dicelup dingin pada minyak sehingga mempunyai struktur martensit.

Baja 18% C seharusnya mempunyai fasa α dimulai dari temperatur pembekuan sampai temperatur kamar, tetapi karena sebenarnya mengandung 0,03-0,10% C dan 0,10-0,20 N, maka kira-kira di atas 930 °C terbentuk fasa γ . Oleh karena itu perlakuan panas untuk mendapat fasa α dilakukan dibawah 850°C disebut *stainless steel* ferit.

Struktur baja 18% Cr - 8% Ni adalah struktur dua fasa dari $\alpha + \gamma$ dalam kesetimbangan, tetapi kenyataannya pada kira-kira 1050 °C seluruhnya menjadi austenite dan setelah pendinginan dalam air atau dalam udara fasa γ terbentuk pada temperatur kamar sukar bertransformasi ke fasa α disebut *stainless steel* austenite (Surdia, 1999: 102).

2.7.3. Pengelasan *Austenitic Stainless Steel*

Pengelasan dengan las elektroda terbungkus, las *MIG* dan las *TIG* adalah cara yang banyak digunakan dalam pengelasan *stainless steel* pada waktu ini. *Austenitic stainless steel* merupakan material non magnetik dan tidak dapat dikeraskan pada proses perlakuan panas. Seperti pada *stainless steel* ferit, *austenitic stainless steel* hanya mampu keras pada pengerjaan dingin. *Austenitic stainless steel* lebih baik pada ketahanan korosinya, mampu bentuk dan mampu lasnya, karena itu dipakai pada berbagai industri kimia. Selain itu dipakai antara lain untuk bahan konstruksi, peralatan dapur, sudu turbin uap dan tangki penyimpanan susu. *Austenitic stainless steel* mempunyai sifat mampu bentuk las yang baik bila dibandingkan dengan kedua jenis *stainless steel* yang dipaparkan diatas. Tetapi walaupun demikian pada pendinginan lambat dari 680 °C ke 480 °C akan terbentuk karbid khrom yang mengendap diantara butir. Karena adanya endapan ini akan menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya. Gambar 2.10. menunjukkan endapan antar butir karbid khrom dari baja 18 Cr-8 Ni.



Gambar 2.7 Endapan Antar Butir Karbid Khrom Dari Baja 18 Cr-8 Ni

Sumber: Wiryosumarto, 1981: 112

2.7.4. Pengaruh Unsur yang Terkandung pada *Austenitic stainless steel*

• Carbon (C)

1. Merupakan unsur pemadu yang paling efektif, terutama dalam kombinasinya dengan unsur – unsur pemadu lainnya.
2. Merupakan pembentuk austenit dan karbida yang sangat kuat.
3. Dapat menaikkan sifat mampu dikeraskan (*hardenability*).
4. Merupakan unsur pemadu yang sangat efektif dan paling murah untuk menguatkan baja sebagai *engineering material*.

- Mangan (Mn)

1. Dapat mengikat karbon (C) membentuk karbida mangan (Mn_3C) yang dapat menaikkan kekuatan dan ketangguhan baja. Mn dapat menaikkan *hardenability*, menaikkan tingkat kesulitan pengelasan, maka Mn dapat menurunkan *weldability*.
2. Dapat memperbaiki sifat pengerjaan panas.

- Silikon (Si)

1. Merupakan bahan deoxidizer yang sangat kuat. Oleh karena itu Si juga ditambahkan kedalam elektroda atau kawat las.
2. Merupakan pembentuk ferit yang sangat kuat.
3. Untuk menguatkan baja.

- Sulfur (S)

1. Unsur S merupakan unsur yang tidak diinginkan ditinjau dari aspek las. Hal ini disebabkan karena unsur S mudah mengikat unsur Fe menjadi FeS yang memiliki titik cair lebih rendah dibandingkan titik cair baja, sehingga menimbulkan efek retak dalam keadaan panas.

- Phospor (P)

1. Kadar P yang rendah dapat menaikkan kekuatan tarik baja tetapi memberikan pengaruh tidak baik terhadap proses pembentukan dingin, karena sifatnya yang getas.

- Kromium (Cr)

1. Salah satu unsur pemuat yang sangat penting dalam baja, terutama dalam hal meningkatkan *hardenability* dan pada kadar yang tinggi dapat memberikan sifat ketahanan korosi.
2. Dapat dengan mudah membentuk karbida yang kompleks dalam baja dan merupakan pembentuk ferit yang kuat.

- Nikel (Ni)

1. Dalam jumlah sampai dengan 4% Ni dapat memperbaiki kekuatan baja tetapi sebanding dengan penurunan tingkat keuletannya.
2. Dapat meningkatkan *hardenability*.

2.8. Tegangan Tarik

Tegangan tarik adalah tegangan yang didapat dari beban maksimum dibagi oleh luas penampang mula-mula dari batang uji dinyatakan dalam (N/mm^2). Beban maksimum adalah beban terbesar yang terjadi pada waktu pengujian tarik dinyatakan dalam (N).

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \quad (2-3)$$

(Wiriyosumarto, 1981: 181)

di mana :

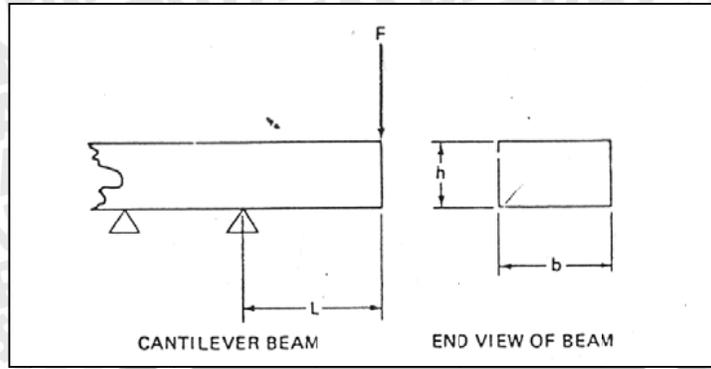
F_{maks} = Beban tarik maksimum (N)

A_0 = Luas penampang mula – mula (mm^2)

Akibat adanya gaya tarik atom-atom pada bahan akan mengalami pergeseran posisi sehingga benda akan bertambah panjang dengan kata lain bahan mengalami perubahan atau deformasi memanjang. Bahan yang kuat berarti gaya tarik menarik antar atom dari bahan tersebut kuat sehingga untuk meregangkan bahan tersebut memerlukan gaya yang lebih besar. Dan sebaliknya pada bahan yang kurang kuat untuk meregangkan bahan tersebut memerlukan gaya yang lebih kecil.

2.9. Proses *Bending*

Proses *bending* ialah merupakan suatu proses pembentukan dengan cara pembengkokan bentuk yang lurus menjadi lengkung. Proses ini sering digunakan untuk membengkokkan lembaran atau pelat menjadi tangki, drum, bentuk profil dan lain-lain. Pengujian *bending* juga sering dipergunakan untuk menentukan mampu bentuk dari pelat tipis atau kekuatan sambungan las (Surdia, 1999: 21). Pada pengujian *bending*, bagian atas spesimen akan mengalami tekanan dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Kegagalan yang terjadi akibat pengujian *bending*, material akan mengalami patah pada bagian bawah yang disebabkan karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima.



Gambar 2.8 Pengujian *Bending* Pada *Cantilever Beam*

Sumber : Eary, 1986: 70

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \tag{2-4}$$

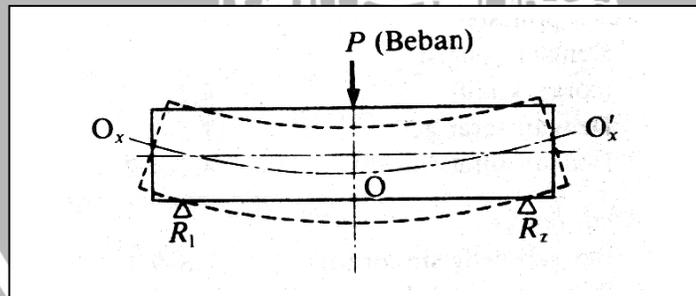
$$I = \frac{bh^3}{12} \tag{2-5}$$

$$c = \frac{h}{2} \tag{2-6}$$

$$M = FL \tag{2-7}$$

$$\sigma = \frac{FL \times h/2}{bh^3/12} \tag{2-8}$$

(Eary, 1986: 70)



Gambar 2.9 Pengujian *Bending*

Sumber : Surdia, 1999: 183

Batang uji ditumpu pada R_1 dan R_2 , beban tekuk (F) diberikan ditengah,

Tegangan tekuk maksimum (σ) pada titik nol di tengah adalah

$$\sigma = \frac{\frac{F}{2} \times \frac{L}{2} \times h/2}{bh^3/12} \quad (2-9)$$

(Eary, 1986: 70)

di mana :

F = Beban maksimum (N)

b = Lebar batang uji (mm)

h = Tebal batang uji (mm)

L = Jarak antara titik tumpu (mm)

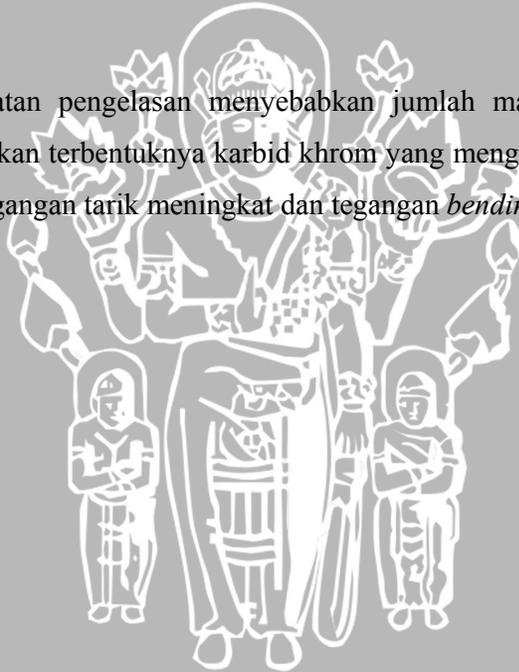
σ = Tegangan (N/mm^2)

M = Momen *bending* ($N.mm$)

I = Momen inersia (mm^4)

2.10. Hipotesis

Kenaikan kecepatan pengelasan menyebabkan jumlah masukan panas lebih rendah yang mengakibatkan terbentuknya karbid khrom yang mengendap diantara butir lebih sedikit sehingga tegangan tarik meningkat dan tegangan *bending* juga meningkat.



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 kecepatan pengelasan *TIG* pada *austenitic stainless steel* terhadap tegangan tarik dan tegangan *bending*. Kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada di perpustakaan maupun dari internet untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa tempat antara lain:

1. Departemen Teknologi Pengerjaan Logam PPPPTK/VEDC Malang tempat dilakukannya pengelasan menggunakan las *TIG*.
2. Laboratorium Proses Produksi I Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tempat pembuatan benda uji tarik dan *bending*.
3. Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tempat pengujian tegangan tarik dan tegangan *bending*.

3.2.2. Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2009 s/d Juli 2009.

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 *TIG*

Penelitian ini menggunakan las *TIG* (*GTAW*) PANA -TIG WP 300.

2. Mesin Uji Tarik dan *Bending*

Merek : Universal Tensile Test Tano Groky

Buatan : Jerman

Tahun : 1982

Yang digunakan untuk mencari nilai tegangan tarik dan tegangan *bending* spesimen akibat pengaruh kecepatan pengelasan.

3. Gergaji mesin
Digunakan untuk memotong benda uji.
4. Jangka sorong
Alat ini digunakan untuk mengukur dimensi benda uji.
5. *Stop watch*
Digunakan untuk menghitung kecepatan pengelasan.
6. Tang meter
Digunakan untuk mengukur besar tegangan (*voltase*).
7. *Digital Camera*
Digunakan untuk mengambil gambar spesimen pada saat penelitian.

3.3.2. Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *austenitic stainless steel 304* dengan kandungan komposisi sebagai berikut:

Tabel 3.1 Kandungan Unsur Kimia *Austenitic Stainless Steel 304*

Material <i>Stainless Steel Austenitic</i>	Chemical Composition, %						
	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	C
304	18.10	8.05	1.78	0.43	0.036	0.024	0.048

Sumber: Sertifikat dari Toko Badja Karya Surabaya

3.4. Variabel Penelitian

3.4.1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Besar variabel bebas divariasikan untuk untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah kecepatan pengelasan yaitu 34 mm/men, 40 mm/men, 48 mm/men, 60 mm/men, 80 mm/men.

3.4.2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini adalah tegangan tarik dan tegangan *bending*.

3.4.3. Variabel Terkontrol

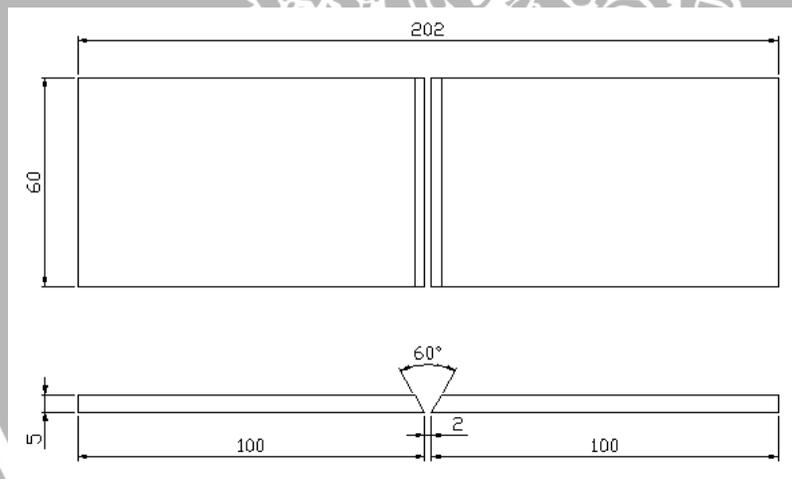
Variabel terkontrol merupakan variabel yang besarnya selalu dijaga untuk mendukung penelitian. Adapun variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:

- Diameter elektroda 2,6 mm.
- Aliran gas argon 5 liter/menit.
- *Filler metal* ER 308L, diameter *filler rod* 2,6 mm.
- Jenis sambungan yang digunakan adalah bentuk V tunggal.
- Posisi pengelasan *flat position*.
- Besar arus yang digunakan adalah 100 A.
- Tegangan yang digunakan adalah 13 Volt

3.5. Prosedur Penelitian

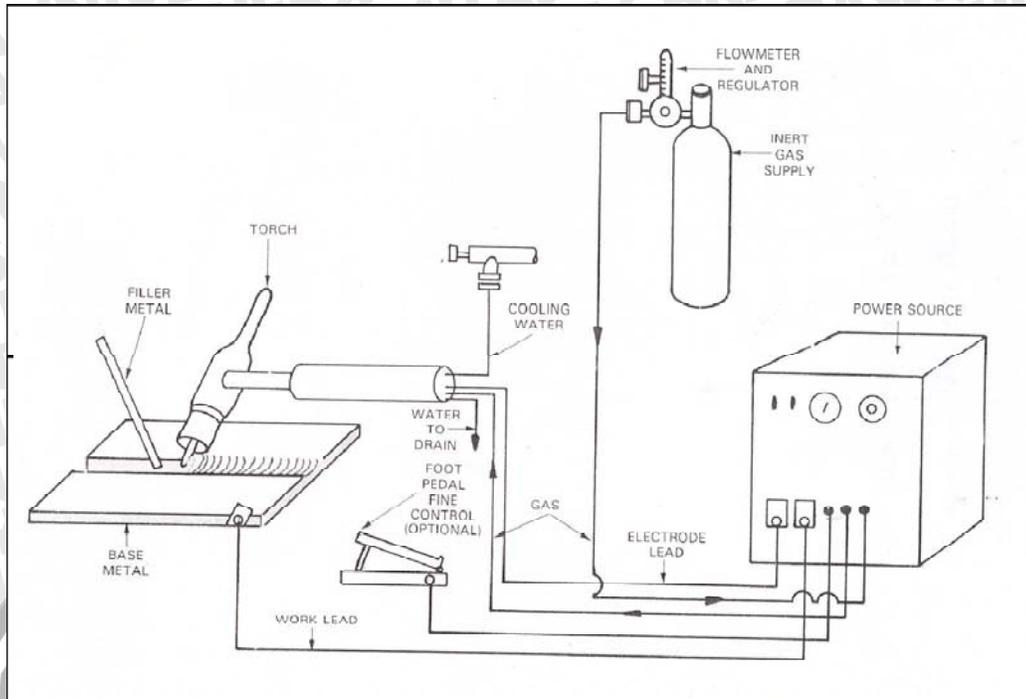
Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Pembuatan benda kerja yang akan dilas, material dipotong dengan ukuran 100 mm x 60 mm.



Gambar 3.1 Dimensi Benda Kerja Las

2. Pembentukan spesimen benda kerja dengan bentuk V tunggal.
3. Penyiapan benda kerja dan alat ukur seperti stop watch, tang *ampere*.
4. Pengelasan benda kerja dengan menggunakan mesin las *TIG*.

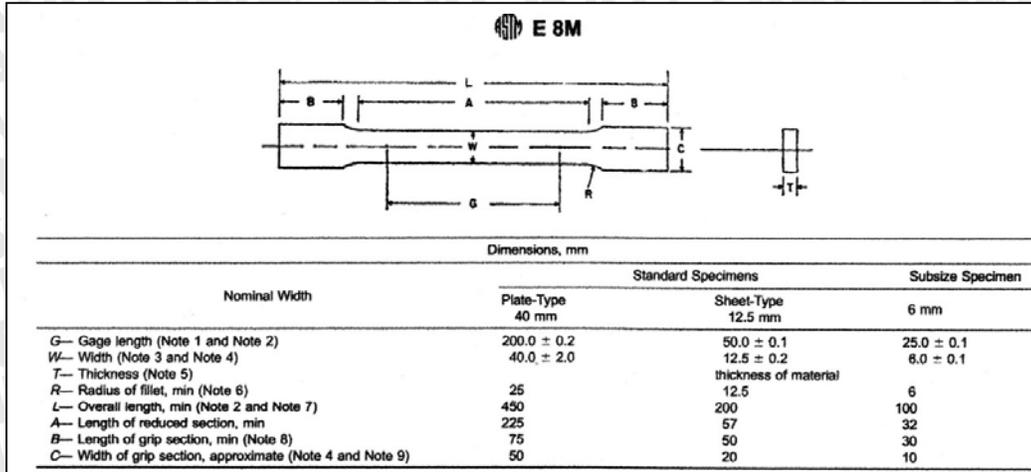


Gambar 3.2 Instalasi Tungsten Inert Gas

Sumber: Bowditch, 1984: 288

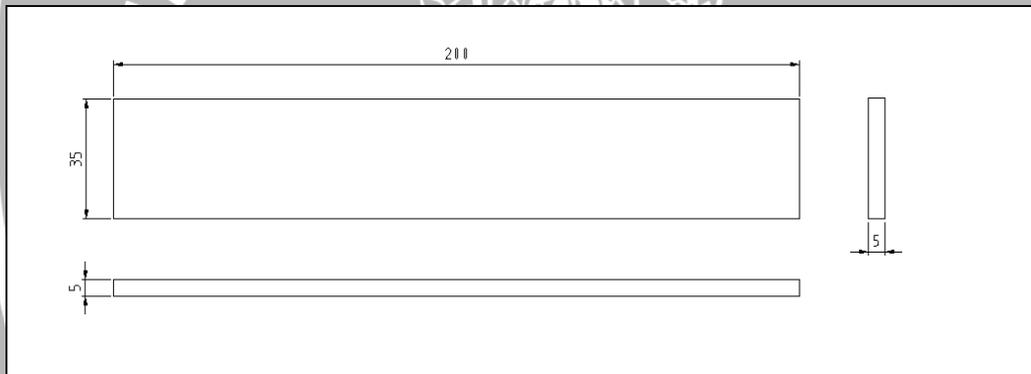
5. Menentukan besar masukan arus yang digunakan berdasarkan prosedur *welding of stainless steel* dengan ketebalan material 5 mm, arus yang akan digunakan yaitu 100 A.
6. Pada saat penggunaan masukan arus digunakan pada mesin las TIG, alat ukur tang amper digunakan untuk mengukur besarnya tegangannya.
7. Kemudian mencatat waktu yang dibutuhkan untuk pengelasan setiap satu benda uji, dengan menggunakan *stopwatch*.
8. Pendinginan pada media udara.
9. Bentuk benda uji tarik berdasarkan standar ASTM E8
10. Bentuk benda uji *bending* berdasarkan standar ASTM E190.
11. Pengujian tegangan tarik dengan benda kerja sebanyak 15 spesimen.
12. Pengujian tegangan *bending* dengan benda kerja sebanyak 15 spesimen.
13. Pengambilan data dan pengujian hipotesa.
14. Kesimpulan dan saran.

3.6. Dimensi Benda Uji Tarik dan *Bending*



Gambar 3.3 Bentuk Benda Uji Tarik Standar ASTM E8

Sumber: Part 10, Annual Book Of ASTM Standards: 208



Gambar 3.4 Bentuk Benda Uji *Bending* Standar ASTM E190

Sumber: Part 10, Annual Book Of ASTM Standards: 412

3.7. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian digunakan untuk mencari pengaruh dari satu faktor yaitu pengaruh kecepatan pengelasan *TIG* terhadap tegangan tarik dan tegangan *bending* pada *austenitic stainless steel*.

3.7.1. Analisis Statistik

Pengolahan data untuk analisis statistik digunakan analisa varian satu arah. Dari analisa varian satu arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh kecepatan pengelasan *TIG* terhadap tegangan tarik dan tegangan *bending* pada *austenitic stainless steel*.

Sumber: Pengantar Statistika, Walpole: 383

Tabel 3.2 Tabel Rancangan Penelitian Pengujian Tarik

Pengulangan	Pengaruh Kecepatan Pengelasan (mm/menit)				
	34	40	48	60	80
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}
3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}
Jumlah	ΣX_{i1}	ΣX_{i2}	ΣX_{i3}	ΣX_{i4}	ΣX_{i5}
Nilai rata-rata	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4	\bar{X}_5

Keterangan:

X = Data hasil pengujian tarik

Perhitungan statistik dari tabel diatas:

- Tegangan tarik rata-rata

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

- Standar deviasi (σ)

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

- Standar deviasi rata-rata

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

- Interval penduga rata-rata tegangan tarik

Derajat bebas (db) = n-1

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

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

Sumber: Pengantar Statistika, Walpole: 242

Tabel 3.3 Tabel Rancangan Penelitian Pengujian *Bending*

Pengulangan	Pengaruh Kecepatan Pengelasan (mm/menit)				
	34	40	48	60	80
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}
3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}
Jumlah	ΣX_{i1}	ΣX_{i2}	ΣX_{i3}	ΣX_{i4}	ΣX_{i5}
Nilai rata-rata	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4	\bar{X}_5



Keterangan:

X = Data hasil pengujian *bending*

Perhitungan statistik dari tabel diatas:

- Tegangan *bending* rata-rata

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

- Standar deviasi (σ)

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

- Standar deviasi rata-rata

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

- Interval penduga rata-rata tegangan *bending*

Derajat bebas (db) = n-1

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

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

Sumber: Pengantar Statistika, Walpole: 242

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

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

2. Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan

$$\sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2$$

3. Faktor Koreksi (FK)

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

4. Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK$$

5. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k [\sum_{n=1}^n Y_{ij}]^2}{ni} - FK$$

6. Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

7. Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{K - 1}$$

8. Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{k(n - 1)}$$

9. F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$$

Ada tidaknya pengaruh kecepatan pengelasan dengan pengelasan *TIG* terhadap tegangan tarik dan tegangan *bending* pada *austenitic stainless steel* dapat diuji melalui metode uji F dengan jalan mencari besar F_{hitung} dari rumusan:

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$$

Tabel 3.4 Format Tabel Hasil Analisa Varian Satu Arah

Sumber keragaman	Derajat bebas (db)	Jumlah Kuadrat	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	JKP		
Galat	k(n-1)	JKG		
Total		JKT		

Sumber: Pengantar Statistika, Walpole: 387

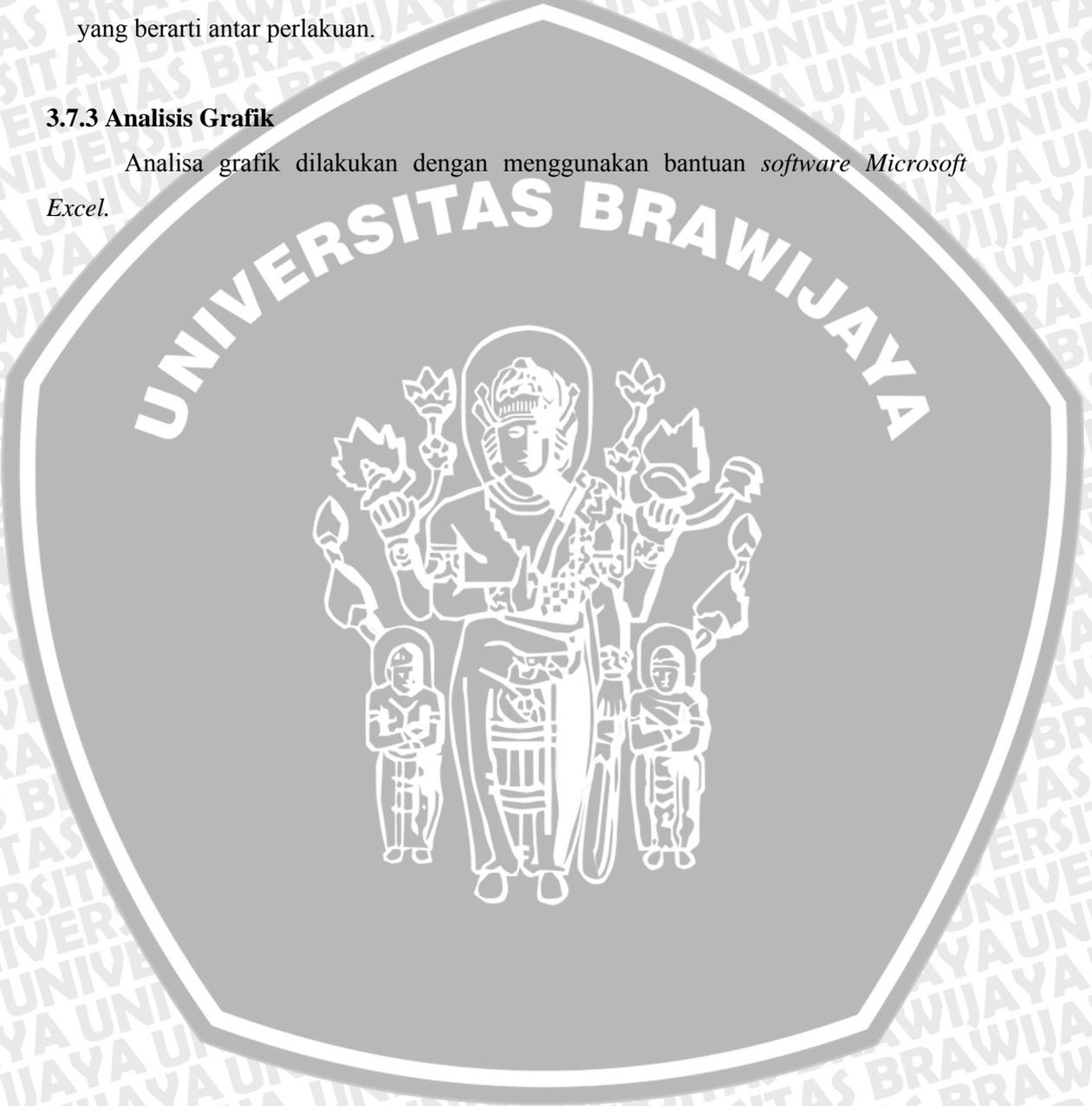


Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan dengan cara membandingkan F_{hitung} dan F_{tabel} , sehingga:

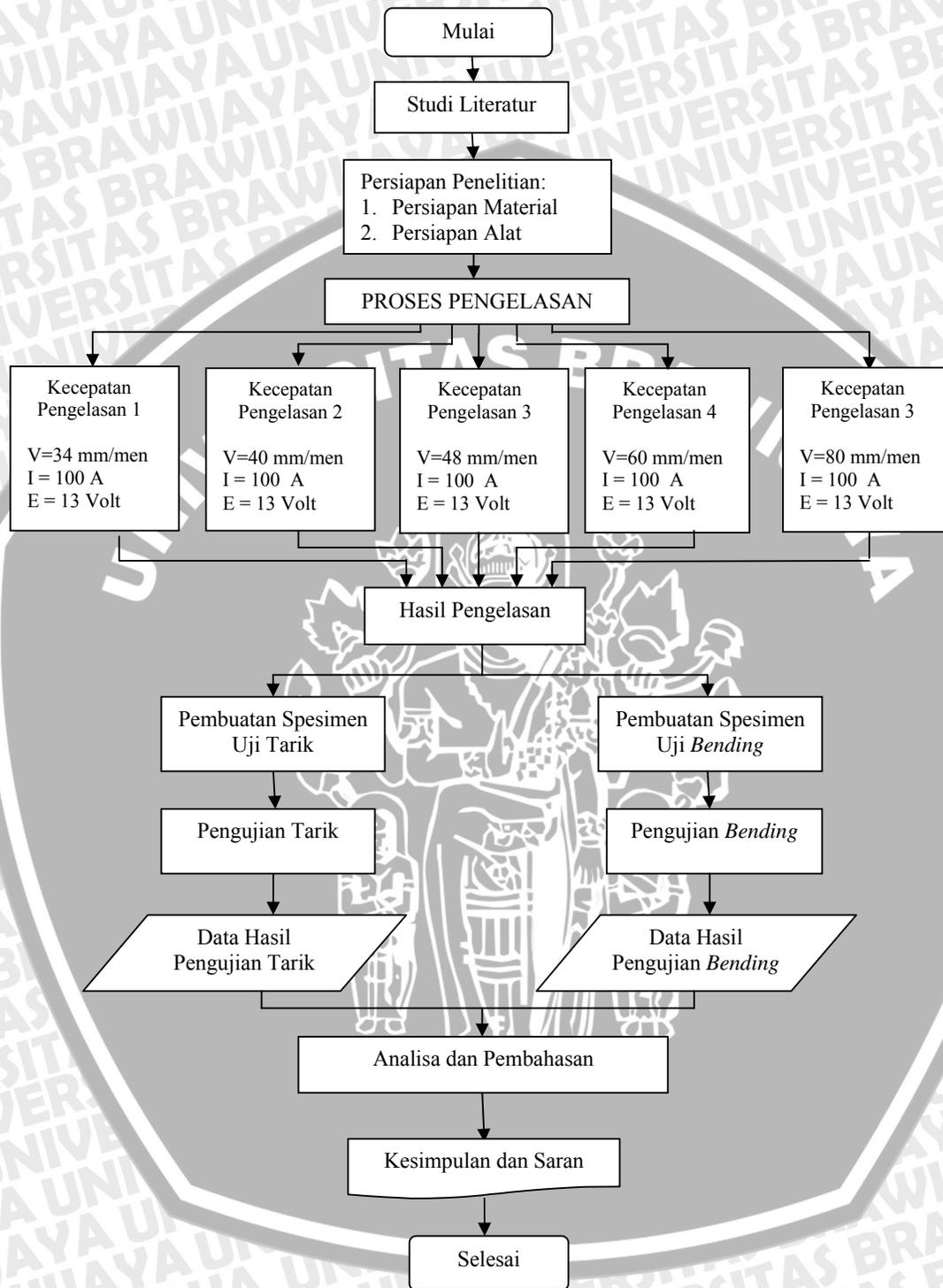
1. Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ artinya H_0 ditolak, ini menyatakan bahwa ada pengaruh yang berarti antar perlakuan.
2. Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ artinya H_0 diterima, ini menyatakan bahwa tidak ada pengaruh yang berarti antar perlakuan.

3.7.3 Analisis Grafik

Analisa grafik dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Microsoft Excel*.



3.8. Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Pengujian

Setelah dilakukan proses pengelasan dengan mesin las *TIG*, selanjutnya dilakukan perhitungan berdasarkan data yang diperoleh dari hasil proses pengelasan *TIG* yaitu kecepatan pengelasan.

Tabel 4.1 Data Kecepatan Pengelasan Dengan *TIG*

	Jarak	Waktu Layer 1	Kecepatan Layer 1	Waktu Layer 2	Kecepatan Layer 2	Waktu Layer 3	Kecepatan Layer 3
Perlakuan	mm	menit	(mm/menit)	menit	(mm/menit)	menit	(mm/menit)
	60	1,755	34,195	1,780	33,711		
	60	1,767	33,949	1,755	34,182		
	60	1,754	34,204	1,743	34,430		
Σ			102,348		102,323		
Rata-rata			34,116		34,108		
	60	1,502	39,947	1,506	39,836		
	60	1,503	39,929	1,505	39,858		
	60	1,485	40,418	1,497	40,076		
Σ			120,293		119,770		
Rata-rata			40,098		39,923		
	60	1,234	48,609	1,252	47,923		
	60	1,254	47,860	1,252	47,911		
	60	1,245	48,206	1,248	48,071		
Σ			144,675		143,904		
Rata-rata			48,225		47,968		
	60	1,008	59,534	0,980	61,214	0,995	60,332
	60	0,973	61,697	1,004	59,761	0,986	60,883
	60	1,005	59,682	1,002	59,880	1,004	59,791
Σ			180,912		180,855		181,005
Rata-rata			60,304		60,285		60,335
	60	0,746	80,393	0,753	79,717	0,755	79,453
	60	0,738	81,356	0,756	79,400	0,753	79,734
	60	0,760	78,913	0,748	80,196	0,740	81,118
Σ			240,662		239,313		240,304
Rata-rata			80,221		79,771		80,101

4.1.1. Data Hasil Pengujian Tegangan Tarik

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Tegangan Tarik

Kecepatan Pengelasan (mm/menit)	Perlakuan	Beban max (KN)	Tegangan Tarik Max (N/mm ²)
34	1	38,3	612,8
	2	38,2	611,2
	3	38,3	612,8
	∑	114,8	1836,8
	Nilai rata-rata	38,3	612,3
40	1	38,9	622,4
	2	39,1	625,6
	3	39	624
	∑	117	1872
	Nilai rata-rata	39	624
48	1	40,8	652,8
	2	41	656
	3	40,9	654,4
	∑	122,7	1963,2
	Nilai rata-rata	40,9	654,4
60	1	41,6	665,6
	2	41,2	659,2
	3	41,4	662,4
	∑	124,2	1987,2
	Nilai rata-rata	41,4	662,4
80	1	42,6	681,6
	2	42	672
	3	42	672
	∑	126,6	2025,6
	Nilai rata-rata	42,2	675,2

Luas penampang (A_0) = 62,5 mm²

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A_0} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

4.1.2. Data Hasil Pengujian Tegangan *Bending*

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Tegangan *Bending*

Kecepatan Pengelasan (mm/menit)	Perlakuan	Beban max (KN)	Tegangan <i>Bending</i> Max (N/mm ²)
34	1	6,3	1101,601
	2	6,2	1084,115
	3	6,3	1101,601
	Σ	18,8	3287,317
	Nilai rata-rata	6,27	1095,772
40	1	6,8	1189,030
	2	6,6	1154,058
	3	6,7	1171,544
	Σ	20,1	3514,632
	Nilai rata-rata	6,7	1171,544
48	1	7	1224,001
	2	7,2	1258,973
	3	7,1	1241,487
	Σ	21,3	3724,461
	Nilai rata-rata	7,1	1241,487
60	1	7,7	1346,401
	2	7,5	1311,430
	3	7,6	1328,916
	Σ	22,8	3986,747
	Nilai rata-rata	7,6	1328,916
80	1	8,3	1451,316
	2	8,1	1416,344
	3	8,2	1433,830
	Σ	24,6	4301,490
	Nilai rata-rata	8,2	1433,830

b = Lebar batang uji = 35 mm

h = Tebal batang uji = 5 mm

L = Jarak antara titik tumpu = 102 mm

$$\sigma = \frac{\frac{F}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{h}{2}}{bh^3/12} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

4.2. Pengolahan Data

4.2.1. Analisis Statistik Tegangan Tarik

Interval penduga rata-rata dibuat untuk melihat apakah data pengulangan adalah seragam. Contoh analisa statistik untuk kecepatan pengelasan 80 mm/menit.

- Tegangan tarik rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{2025,6}{3} \\ &= 675,2\end{aligned}$$

- Standar deviasi (σ)

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{61,44}{2}} \\ &= 5,543\end{aligned}$$

- Standar deviasi rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{\sigma} &= \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{5,543}{\sqrt{3}} \\ &= 3,200\end{aligned}$$

- Interval penduga rata-rata tegangan tarik

$$\begin{aligned}\text{Derajat bebas (db)} &= n-1 \\ &= 3-1 \\ &= 2\end{aligned}$$

Dari tabel T dengan $\alpha = 5\%$ maka $t(\alpha/2; db) = (0,025; 2) = 4,303$

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

$$675,2 - (4,303 \cdot 3,200) < \mu < 675,2 + (4,303 \cdot 3,200)$$

$$661,430 < \mu < 688,970$$

Jadi jumlah tegangan tarik akibat pengaruh kecepatan pengelasan sebesar 80 mm/menit berkisar antara $661,430 < \mu < 688,970$ dengan tingkat keyakinan 95 %.

Dengan cara yang sama maka hasil interval penduga rata-rata jumlah tegangan tarik akibat pengaruh kecepatan pengelasan yang lain dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.4. Interval Penduga Rata-Rata Tegangan Tarik

Kecepatan pengelasan	Tegangan tarik rata-rata	Standar deviasi	Standar deviasi rata-rata	Interval penduga rata-rata tegangan tarik
34	612,3	0,924	0,533	$609,972 < \mu < 614,562$
40	624	1,600	0,924	$620,025 < \mu < 627,975$
48	654,4	1,600	0,924	$650,425 < \mu < 658,375$
60	662,4	3,200	1,848	$654,450 < \mu < 670,350$
80	675,2	5,543	3,200	$661,430 < \mu < 688,970$

4.2.2. Analisis Varian Satu Arah

Analisa varian satu arah digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi kecepatan pengelasan terhadap tegangan tarik. Harga variabel terikat dianggap sebagai u_1, u_2, u_3, u_4 dan u_5 . Sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

$H_0 : u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$ tidak ada pengaruh nyata variasi kecepatan pengelasan terhadap tegangan tarik *austenitic stainless steel*.

$H_1 : u_1 \neq u_2 \neq u_3 \neq u_4 \neq u_5$ ada pengaruh nyata variasi kecepatan pengelasan terhadap tegangan tarik *austenitic stainless steel*.

Tabel 4.5 Data Analisis Varian Satu Arah

Pengaruh kecepatan pengelasan terhadap tegangan tarik			
Kecepatan Pengelasan (mm/menit)	Perlakuan	Tegangan tarik	
		X	X ²
34	1	612,8	375523,84
	2	611,2	373565,44
	3	612,8	375523,84
Σ		1836,8	1124613,12
40	1	622,4	387381,76
	2	625,6	391375,36
	3	624	389376
Σ		1872	1168133,12
48	1	652,8	426147,84
	2	656	430336
	3	654,4	428239,36
Σ		1963,2	1284723,2
60	1	665,6	443023,36
	2	659,2	434544,64
	3	662,4	438773,76
Σ		1987,2	1316341,76
80	1	681,6	464578,56
	2	672	451584
	3	672	451584
Σ		2025,6	1367746,56

Rumus-rumus yang digunakan dalam analisa varian satu arah:

1. Jumlah Seluruh Perlakuan

$$\sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} = 1836,8 + 1872 + 1963,2 + 1987,2 + 2025,6 = 9684,8$$

2. Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 &= 1124613,12 + 1168133,12 + 1284723,2 + 1316341,76 + \\ &1367746,56 \\ &= 6261557,760 \end{aligned}$$

3. Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned} FK &= \frac{[\sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}]^2}{\sum ni} \\ &= \frac{(9684,8)^2}{3 \times 5} \\ &= 6253023,403 \end{aligned}$$

4. Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK \\ &= 6261557,760 - 6253023,403 = 8534,357 \end{aligned}$$

5. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned} JKP &= \frac{\sum_{j=1}^k [\sum_{n=1}^n Y_{ij}]^2}{ni} - FK \\ &= \left[\frac{(1836,8)^2}{3} + \frac{(1872)^2}{3} + \frac{(1963,2)^2}{3} + \frac{(1987,2)^2}{3} + \frac{(2025,6)^2}{3} \right] - [6253023,403] \\ &= 8440,491 \end{aligned}$$

6. Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$\begin{aligned} JKG &= JKT - JKP \\ &= 8534,357 - 8440,491 \\ &= 93,867 \end{aligned}$$

7. Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} = \frac{8440,491}{5-1} = 2110,123$$

8. Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{k(n-1)} = \frac{93,867}{5(3-1)} = 9,387$$

9. F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{2110,123}{9,387} = 224,8$$

Kriteria pengujian (uji satu arah)

$$\alpha = 0,05 ; k = 5 ; n = 3$$

$$v_1 = k - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$v_2 = k(n - 1) = 5(3 - 1) = 10$$

$$F_{tabel}(0,05;4;10) = 3,48 \text{ (tabel F)}$$

Tabel 4.6 Rancangan Analisis Varian Satu Arah

Sumber keragaman	(db)	JK	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	8440,491	2110,123	224,8	3,48
Galat	10	93,867	9,387		
Total	14	8534,357			

Berdasarkan hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh kecepatan pengelasan *TIG* pada pengelasan *austenitic stainless steel* terhadap tegangan tarik dengan tingkat keyakinan 95 %.

4.2.3. Analisis Statistik Tegangan Bending

Interval penduga rata-rata dibuat untuk melihat apakah data pengulangan adalah seragam. Contoh analisa statistik untuk kecepatan pengelasan 80 mm/menit.

- Tegangan *bending* rata-rata

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{4301,490}{3} \\ &= 1433,830 \end{aligned}$$

- Standar deviasi (σ)

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{611,502}{2}} \\ &= 17,486 \end{aligned}$$

- Standar deviasi rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{\sigma} &= \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{17,486}{\sqrt{3}} \\ &= 10,095\end{aligned}$$

- Interval penduga rata-rata tegangan *bending*

$$\begin{aligned}\text{Derajat bebas (db)} &= n-1 \\ &= 3-1 \\ &= 2\end{aligned}$$

Dari tabel T dengan $\alpha = 5\%$ maka $t(\alpha/2; db) = (0,025; 2) = 4,303$

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

$$1433,830 - (4,303 \cdot 10,095) < \mu < 1433,830 + (4,303 \cdot 10,095)$$

$$1390,389 < \mu < 1477,270$$

Jadi jumlah tegangan *bending* akibat pengaruh kecepatan pengelasan sebesar 80 mm/menit berkisar antara $1390,389 < \mu < 1477,270$ dengan tingkat keyakinan 95 %.

Dengan cara yang sama maka hasil interval penduga rata-rata jumlah tegangan *bending* akibat pengaruh kecepatan pengelasan yang lain dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.7. Interval Penduga Rata-Rata Tegangan *Bending*

Kecepatan pengelasan	Tegangan <i>bending</i> rata-rata	Standar deviasi	Standar deviasi rata-rata	Interval penduga rata-rata tegangan <i>bending</i>
34	1095,772	10,095	5,829	$1070,692 < \mu < 1120,853$
40	1171,544	17,486	10,095	$1128,103 < \mu < 1214,984$
48	1241,487	17,486	10,095	$1198,046 < \mu < 1284,927$
60	1328,916	17,486	10,095	$1285,475 < \mu < 1372,356$
80	1433,830	17,486	10,095	$1390,389 < \mu < 1477,270$

4.2.2. Analisis Varian Satu Arah

Analisa varian satu arah digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi kecepatan pengelasan terhadap tegangan *bending*. Harga variabel terikat dianggap sebagai u_1, u_2, u_3, u_4 dan u_5 . Sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

$H_0 : u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$ tidak ada pengaruh nyata variasi kecepatan pengelasan terhadap tegangan *bending* pada *austenitic stainless steel*.

$H_1 : u_1 \neq u_2 \neq u_3 \neq u_4 \neq u_5$ ada pengaruh nyata variasi kecepatan pengelasan terhadap tegangan *bending* pada *austenitic stainless steel*.

Tabel 4.8 Data Analisis Varian Satu Arah

Pengaruh kecepatan pengelasan terhadap tegangan <i>bending</i>			
Kecepatan Pengelasan (mm/menit)	Perlakuan	Tegangan <i>bending</i>	
		X	X ²
34	1	1101,601	1213524,763
	2	1084,115	1175305,333
	3	1101,601	1213524,763
Σ		3287,317	3602354,860
40	1	1189,030	1413792,341
	2	1154,058	1331849,867
	3	1171,544	1372515,344
Σ		3514,632	4118157,552
48	1	1224,001	1498178,448
	2	1258,973	1585013,015
	3	1241,487	1541289,971
Σ		3724,461	4624481,434
60	1	1346,401	1812795,653
	2	1311,430	1719848,645
	3	1328,916	1766017,735
Σ		3986,747	5298662,033
80	1	1451,316	2106318,132
	2	1416,344	2006030,326
	3	1433,830	2055868,469
Σ		4301,490	6168216,927

Rumus-rumus yang digunakan dalam analisa varian satu arah:

1. Jumlah Seluruh Perlakuan

$$\sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} = 3287,317 + 3514,632 + 3724,461 + 3986,747 + 4301,490$$

$$= 18814,647$$

2. Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan

$$\sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 = 3602354,860 + 4118157,552 + 4624481,434 + 5298662,033 +$$

$$6168216,927$$

$$= 23811872,806$$

3. Faktor Koreksi (FK)

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

$$= \frac{(18814,647)^2}{3 \times 5}$$

$$= 23599396,116$$

4. Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK$$

$$= 23811872,806 - 23599396,116 = 212476,690$$

5. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k [\sum_{n=1}^n Y_{ij}]^2}{ni} - FK$$

$$= \left[\frac{(3287,317)^2}{3} + \frac{(3514,632)^2}{3} + \frac{(3724,461)^2}{3} + \frac{(3986,747)^2}{3} + \frac{(4301,490)^2}{3} \right] - [23599396,116]$$

$$= 209826,803$$

6. Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 212476,690 - 209826,803$$

$$= 2649,887$$

7. Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} = \frac{209826,803}{5-1} = 52456,701$$

8. Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{k(k-1)} = \frac{2649,887}{5(3-1)} = 264,989$$

9. F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{52456,701}{264,989} = 197,958$$

Kriteria pengujian (uji satu arah)

$$\alpha = 0,05 ; k = 5 ; n = 3$$

$$v_1 = k-1 = 5-1 = 4$$

$$v_2 = k(n-1) = 5(3-1) = 10$$

$$F_{tabel}(0,05;4;10) = 3,48 \text{ (tabel F)}$$

Tabel 4.9 Rancangan Analisis Varian Satu Arah

Sumber keragaman	(db)	JK	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	4	23811872,806	52456,701	197,958	3,48
Galat	10	2649,887	264,989		
Total	14	212476,690			

Berdasarkan hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh kecepatan pengelasan menggunakan las TIG pada pengelasan *austenitic stainless steel* terhadap tegangan *bending* dengan tingkat keyakinan 95 %.



4.3. Pembahasan

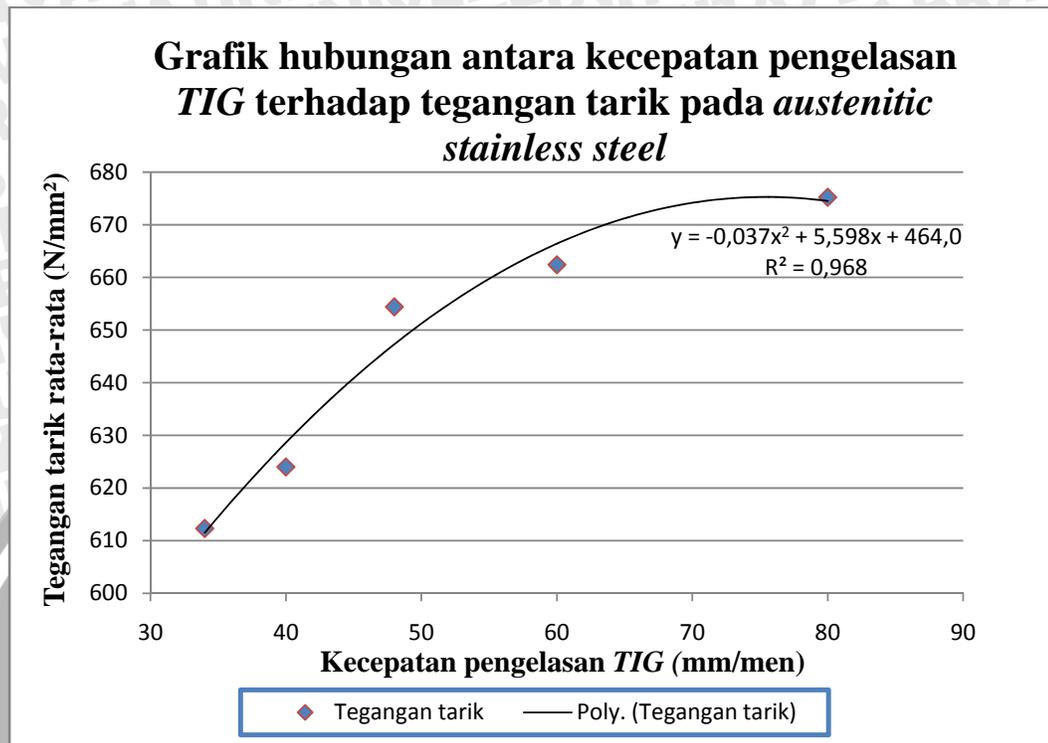
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Departemen Teknologi Pengerjaan Logam PPPPTK/VEDC Malang mengenai pengaruh kecepatan pengelasan pada pengelasan *austenitic stainless steel* dengan *TIG* terhadap tegangan tarik. Maka didapat data mengenai besarnya kecepatan pengelasan yang terjadi yaitu: 34 mm/men, 40 mm/men, 48 mm/men, 60 mm/men, 80 mm/men.

Berdasarkan data tersebut selanjutnya dilakukan penelitian tegangan tarik di Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Data pengaruh kecepatan pengelasan *TIG* terhadap tegangan tarik *austenitic stainless steel* yaitu: kecepatan pengelasan 34 mm/men dengan tegangan tarik maksimum rata-rata 612,3 N/mm², kecepatan pengelasan 40 mm/men dengan tegangan tarik maksimum rata-rata 624 N/mm², kecepatan pengelasan 48 mm/men dengan tegangan tarik maksimum rata-rata 654,4 N/mm², kecepatan pengelasan 60 mm/men dengan tegangan tarik maksimum rata-rata 662,4 N/mm², kecepatan pengelasan 80 mm/men dengan tegangan tarik maksimum rata-rata 675,2 N/mm².

Interval penduga tegangan tarik maksimum rata-rata dari masing-masing kecepatan pengelasan *TIG* adalah sebagai berikut: kecepatan pengelasan 34 mm/men, jumlah tegangan tarik yang terjadi antara 609,972 N/mm² s/d 614,562 N/mm², kecepatan pengelasan 40 mm/men, jumlah tegangan tarik yang terjadi antara 620,025 N/mm² s/d 627,975 N/mm², kecepatan pengelasan 48 mm/men, jumlah tegangan tarik yang terjadi antara 650,425 N/mm² s/d 658,375 N/mm², kecepatan pengelasan 60 mm/men, jumlah tegangan tarik yang terjadi antara 654,450 N/mm² s/d 670,350 N/mm², kecepatan pengelasan 80 mm/men, jumlah tegangan tarik yang terjadi antara 661,430 N/mm² s/d 688,970 N/mm². Analisis ini menggunakan derajat kesalahan 5 % yang berarti tingkat keyakinan adalah 95 %.

Metode analisa varian satu arah digunakan untuk mengolah data yang telah diperoleh untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kecepatan pengelasan pada pengelasan *austenitic stainless steel* dengan *TIG* terhadap tegangan tarik. Berdasarkan analisa varian satu arah diperoleh bahwa nilai F_{hitung} lebih besar daripada nilai F_{tabel} yang berarti hipotesis yang menyatakan bahwa ada pengaruh secara nyata perubahan kecepatan pengelasan *TIG* terhadap tegangan tarik *austenitic stainless steel* diterima dengan tingkat keyakinan 95 %.

Hubungan antara kecepatan pengelasan dengan pengelasan *TIG* terhadap tegangan tarik *austenitic stainless steel* dapat ditunjukkan dengan grafik pada gambar 4.1. berikut:



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Pengelasan Dengan Tegangan Tarik Pada *Austenitic Stainless Steel*.

Grafik menunjukkan kecenderungan mengalami kenaikan tegangan tarik maksimum rata-rata dengan meningkatnya kecepatan pengelasan. Kecepatan pengelasan sangat berhubungan dengan masukan panas (*heat input*). Semakin rendahnya kecepatan pengelasan maka masukan panas (*heat input*) mengalami kenaikan. Begitu pula sebaliknya, semakin meningkatnya kecepatan pengelasan maka masukan panas (*heat input*) mengalami penurunan. Kenaikan masukan panas menyebabkan temperatur pengelasan mengalami kenaikan juga, dalam hal ini semakin tinggi masukan panas maka semakin tinggi juga temperatur pengelasan pada material.

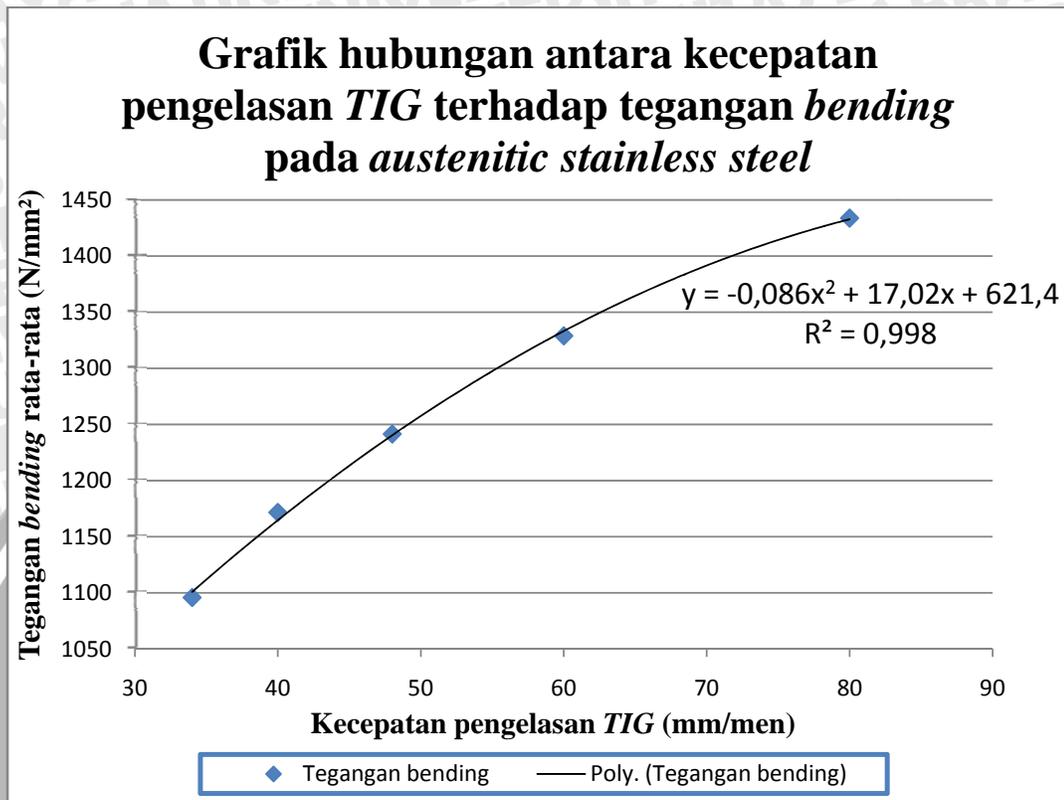
Siklus termal proses pengelasan adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Dengan pemberian panas pada suatu logam, logam mula-mula berada pada temperatur ruang, temperturnya akan naik hingga mencapai temperatur dimana logam mencair dan kemudian turun kembali ke temperatur semula. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal yang sangat mempengaruhi kualitas sambungan las.

Pendinginan yang lambat terjadi karena kecepatan pengelasan yang rendah. Kecepatan pengelasan yang rendah menyebabkan masukan panas (*heat input*) yang diterima material mengalami kenaikan yang menyebabkan daerah HAZ melebar. Pendinginan lambat dari logam ke temperatur kamar setelah pengelasan akan mengakibatkan karbon bergabung dengan kromium membentuk karbid khrom dalam pendinginan lambat dari 680 °C ke 480 °C, karbid khrom ini kemudian mengendap di batas-batas butir. Laju pendinginan yang semakin rendah berdampak pada perubahan struktur mikro dan sifat mekanik daerah las serta daerah pengaruh panas.

Akibat kecepatan pengelasan menurun maka temperatur pengelasan akan meningkat mengakibatkan karbon bergabung dengan kromium membentuk karbid khrom. Karbid khrom ini kemudian mengendap di batas-batas butir karena adanya endapan ini akan menyebabkan penurunan tegangan tarik sehingga daya tahan material terhadap beban akan turun dan kurang bagus untuk pertimbangan konstruksi.



Hubungan antara kecepatan pengelasan *TIG* terhadap tegangan *bending* pada *austenitic stainless steel* ditunjukkan dengan grafik pada gambar 4.2. berikut:

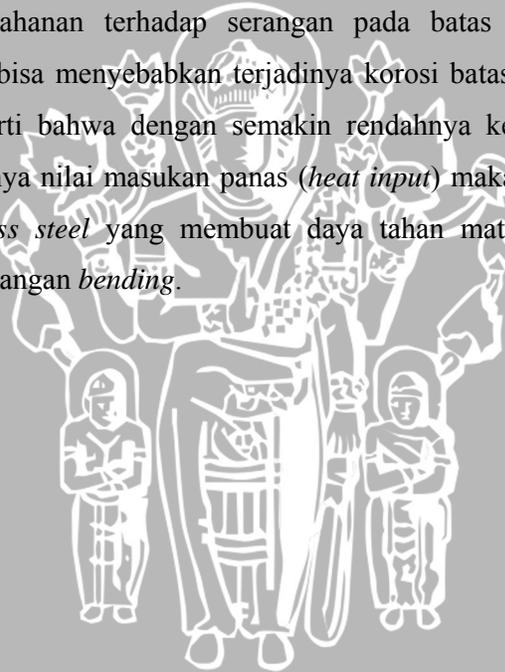


Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Pengelasan Dengan Tegangan *Bending* Pada *Austenitic Stainless Steel*.

Dari data-data penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa nilai tegangan *bending* meningkat dengan semakin naiknya kecepatan pengelasan yang berhubungan dengan masukan panas (*heat input*). Pada kecepatan pengelasan 34 mm/men dengan tegangan *bending* maksimum rata-rata 1095,772 N/mm² dan pada kecepatan pengelasan 80 mm/men tegangan *bending* maksimum rata-rata mengalami peningkatan yaitu 1433,830 N/mm². Kecepatan pengelasan yang rendah memberikan masukan panas tinggi, sebaliknya kecepatan pengelasan yang tinggi memberikan masukan panas rendah. Dengan demikian maka kecepatan pengelasan yang rendah akan menyebabkan pendinginan yang lambat. Sedangkan kecepatan pengelasan yang tinggi akan menyebabkan pendinginan yang lebih cepat. Semakin lambat proses pendinginan akan semakin besar pula karbid khrom yang terbentuk di batas butir. Hal ini jelas akan mempengaruhi struktur yang terbentuk pada *HAZ* maupun logam las sehingga berpengaruh pula pada ketangguhan las. Di mana pada pendinginan lambat dari 680°C

ke 480°C *stainless steel* jenis austenit akan terbentuk karbid khrom yang mengendap diantara butir yang menyebabkan penurunan tegangan *bending*. Selain itu dengan pembentukan karbid khrom dari pendinginan yang lambat nilai tegangan *bending* pada *austenitic stainless steel* terutama pada daerah HAZ akan menurun. Penurunan nilai tegangan *bending* ini akan berakibat pada penurunan sifat mekanik sehingga daya tahan material terhadap beban akan turun.

Hal ini didukung dari hasil penelitian **Drihapsari, 2004** melakukan penelitian yang pengaruh variasi masukan panas (*heat input*) terhadap ketahanan korosi pada *stainless steel* dengan pengelasan TIG. Variasi masukan panas pada pengelasan TIG mempunyai pengaruh yang nyata terhadap ketahanan korosi pada *stainless steel*. Masukan panas (*heat input*) yang semakin tinggi akan memperlambat proses pendinginan, dengan lambatnya pendinginan maka akan terjadi perubahan struktur mikro kearah ketidak tahanan terhadap serangan pada batas butir yaitu adanya presipitasi karbida yang bisa menyebabkan terjadinya korosi batas butir (*intragranular corrosion*). Hal ini berarti bahwa dengan semakin rendahnya kecepatan pengelasan yang menyebabkan naiknya nilai masukan panas (*heat input*) maka akan mempercepat laju korosi pada *stainless steel* yang membuat daya tahan material akan menurun sehingga menurunkan tegangan *bending*.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kecepatan pengelasan *Tungsten Inert Gas* pada *austenitic stainless steel* berpengaruh terhadap tegangan tarik dan tegangan *bending*:

1. Tegangan tarik mengalami peningkatan yaitu pada kecepatan pengelasan 34 mm/men lebih rendah tegangan tariknya disebabkan oleh pendinginan yang lambat karena kecepatan pengelasan yang lebih rendah menyebabkan naiknya masukan panas bersamaan dengan kenaikan temperatur pengelasan, sehingga menyebabkan daerah *HAZ* melebar dan semakin besar pula karbid khrom yang terbentuk di antara butir sehingga daya tahan material yang di las terhadap tegangan tarik menurun. Pada kecepatan pengelasan 80 mm/men tegangan tarik maksimum rata-rata mengalami peningkatan yaitu 675,2 N/mm² karena masukan panas yang diterima lebih rendah menyebabkan pendinginan lebih cepat sehingga karbid khrom yang terbentuk dan mengendap di antara butir lebih sedikit.
2. Tegangan *bending* mengalami peningkatan yaitu pada kecepatan pengelasan 34 mm/men dengan tegangan *bending* maksimum rata-rata 1095,772 N/mm², hal ini disebabkan semakin lambat proses pendinginan akan semakin besar pula karbid khrom yang terbentuk di antara butir terutama pada daerah *HAZ* yang berakibat pada penurunan sifat mekanik sehingga daya tahan material terhadap beban akan menurun. Dan pada kecepatan pengelasan 80 mm/men tegangan *bending* maksimum rata-rata mengalami peningkatan yaitu 1433,830 N/mm² karena masukan panas yang diterima material lebih rendah menyebabkan pendinginannya lebih cepat sehingga karbid khrom yang terbentuk dan mengendap di antara butir tidak terlalu banyak.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut pada struktur mikro daerah pengaruh panas (*HAZ*) pada *austenitic stainless steel* terutama pembentukan karbid khromnya.
2. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai pengaruh jumlah layer pada proses pengelasan *TIG* terhadap pengujian tarik dan *bending*.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook. 1993. *Welding, Brazing, And Soldering Vol 6*. Philadelphia : ASTM
- ASM Handbook. 2000. *Mechanical Testing and Evaluation Vol 8*. Philadelphia : ASTM
- Bowditch William A & Bowditch Kevin E. 1984. *Modern Welding*. Publishers: The Good Heart-Will Cox Company Inc.
- Cary, Howard B. 1989. *Modern Welding Technology*, New Jersey: Prentice-Hall.
- Drihapsari. 2004. *Pengaruh Variasi Masukan Panas (Heat Input) Terhadap Ketahanan Korosi Pada Stainless Steel Dengan Pengelasan TIG*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Eary, Donald F. & Edward, E. Reed. 1974. *Techniques of Press Working Sheet Metal*. New York.
- Kou, Sindo. 2003. *Welding Metalurgy*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Pranoto, Bardji Hadi. 1992. *Teori Dasar Pengujian Logam*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Suharto. 1992. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : PT Rineka Cipta.
- Tata Surdia & Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Walpole, E. Ronald. 1995. *Pengantar Statistika Edisi ke-3*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Welding Of Stainless Steel*. <http://content.lincolnelectric.com/pdfs/products/literature>. (diakses 3 Juni 2009)
- Widharto, Sri. 2003. *Petunjuk Kerja Las*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Wiryosumarto, Harsono & Toshie Okumura. 1981. *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Lampiran 1. Persiapan pengelasan dan prosedur penelitian



a



b



c

- Gambar benda kerja sebelum pengelasan.
- Gambar mesin las *TIG* yang digunakan yaitu PANA *TIG* WP 300.
- Gambar dimana ujung kiri dan kanan di titik untuk membuat jarak pada kolom las.



d



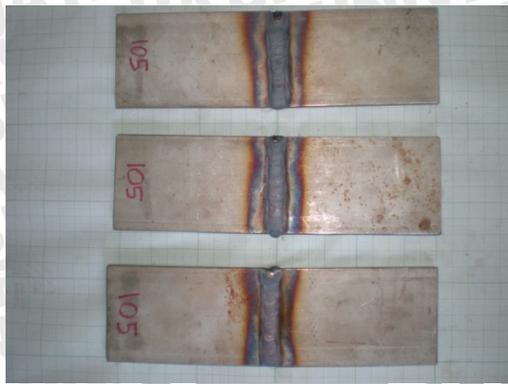
e



f

- Gambar alat untuk mengukur besarnya arus yang digunakan pada las *TIG*.
- Gambar proses pengelasan.
- Gambar mencatat waktu kecepatan pengelasan dengan *stopwatch*.

Lampiran 2. Benda uji setelah di las



Kecepatan pengelasan 34 (mm/men)



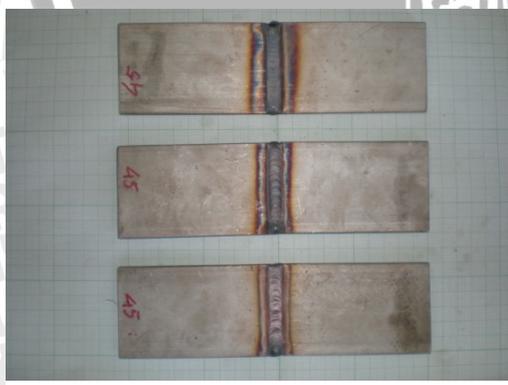
Kecepatan pengelasan 40 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 48 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 60 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 80 (mm/men)



Lampiran 3. Benda uji setelah dihaluskan



Kecepatan pengelasan 34 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 40 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 48 (mm/men)



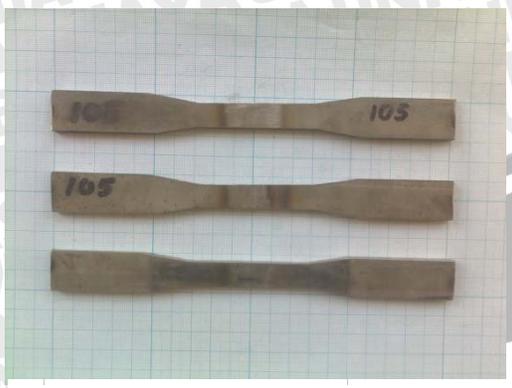
Kecepatan pengelasan 60 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 80 (mm/men)



Lampiran 4. Benda uji tarik standar ASTM E8



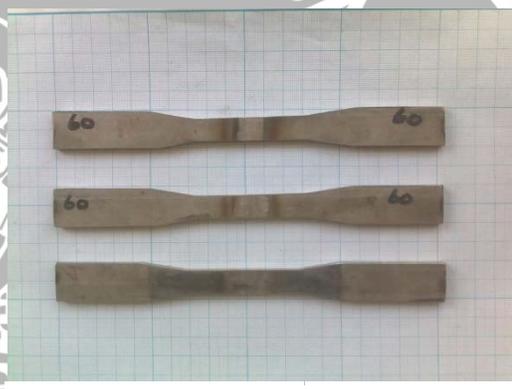
Kecepatan pengelasan 34 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 40 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 48 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 60 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 80 (mm/men)



Lampiran 5. Benda uji *bending* standar ASTM E190



Kecepatan pengelasan 34 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 40 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 48 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 60 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 80 (mm/men)



Lampiran 6. Pengujian tarik dan *bending*



Gambar pengujian tarik.



Gambar pengujian tarik saat patah.



Gambar pengujian *bending*.



Lampiran 7. Benda uji setelah mengalami tegangan tarik



Kecepatan pengelasan 34 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 40 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 48 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 60 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 80 (mm/men)



Lampiran 8. Benda uji setelah mengalami tegangan *bending*



Kecepatan pengelasan 34 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 40 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 48 (mm/men)



Kecepatan pengelasan 60 (mm/men)

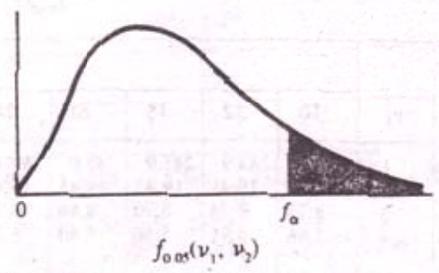


Kecepatan pengelasan 80 (mm/men)



Lampiran 9. Tabel nilai kritik sebaran F

TABEL A.7*
Nilai Kritik Sebaran F



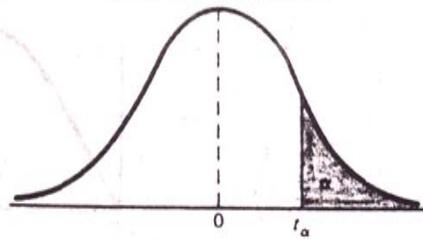
v_2	v_1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

* Direproduksi dari Tabel 18 *Biometrika Tables for Statisticians*, Vol. I, dengan izin dari E. S. Pearson dan Biometrika Trustees.

Tabel nilai kritik sebaran F
Sumber: Wapole, 1992: 473

Lampiran 10. Tabel nilai kritik sebaran t

TABEL A.5*
Nilai Kritik Sebaran t



v	α				
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
inf.	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

*Tabel diambil dari Tabel IV R. A. Fisher. *Statistical Methods for Research Workers*, Oliver & Boyd Ltd., Edinburgh, dengan izin pengarang dan penerbit.

Tabel nilai kritik sebaran t

Sumber: Wapole, 1992: 471

Lampiran 11. Surat keterangan pengelasan



SURAT KETERANGAN

Dengan ini kami menerangkan bahwa:

Nama : MOCH. SULISDIANTO
 Fakultas : Teknik
 Jurusan : TEKNIK MESIN
 UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
 NIM : 0410623052

Judul Skripsi “ PENGARUH KECEPATAN PENGELASAN AUSTENITIC STAINLESS STEEL DENGAN TUNGSTEN INERT GAS TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN BENDING ”

Telah melakukan pengelasan material austenitic stainless steel pada tanggal 16 Juni 2009 di Departemen Teknologi Pengerjaan Logam PPPPTK/VEDC MALANG

Demikian surat keterangan dibuat dengan sebenarnya, harap dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 17 Juni 2009

a.n Kepala Departemen TPL

Kepala Bengkel



Lampiran 12. Surat keterangan pengujian tarik dan *bending*

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LABORATORIUM METALURGI FISIK

Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 214 Malang 65145

SURAT KETERANGAN

Nomor :70/PT.13.FT.6.M/X/2009

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

Nama : **Moch. Sulisdianto**
Nim. : 0410623052-62
Instansi : Universitas Brawijaya
Program Studi : Teknik Mesin

Benar-benar telah melaksanakan penelitian dan pengambilan data Pengujian Tarik dan Bending di Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang pada tanggal 25 - 26 Juni 2009, guna keperluan penyusunan skripsi dengan judul " Pengaruh Kecepatan Pengelasan Austenitic Stainless Steel Degan Tungsten Inert Gas Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending."

Demikian agar surat keterangan ini dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.



Malang 06 Oktober 2009

Ka. Lab. Metalurgi Fisik

Sugarto, ST. MT.
NIP. 132 137 956

Lampiran 13. Sertifikat data komposisi material

VIRAJ PROFILES LIMITED F/QAD/08

10 IMPERIAL CHAMBERS, FIRST FLOOR,
WILSON ROAD, BALLARD ESTATE,
MUMBAI 400 038, INDIA.

MILL CERTIFICATE

CUSTOMER :	ORDER NO . MN-ID1785	PACKING LIST NO. PROF/330447	INSPECTION NO PROF/330447/12	DATE 21/03/2009
	BUNDLE NO . 5625332			GRADE AISI 304

DESCRIPTION :
STAINLESS STEEL

HOT ROLLED ANNEALED & PICKLED

SIZE (MM)	SHAPE	TOLERANCE	LENGTH (MTR)	PIECES	WEIGHT (MTS)
60 X 5	FLAT	ASTM A484	6.00(-0/+50MM)	59	0.857

CHEMICAL ANALYSIS

HEAT NO 79657

C	Mn	Si	S	P	NI	Cr	N
0.048	1.78	0.43	0.024	0.036	8.05	18.10	0.074

TEST RESULT

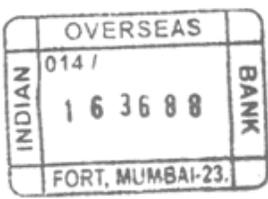
.2% YIELD STRENGTH MPa	TENSILE STRENGTH MPa	ELONGATION %	REDUCTION OF AREA %	HARDNESS BHN
309	658	46	59	195

Specification :
MATERIAL CONFORMS TO ASTM A276-06, ASTM A479/A 479M-06a, COND. A. DIMENSIONAL TOLERANCE AS PER ASTM A484/A484M-06b. MATERIAL PASSES IGC TEST AS PER ASTM A 262-02a, PRACTICE E.

Remarks :
RADIOACTIVITY TEST: ALL THE ABOVE MATERIAL IS TESTED FOR RADIOACTIVITY AND FOUND WITHIN THE LIMIT OF BACKGROUND RADIATION. MATERIAL IS FREE FROM MERCURY CONTAMINATION, WELDING & WELD REPAIRS.

We hereby certified that the material described above has been tested and complies with the terms of order/contract.


 WORKS INSPECTOR



Sumber: Toko Badja Karya Surabaya