



TUGAS AKHIR - TM091486

**PENGARUH PERUBAHAN ARUS DAN
KECEPATAN SERTA KELEMPABAN *FLUX*
TERHADAP HASIL *IMPACT* DAN KEKERASAN
SERTA *MACROSTRUCTURE FILLET WELD*
HASIL PENGELASAN *SUBMERGED ARC
WELDING (SAW)***

FAMESSA FITRIA LESTARI
NRP 2111 105 009

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TM091486

**THE EFFECT OF CURRENT, WELDING SPEED,
AND HUMIDITY OF FLUX ON IMPACT
STRENGTH, HARDNESS, AND
MACROSTRUCTURE OF FILLET WELD IN
SUBMERGED ARC WELDING (SAW)**

FAMESSA FITRIA LESTARI
NRP 2111 105 009

Academic Supervisor
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc

DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Technology of Institut
Surabaya 2014

**PENGARUH PERUBAHAN ARUS DAN KECEPATAN
SERTA KELEMBAPAN *FLUX* TERHADAP HASIL
IMPACT DAN KEKERASAN SERTA
MACROSTRUCTURE FILLET WELD HASIL
PENGELASAN *SUBMERGED ARC WELDING* (SAW)**

Nama Mahasiswa : Famessa Fitria Lestari
NRP : 2111 105 009
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc

Abstrak

Submerged Arc Welding (SAW) adalah salah satu jenis pengelasan busur listrik elektroda terumpan (consumable electrode) yang prosesnya berlangsung dalam rendaman flux. Proses pengelasan dengan menggunakan SAW banyak dipakai karena hasil dan kualitas lasan las yang baik, kecepatan proses produksi yang tinggi sehingga mempercepat dan meningkatkan efisiensi waktu pekerjaan serta dapat mengurangi pengerjaan ulang yang diakibatkan oleh welder. Semua itu akan didapatkan jika dilakukan pemilihan parameter arus dan kecepatan serta kelembapan flux yang tepat selama proses pengelasan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian pengaruh perubahan arus dan kecepatan pengelasan serta kelembapan flux terhadap hasil impact dan kekerasan serta macrostructure hasil pengelasan dengan Submerged Arc Welding (SAW).

Pengelasan dilakukan dengan mesin SAW tipe S6TF F2 yang diproduksi oleh ESAB dengan posisi 1F sebanyak dua layer. Base metal yang digunakan yaitu baja A36 dengan ukuran 10 × 50 × 300 mm dan 10 × 100 × 300 mm sebanyak 11 pasang. Pada penelitian ini, akan dilakukan tiga metode percobaan. Percobaan pertama, dilakukan dengan memvariasikan parameter arus dan kecepatan untuk menghasilkan heat input yang sama sedangkan potensial dibuat sama. Terdapat empat variasi arus dan

kecepatan yaitu 300 A dengan 29 cm/min, 350 A dengan 33 cm/min, 400 A dengan 38 cm/min, dan 450 A dengan 43 cm/min. Percobaan kedua, dilakukan dengan memvariasikan kecepatan sedangkan parameter lain dibuat konstan sehingga menghasilkan heat input yang berbeda. Kecepatan yang digunakan yaitu 30cm/min, 35cm/min, 40cm/min, dan 45cm/min. Sedangkan untuk percobaan ketiga, dilakukan dengan memvariasikan kelembapan flux yaitu 0%, 5% dan 10%. Untuk setiap spesimen nantinya dilakukan uji macro, uji kekerasan dan uji impact.

Dari pengujian didapatkan bahwa dengan memvariasikan arus dan kecepatan untuk mendapatkan heat input yang sama menghasilkan dimensi HAZ yang berbeda. Semakin tinggi kecepatan pengelasan maka menghasilkan kampuh las yang semakin sempit dan penetrasi yang dangkal. Dengan menggunakan flux yang lembap, maka akan terbentuk cacat berupa porositas. Hasil uji impact didapat impact strength tertinggi pengelasan terdapat pada kecepatan 33cm/min, arus 350A dan kelembapan flux 0%. Nilai kekerasan hampir di seluruh spesimen hasil pengelasan pada daerah weld metal dan HAZ menunjukkan tipikal yang sama kecuali pada spesimen F2.

Kata kunci : SAW, flat fillet, uji macro, uji impact, uji kekerasan

**THE EFFECT OF WELDING CURRENT AND
SPEED, AND HUMIDITY OF FLUX ON IMPACT
STRENGTH, HARDNESS, AND
MACROSTRUCTURE OF FILLET WELD IN
SUBMERGED ARC WELDING (SAW)**

Name of Student : Famessa Fitria Lestari
Student ID : 2111 105 009
Departement : Mechanical Engineering FTI – ITS
Advisor Lecturer : Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc

Abstract

Submerged Arc Welding (SAW) is one type of electric arc fed welding electrode (consumable electrode) the process takes place in a bath flux. Welding process by using SAW is widely used because of welding result and good weld quality, high speed production processes so that accelerate and improve the work time efficiency and reduce rework caused by the welder. It all will be obtainde if done the selection of current and speed parameters also the right flux humidity during the welding process. Therefore, it is necessary to test the effect of the change in current and welding speed and flux humidity with the welding result of impact and hardness also macrostructure with Submerged Arc Welding (SAW).

The welding is done by SAW machine type S6TF F2 which manufactured by ESAB with 1F possition as much as two layer. Base metal which is used is A36 steel with the size of 10×50×300 mm dan 10×100×300 mm by 11 pairs. In this result, will be conducted three experimental methods. The first experiment, conducted by varying current and speed parameters to produce the same heat input while the potential is create equal. There are four variation of the current and speed of 300 A at 29 cm / min, 350 A at 33 cm / min, 400 A at 38 cm / min, and 450 A at 43 cm / min. The second experiment, conducted by varying

speed while the other parameters are held constant so that resulting different heat input. The speed used is 30 cm/min, 35 cm/min, 40cm/min, and 45cm/min. As for the third experiment, carried out by varying the moisture flux is 0%, 5% and 10%. For each specimen will be done macro test, hardness test, and impact test.

From the testing was found that by varying current and speed to get the same heat input produce different dimension of HAZ. Higher speed produces the narrow seam welds and the shallow penetrations. By using flux humid, it will formed porosity defects. The result of impact test is obtained the the highest welds impact strength are contained on 33 cm/min speed, 350 A current, and 0% flux humidity. Hardness values in almost all of weld specimen on weld metal and HAZ area showed same typical except in the specimen F2.

Key words : SAW, flat fillet, macro test, impact test, and hardness test.

**PENGARUH PERUBAHAN ARUS DAN KECEPATAN
SERTA KELEMBABAN *FLUX* TERHADAP HASIL
IMPACT DAN KEKERASAN SERTA
MACROSTRUCTURE FILLET WELD HASIL
PENGELASAN *SUBMERGED ARC WELDING* (SAW)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FAMESSA FITRIA LESTARI

Nrp. 2111 105 009

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc
NIP. 195204171979031002 (Pembimbing)
2. Putu Suwarta, ST., MT
NIP. 198203032009121007 (Penguji I)
3. Dr. Ir. H C Kis Agustin, DEA
NIP. 196308151989032001 (Penguji II)
4. Ir. Hari Subiyanto, M.Sc
NIP. 196006231988031002 (Penguji III)

**SURABAYA
JANUARI 2014**

**PENGARUH PERUBAHAN ARUS DAN KECEPATAN
SERTA KELEMBABAN *FLUX* TERHADAP HASIL
IMPACT DAN KEKERASAN SERTA
MACROSTRUCTURE FILLET WELD HASIL
PENGELASAN *SUBMERGED ARC WELDING (SAW)***

TUGAS AKHIR


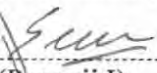
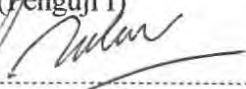
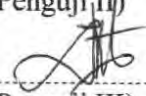
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FAMESSA FITRIA LESTARI

Nrp. 2111 105 009

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc
NIP. 195204171979031002 
(Pembimbing)
2. Putu Suwarta, ST., MT
NIP. 198203032009121007 
(Penguji I)
3. Dr. Ir. H C Kis Agustin, DEA
NIP. 196308151989032001 
(Penguji II)
4. Ir. Hari Subiyanto, M.Sc
NIP. 196006231988031002 
(Penguji III)

**SURABAYA
JANUARI 2014**

KATA PENGANTAR



Puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas ijinnya laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Perubahan Arus dan Kecepatan Serta Kelembapan *Flux* Terhadap Hasil *Impact* dan Kekerasan Serta Macrostructure *Fillet Weld* Hasil Pengelasan *Submerged Arc Welding (SAW)*” dapat diselesaikan. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat meraih gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS.

Saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah ikut terlibat dalam penyusunan Tugas Akhir, diantaranya:

1. Orang tua dan adik saya yang selalu memberi doa dan dukungan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa dengan sabar memberikan bimbingan demi kesempurnaan laporan.
3. Bapak Usman Dinata, ST. MM selaku ketua bengkel las Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah mengizinkan saya menggunakan mesin Submerged Arc Welding (SAW).
4. Bapak Rahmat Hariadi selaku dosen Politeknik Negeri Perkapalan Negeri Surabaya yang bersedia menjadi operator pada saat persiapan dan pengerjaan spesimen.
5. Bapak Duddy Yan Purnadi, M.T. selaku ketua laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung yang telah bersedia memfasilitasi pengujian kekerasan dan impact.
6. Bapak Supriadi, Sutiana dan Junaidi selaku teknisi Laboratorium Meaterial, dan Bengkel Permesinan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung yang telah

membantu dalam persiapan spesimen uji dan pengambilan data.

7. Teman-teman lintas jalur FTI – ITS gasal angkatan 2011.
8. Teman-teman Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
9. Semua pihak yang telah ikut serta membantu penyelesaian tugas akhir.

Saya sebagai penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, diharapkan kritik dan saran untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Surabaya, Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II DASAR TEORI.....	3
2.1 <i>Submerged Arc Welding (SAW)</i>	3
2.1.1 Sumber Listrik.....	5
2.1.2 <i>Flux</i>	6
2.1.3 Kawat Las.....	7
2.1.4 Peralatan Keselamatan.....	7
2.2 Parameter Pengelasan.....	8
2.3 Heat Input.....	9
2.4 Fillet Weld.....	10
2.5 Macro Metallography.....	11
2.6 Uji Kekerasan.....	13
2.7 Uji Impact.....	16
2.7.1 Energi <i>Impact</i>	17
BAB III METODOLOGI.....	19
3.1 Sistematika Penelitian.....	19
3.2 Rancangan Penelitian.....	20
3.3 Alat dan Bahan yang Dipergunakan.....	21

3.3.1 Bahan yang Digunakan.....	21
3.3.2 Alat yang Digunakan.....	21
3.4 Langkah Penelitian.....	22
3.4.1 Pengelasan SAW Percobaan I dan II.....	22
3.4.2 Pengelasan SAW Percobaan III.....	24
3.4.3 Pengamatan Visual dan Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	24
3.4.4 Proses Uji <i>Impact</i>	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Analisa dan Hasil Pengamatan Visual.....	29
4.1.1 Hasil Pengelasan <i>Heat Input</i> Konstan.....	29
4.1.2 Hasil Pengelasan dengan Variasi Kecepatan.....	30
4.1.3 Hasil Pengelasan dengan Variasi Kelembapan <i>Flux</i>	32
4.1.4 Cacat Las Porositas Spesimen Dilas dengan <i>Flux</i> Lembap.....	32
4.2 Analisa dan Hasil Grafik Uji <i>Impact</i>	33
4.2.1 Grafik Uji <i>Impact</i> pada <i>Heat Input Konstan</i>	34
4.2.2 Grafik Uji <i>Impact</i> dengan Variasi Kecepatan.....	35
4.2.3 Grafik Uji <i>Impact</i> dengan Variasi Kelembapan <i>Flux</i>	36
4.3 Grafik dan Analisa Grafik Uji Kekerasan.....	37
4.3.1 Grafik Kekerasan Fungsi Heat Input Konstan.....	38
4.3.2 Grafik Kekerasan Fungsi Variasi Kecepatan.....	42
4.3.3 Grafik Kekerasan Fungsi Kelembapan <i>Flux</i>	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN – LAMPIRAN.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Proses pengelasan <i>Submerged Arc Welding</i>	3
Gambar 2.2.	Mesin SAW tipe A6TF F2.....	4
Gambar 2.3.	Serbuk <i>flux</i> pengelasan SAW.....	6
Gambar 2.4.	Kawat las SAW.....	7
Gambar 2.5.	Efek variasi tegangan dengan arus tetap.....	8
Gambar 2.6.	Perubahan variasi sebagai fungsi peningkatan arus.....	9
Gambar 2.7.	Bentuk umum sambungan <i>fillet weld</i>	11
Gambar 2.8.	Aspek penting <i>fillet weld</i>	11
Gambar 2.9.	Skema makrografi hasil pengelasan.....	12
Gambar 2.10.	Pengaruh heat input persatuan panjang Cu – Ni.....	14
Gambar 2.11.	Test <i>Impact</i>	17
Gambar 3.1.	Diagram penelitian.....	19
Gambar 3.2.	Sketsa sambungan.....	22
Gambar 3.3.	Cara penempatan spesimen pada alat bantu.....	23
Gambar 3.4.	Pengatur input parameter.....	23
Gambar 3.5.	Sketsa pengukuran visual las.....	25
Gambar 3.6.	Skema pengujian <i>hardness vickers</i>	25
Gambar 3.7.	Spesimen uji <i>impact</i>	26
Gambar 3.8.	Peletakkan spesimen uji <i>impact</i> pada jig dan fixture.....	27
Gambar 4.1.	Hasil makrografi percobaan dengan <i>heat input</i> konstan.....	30
Gambar 4.2.	Hasil makrografi percobaan dengan variasi kecepatan.....	31
Gambar 4.3.	Hasil etsa makro penampang lasan percobaan dengan kelembapan <i>flux</i> berbeda.....	32
Gambar 4.4.	Kehadiran porositas pada pengelasan dengan kelembapan <i>flux</i>	33
Gambar 4.5.	<i>Impact Strength</i> pada pengelasan dengan <i>heat input</i> konstan.....	35

Gambar 4.6. <i>Impact Strength</i> sebagai fungsi kecepatan pengelasan.....	36
Gambar 4.7. <i>Impact Strength</i> sebagai fungsi kelembapan <i>flux</i>	37
Gambar 4.8. Grafik kekerasan, H fungsi <i>heat input</i> konstan.....	39
Gambar 4.9. Hasil indentasi uji kekerasan.....	40
Gambar 4.10. Grafik kekerasan, A fungsi variasi kecepatan.....	43
Gambar 4.11. Grafik kekerasan, F fungsi kelembapan <i>flux</i>	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Rancangan eksperimen	20
Tabel 3.2. Komposisi kimia baja A36 (ASTM36).....	21
Tabel 4.1. Data hasil pengukuran dimensi lasan.....	29
Tabel 4.2. Hasil uji <i>impact</i>	34

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan (*welding*) merupakan salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan kawat las dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa kawat las dan menghasilkan sambungan yang *continue*. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas yang meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran dan sebagainya.

Salah satu metode pengelasan yaitu las busur terendam (*Submerged Arc Welding, SAW*), adalah jenis pengelasan busur listrik elektroda terumpan (*consumable electrode*) yang prosesnya berlangsung dalam rendaman *flux*. Fungsi kawat las selain sebagai pembangkit busur listrik juga sebagai penambah (*filler*).

Saat ini, proses pengelasan dengan menggunakan SAW banyak dipakai karena hasil dan kualitas lasan las yang baik, kecepatan proses produksi yang tinggi sehingga mempercepat dan meningkatkan efisiensi waktu pekerjaan serta dapat mengurangi pengerjaan ulang yang diakibatkan oleh kesalahan *welder*. Saat ini, SAW baru bisa digunakan untuk mengerjakan metode sambungan *fillet* pada dua posisi pengelasan yaitu datar (1F) dan horizontal (2F). SAW banyak dipergunakan dalam penyambungan pipa, konstruksi-konstruksi kapal dan pembuatan tangki penyimpanan dilapangan. Walaupun tidak dibutuhkan juru las yang berketerampilan seperti pada proses SMAW, tetapi operator las juga harus berkualifikasi karena banyak parameter yang perlu dipersiapkan dengan ketelitian tertentu.

Mesin las A6TF F2 merupakan salah satu mesin SAW yang pengoperasiannya dilakukan tanpa membutuhkan keahlian operator (otomatis). Namun, mesin SAW tipe ini masih terbatas

pada *flat* untuk metode penyambungan *fillet*. Pemilihan parameter pengelasan dan kelembapan *flux* yang salah akan menghasilkan sambungan yang kurang baik bahkan berbahaya untuk sambungan konstruksi tertentu. Sehingga perlu adanya penelitian untuk menemukan parameter dan *flux* untuk menghasilkan sambungan las terbaik.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh perubahan arus dan kecepatan pengelasan serta perubahan kelembapan *flux* terhadap hasil impact dan kekerasan?
2. Bagaimana pengaruh perubahan arus dan kecepatan pengelasan serta perubahan kelembapan *flux* terhadap perubahan struktur makro?

1.3 Batasan Masalah

1. Pengelasan hanya dilakukan pada posisi *flat*.
2. Pengujian metalografi hanya uji struktur makro.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh perubahan arus dan kecepatan pengelasan serta perubahan kelembapan *flux* terhadap hasil *impact* dan kekerasan.
2. Untuk mengetahui pengaruh perubahan arus dan kecepatan pengelasan serta perubahan kelembapan *flux* terhadap perubahan struktur makro.

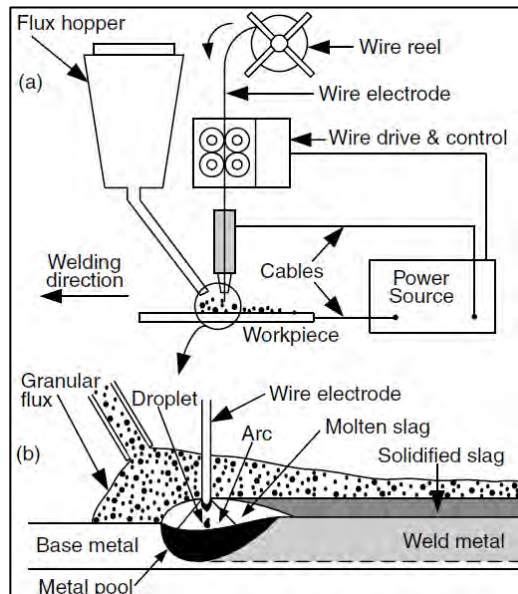
1.5 Manfaat penelitian

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan bagi penulis dan pembaca tentang metode pengelasan SAW.
 2. Dapat menjadi sarana untuk memberikan informasi secara tertulis mengenai parameter-parameter pengelasan yang memberikan hasil terbaik.
 3. Penelitian ini diharapkan dapat diterapkan aplikasinya dalam dunia industri.
-
-

BAB II DASAR TEORI

2.1 *Submerged Arc Welding (SAW)*

Submerged Arc Welding (SAW) merupakan suatu proses meleburkan dan menyambungkan *base metal* dengan cara dipanaskan menggunakan busur yang terbentuk antara *consumable* elektroda dengan *base metal*, dengan busur yang terlindung oleh terak cair dan *flux* seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Proses pengelasan *Submerged Arc Welding*
(a) Skema pengelasan secara keseluruhan dan
(b) Detail di area pengelasan
(Kou Sindo, *Welding Metallurgy* 2nd Edition)

Las SAW memiliki busur terlindung dan tidak terlihat. Selain itu, *flux* disuplai dari *hopper*, (Gambar 2.1a) yang berjalan *torch*. Gas pelindung tidak dibutuhkan karena logam cair terlindung dari udara oleh *slag* cair dan butiran *flux* (Gambar 2.1b).

Pengelasan dengan pengaturan kutub *Direct Current Electrode Positive* (DCEP) adalah yang paling sering digunakan. Loncatan busur disebabkan oleh gaya elektromagnetik (Lorentz) karena interaksi antara arus listrik dan induksi medan magnet. Salah satu mesin las SAW yang ada yaitu tipe A6TF F2 yang diproduksi oleh ESAB ditunjukkan pada Gambar 2.2. Las SAW banyak digunakan untuk penyambungan tabung-tabung gas, pipa besar, dan penyambungan benda-benda yang sama serta banyak.



Gambar 2. 2. Mesin SAW tipe A6TF F2

Dalam buku Teknologi Pengelasan Logam, penulis Prof. Dr. Ir. Harsono Wiryosumarto menyebutkan keuntungan yang bisa diperoleh dengan pengelasan *Submerged Arc Welding*, antara lain:

1. Karena seluruh cairan tertutup flux maka kualitas daerah

lasan sangat baik.

2. Karena digunakan kawat las yang besar, maka arus pengelasan juga besar, sehingga penetrasi cukup dalam dan efisiensi pengelasan tinggi.
3. Karena kampuh las dapat dibuat kecil, maka bahan las bisa dihemat.
4. Karena proses secara otomatis, maka tidak diperlukan keterampilan juru las yang tinggi dan perubahan teknik pengelasan yang dilakukan oleh juru las dan tidak banyak pengaruh terhadap kualitas las.

Sedangkan kerugian proses ini bisa disebutkan antara lain:

1. Karena busur las tidak terlihat, maka penentuan pengelasan yang salah dapat menggagalkan seluruh hasil pengelasan.
2. Posisi pengelasan terbatas hanya pada posisi horizontal.
3. Posisi prosesnya otomatis, maka penggunaannya lebih terbatas bila dibandingkan dengan las tangan atau semi otomatis.

Proses SAW mirip dengan MIG dimana busur terbentuk di antara elektroda saat bersentuhan dengan benda kerja, dan pengelasan terbentuk dari benda kerja dan elektroda yang mencair. Namun, gas pelindung tidak diperlukan sebagai pembentuk gas lapisan pada *flux* dan *slag* untuk melindungi area las dan metal panas dari kontaminasi udara. *Flux* memainkan peranan tambahan dalam menambahkan unsur paduan dengan area pengelasan.

2.1.1 Sumber Listrik

SAW dapat dioperasikan dengan arus searah (DC) atau arus bolak balik (AC) tetapi arus DC lebih banyak dipakai karena penyalaan busur lebih mudah dan penetrasinya lebih dalam. Arus untuk satu logam pengisi (*single wire*) antara 200 A (untuk kawat diameter 1.6 mm) – 1000 A (untuk kawat diameter 6.0 mm). Dalam penggunaannya, pengelasan banyak dilakukan pada plat tebal dengan satu logam pengisi berdiameter 4.0 mm biasanya digunakan pada arus 600 – 900 A.

2.1.2 Flux

Flux merupakan salah satu komponen terpenting pada SAW. Dalam hal ini, *flux* yang dipergunakan berbentuk serbuk (Gambar 2.3). Peranan *flux* pada pengelasan SAW, antara lain:

1. Menggantikan peranan gas pelindung pada logam las.
2. Melindungi kontaminasi udara pada saat pengelasan.
3. Membentuk lapisan terak.
4. Mencegah proses pendinginan agar tidak terlalu cepat.
5. Memudahkan penyalaan.
6. Mengontrol stabilitas busur.



Gambar 2. 3. Serbuk *flux* pengelasan SAW

Flux menutupi cahaya dari busur dan tidak ada asap atau percikan dari lasan. Hal ini meningkatkan efisiensi kerja dibandingkan dengan metode pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). Namun disisi lain, masih perlu untuk menangani flux pada saat telah menjadi terak las (*slag*) secara mekanik.

Flux harus disimpan dalam wadah tertutup dalam kondisi kering. Sedangkan *flux* yang telah terbuka harus disimpan pada wadah dengan kelembapan tertentu. *Flux* dari kemasan yang baru dibuka harus segera digunakan, *flux* yang telah terbuka dan

disimpan dalam wadah harus dikeringkan sesuai dengan instruksi. Jika *flux* dalam kondisi lembap, akan mengakibatkan sulit untuk dilakukan pengelasan, percikan yang berlebihan, busur las tidak stabil, asap yang berlebihan dan hasil sambungan menjadi buruk akibat terbentuk porositas. Dan apabila *flux* mengandung hydrogen (H_2) akan sangat merugikan dan *humidity* (kelembapan) lebih dari 50% pada temperatur kamar akan mengakibatkan cold cracking (retak dingin) pada hasil lasan.

2.1.3 Kawat Las

Bentuk kawat las (*filler*) pada las SAW memiliki elektroda yang bentuknya sama seperti pada las GMAW seperti terlihat pada Gambar 2.4. Elektroda yang digunakan merupakan kawat tanpa selaput berbentuk gulungan (*roll*) digerakan maju oleh pasangan roda gigi dan diputar oleh motor listrik.



Gambar 2. 4. Kawat las SAW

2.1.4 Peralatan Keselamatan

Tidak seperti pengelasan busur lain, SAW merupakan proses yang sangat bersih yang menghasilkan asap dan percikan yang sedikit selama proses pengelasan berlangsung. Bahaya dapat

dihasilkan ketika melakukan pengelasan bahan tertentu.

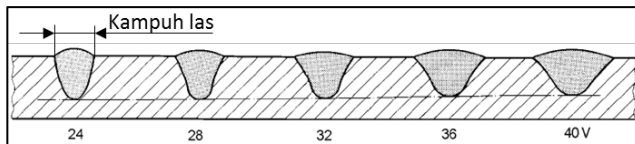
Peralatan pelindung seperti topeng las dan apron tidak diperlukan. SAW hanya peralatan pelindung keselamatan standar seperti kaca mata, sarung tangan tebal, dan *safety shoes*.

2.2 Parameter Pengelasan

Pemilihan parameter pengelasan harus berdasarkan ketebalan *base metal* sehingga dapat menghasilkan penetrasi yang benar dan membentuk hasil las yang baik. Dari sini, kita akan menentukan kawat las, tegangan, arus, dan kecepatan pengelasan.

1. Tegangan pengelasan

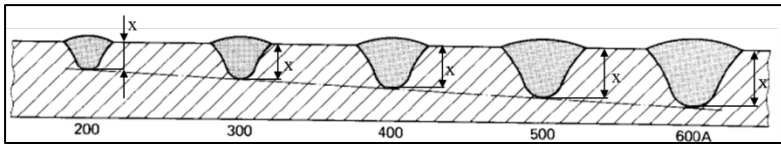
Tegangan memiliki peranan menghasilkan bentuk dan ukuran busur (arc) yang juga menentukan hasil penetrasi. Semakin besar tegangan yang dipergunakan, akan membuat kampuh las semakin lebar seperti terlihat pada Gambar 2.5 yang mencontohkan pengelasan pada plat.



Gambar 2. 5. Efek variasi tegangan dengan arus tetap (<http://www.esab.co.kr/Web/pp/Upload/2012/04/05/SUBMERGED%20ARC%20WELDING.pdf>)

2. Arus pengelasan

Arus berkaitan erat dengan kedalaman penetrasi (Gambar 2.6). Pengaturan arus didasari pada tebal plat dan jenis sambungan. Arus tidak memiliki pengaruh pada lebar kampuh (Gambar 2.6). Penggunaan arus yang terlalu tinggi mengakibatkan *base metal* terbakar, akan menghasilkan penetrasi yang kurang baik jika menggunakan arus yang terlalu rendah. Ini berarti semakin tinggi arus, maka pencairan kawat las akan semakin cepat dan harus diimbangi dengan kecepatan kawat melakukan pengisian.



Gambar 2. 6. Perubahan variasi sebagai fungsi peningkatan arus.

Dimana arus yang lebih besar menghasilkan penetrasi yang semakin dalam seperti ditunjukkan oleh x

([http://www.esab.co.kr/Web-](http://www.esab.co.kr/Web-App/Upload/2012/04/05/SUBMERGED%20ARC%20WELDING.pdf)

[App/Upload/2012/04/05/SUBMERGED%20ARC%20WELDING.pdf](http://www.esab.co.kr/Web-App/Upload/2012/04/05/SUBMERGED%20ARC%20WELDING.pdf))

3. Kecepatan pengelasan

Kecepatan merupakan parameter pengelasan yang memiliki peranan untuk menghasilkan kedalaman penetrasi dan lebar kampuh las (Gambar 2.5 dan Gambar 2.6). Jika kecepatan meningkat, maka penetrasi akan berkurang dan menghasilkan kampuh las yang sempit. Namun dengan mengurangi kecepatan akan menghasilkan penetrasi yang dalam dan menghasilkan kampuh las yang lebih lebar. Apabila kecepatan pengelasan dirubah sementara penetrasi dijaga konstan, maka perlu ada penyesuaian pada penggunaan arus baik untuk dipercepat atau diperlambat.

2.3 Heat Input

Heat input (H_{net}) mempresentasikan energi nominal dari sumber panas pengelasan. Energi ini mempengaruhi distribusi panas pada proses pengelasan yang berdampak pada besarnya *peak temperature*, kecepatan pendinginan dan waktu solidifikasi. *Heat input* tidak dapat diukur secara langsung. Heat input bisa dihitung dari parameter-parameter yang dipergunakan seperti tegangan, arus dan kecepatan pengelasan yang telah dijelaskan pada sub bab 2.2. Sedangkan untuk menentukan H_{net} dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$H_{net} = \eta \frac{E \cdot I}{v} \quad (2.1)$$

Dimana: H_{net} = heat input (J/cm)
 η = efisiensi perpindahan panas (untuk SAW 0,9 – 1)
 E = tegangan (V)
 I = arus (A)
 v = kecepatan pengelasan (cm/min)

Dengan menggunakan heat input yang sama, seharusnya menghasilkan dimensi ukuran HAZ yang sama, meskipun digunakan variasi arus dan kecepatan. Apabila H_{net} dinaikkan maka HAZ akan bertambah lebar. Hal ini sesuai dengan persamaan:

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{4,13 \rho_c t y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_0} \quad (2.2)$$

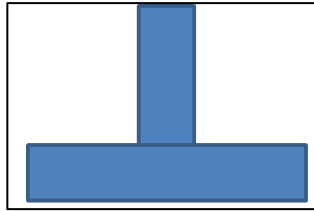
Dimana : T_p = temperatur peak
 T_0 = temperatur ruangan
 ρ_c = massa jenis base metal (7,85 gr/cm³)
 t = tebal plat (mm)
 y = lebar HAZ (mm)
 T_m = temperatur *melting* baja

Apabila heat input dari suatu pengelasan terlalu tinggi maka daerah HAZ akan menjadi lebar sehingga mudah terjadi cacat seperti undercut. Akan tetapi apabila heat input terlalu kecil maka juga akan menimbulkan cacat las seperti inclusion.

Efek dari heat input terhadap laju pendinginan hampir sama dengan temperatur pemanasan awal. Apabila heat input atau temperatur pemanasan awal dinaikkan maka laju pendinginan akan turun yang biasanya digunakan untuk base metal yang tebal.

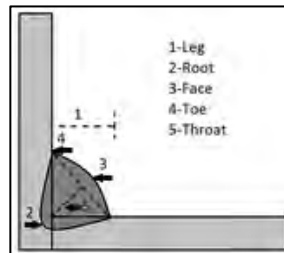
2.4 Fillet Weld

Sambungan (*joint*) dalam pengelasan merupakan pertemuan beberapa sisi dari suatu komponen yang disatukan yang disambungkan dengan pengelasan. Salah satu bentuk sambungan yang sering dipergunakan yaitu *fillet weld*, bisa terlihat pada Gambar 2.7, merupakan proses menyambungkan dua buah logam berbentuk tegak lurus.



Gambar 2. 7. Bentuk umum sambungan *fillet weld*

Ada beberapa aspek penting pada sambungan *fillet*, yaitu *root*, *toe*, *face*, *leg* dan *throat* (Gambar 2.8). *Root* berada pada bagian paling dalam penetrasi yang berada pada posisi berlawanan dari sudut miring. *Toe* berada pada bagian pinggir atau pada sudut miring. *Face* berada pada posisi bagian permukaan *welding metal*. *Leg* berada pada sisi yang berlawanan segitiga lasan *fillet*. Sedangkan *throat* terdapat jarak dari tengah *face* menuju *root* daerah las.



Gambar 2. 8. Aspek penting *fillet weld*

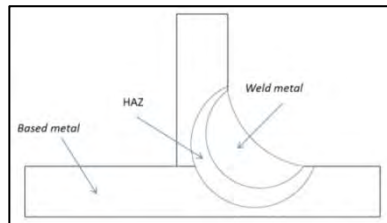
Salah satu posisi pengelasan *fillet* berdasarkan ASME yaitu *flat weld* (1F). Posisi *flat weld* merupakan pengelasan yang dilakukan dengan memosisikan benda kerja dan *filler* tidak berubah.

2.5 Macro Metallography

Makro metallography adalah pemeriksaan metalografi dengan mata kita langsung atau memakai kaca pembesar dengan

pembesaran rendah. Kegunaannya untuk memeriksa permukaan yang terdapat celah-celah, lubang-lubang pada struktur logam yang sifatnya rapuh, bentuk-bentuk patahan benda uji bekas pengujian mekanis yang selanjutnya dibandingkan dengan beberapa logam menurut bentuk dan strukturnya antara satu dengan yang lain menurut kebutuhannya. Pada pengelasan, pemeriksaan makro bertujuan untuk melihat hasil lasan berupa batas HAZ dan weld metal (fusion line), dan batas HAZ dan based metal (Gambar 2.9). Adapun langkah yang dilakukan dalam melakukan pemeriksaan makro yaitu:

1. Persiapan benda uji. Benda Uji untuk persiapan metalografi memerlukan persiapan yang baik dan benar sehingga nantinya struktur logam yang akan dilihat melalui mikroskop dapat dilihat dengan jelas. Dalam persiapan tersebut memerlukan beberapa tahapan, yaitu pemotongan, penyalutan, penggerindaan, pemolesan, dan pengetsaan.
2. Pemotongan. Salah satu alat potong biasa yang digunakan untuk memotong bahan uji adalah mesin potong khusus, yang pemotongnya berbentuk piringan (abrasive wheel) terbuat dari bahan karbon silica. Di dalam pemotongan benda uji perlu diperhatikan ukuran dari bahan tersebut dengan pertimbangan pokok harus dapat dipegang atau disesuaikan dengan kondisi alat yang ada kaitan proses selanjutnya.
3. Penggerindaan benda uji dilakukan pada kertas ampelas dimulai dari tingkat grit kasar sampai tingkat halus.
4. Hasil dari proses pemolesan dietsa.



Gambar 2. 9. Skema makrografi hasil pengelasan

2.6 Uji Kekerasan

Kekerasan (*hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis.

Uji kekerasan *vickers* menggunakan indentor piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujursangkar. Besar sudut antar permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136°. Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell (Dieter, 1987).

Pada pengukuran kekerasan, indentor ditekan dengan gaya tertentu selama kurun waktu tertentu. Setelah penekanan, diagonal penekanan diukur. Kekerasan Vickers dapat diperoleh dengan membagi gaya pada luas bekas tekanan berbentuk piramida. Angka kekerasan Vickers adalah beban dibagi luas indentansi, yaitu :

$$Hv = \frac{P}{A} \quad (2.3)$$

$$\text{Dengan } A = \frac{d^2}{2 \cos 22^\circ} \quad (2.4)$$

$$\text{Sehingga } Hv = \frac{1,8544P}{d^2} \quad (2.5)$$

Dimana: Hv = nilai kekerasan *vickers*

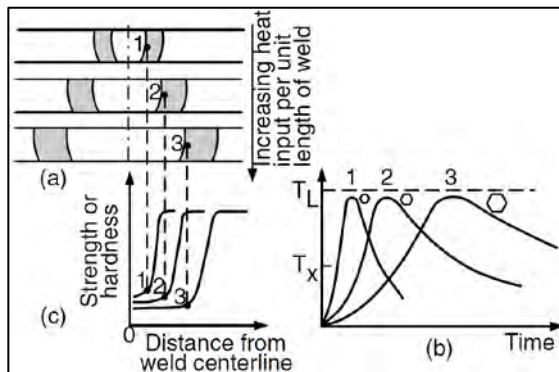
P = beban uji (kgf)

d = panjang rata-rata diagonal (mm)

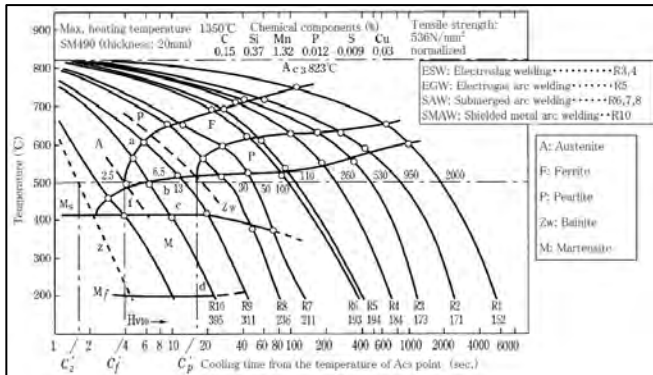
Karena jejak yang dibuat dengan penekan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka VHN tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji *vickers* berkisar antara 1 hingga 120 kg. Tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji. Hasil pengujian *vickers* dapat langsung dilihat pada alat pengujian layar yang terlihat pada gambar lampiran alat uji

kekerasan.

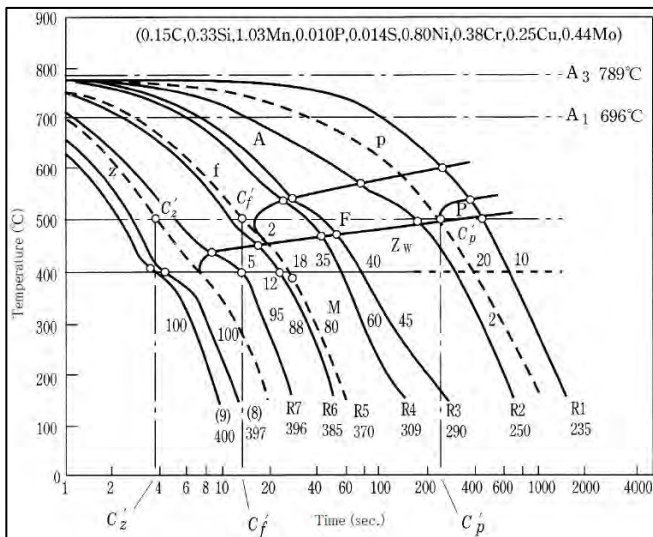
Efek penggunaan variasi parameter pengelasan di daerah HAZ dijelaskan menggunakan grafik kekerasan Cu-Ni yang terlihat pada Gambar 2.11. Besar pada daerah HAZ dan retensi waktu diatas temperatur rekristalisasi efektif, T_x meningkat dengan seiring meningkat *heat input* per satuan panjang lasan, yaitu perbandingan antara *heat input* dengan kecepatan pengelasan. Akibatnya, semakin banyak panas yang terpakai, maka nilai kekerasan pada daerah HAZ berkurang.



Gambar 2. 10. Pengaruh *heat input* persatuan panjang Cu – Ni terhadap (a) lebar HAZ, (b) siklus thermal pada *fusion line*, dan (c) kekuatan dan kekerasan



(a) 490 N/mm²



(b) 780 N/mm²

Gambar 2. 11. Tipe diagram CCT untuk baja tegangan tinggi pada pengelasan
(The Japan Welding Engineering Society, Welding and Joining Technologies Chapter 2)

Pada Gambar 2.11 (a) menunjukkan diagram CCT untuk baja 490 N/mm². “A” menunjukkan daerah *austenite*, “F” menunjukkan daerah dimana *ferrite* muncul dalam fasa *austenite*, “P” menunjukkan daerah *perlite* mengendap dalam fasa *austenite*, “Zw” menunjukkan daerah seperti *bainite* terbentuk, dan “M” menunjukkan transformasi *martensite* menggantikan mengambil alih pada masing-masing temperatur di bawah kurva Ms. Pada diagram ini jelas bahwa struktur mikro muncul disepanjang kurva pendinginan, dan transformasi berkembang dan struktur makro akhir dapat diperkirakan.

Pada Gambar 2.11 (b) menggambarkan diagram CCT untuk baja 780 N/mm². Sebagai perbandingan dengan Gambar 2.11 (a), garis awal transformasi digantikan pada temperatur yang lebih rendah dan dengan waktu yang lebih lama. Dapat dikatakan bahwa martensit seperti dapat terbentuk pada pengelasan dengan *heat input* rendah, saat ferrite dan perlite sulit muncul kecuali *heat input* pengelasan menjadi tinggi.

2.7 Uji Impact

Pengujian *impact* merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Pengujian ini merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan seperti pada pembebanan tarik.

“Uji *impact* adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*)” (Muhammad Aziz, Teknik Material dan Metalurgi ITS).

Impact test bila diartikan sebagai suatu test yang mengukur ketangguhan (*thoughness*) suatu material yaitu kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum terjadinya patahan (Modul Praktikum Metalurgy Teknik Mesin FTI – ITS).

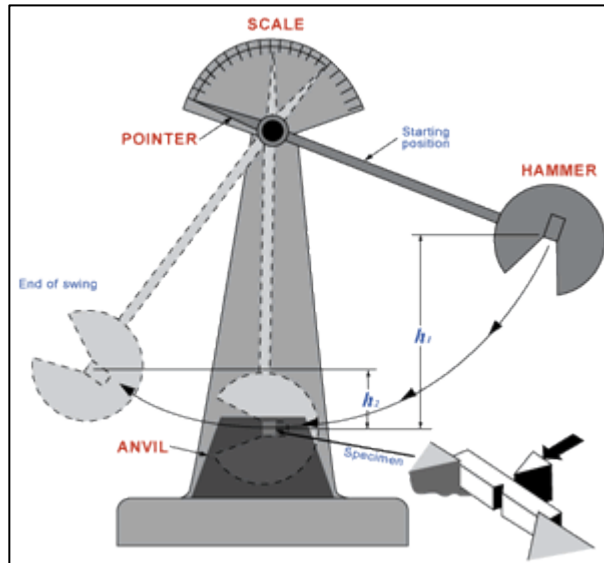
Pengujian *impact* digunakan untuk mengkarakterisasi patahan material yang sulit dilakukan pada uji tarik, khususnya untuk material yang memiliki transisi deformasi yang sangat

kecil. Adapun dasar pemilihan uji *impact*, antara lain:

1. Deformasi dapat dilakukan pada temperatur yang rendah
2. Laju deformasi yang tinggi
3. Adanya notch dapat didekati dengan tegangan triaxial

Salah satu metode pengujian *impact* yaitu *izod* merupakan pengujian dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan serah dengan arah takikan/*notch*.

2.7.1 Energi *Impact*



Gambar 2. 12. Test *impact* (<http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Graphics/Mechanical/CharpyTester.gif>)

Pada Gambar 2.11 terlihat metode uji *impact*. Energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan berat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan setelah *impact*. Tanpa memperhatikan kehilangan energi. Energi yang dipakai untuk

mematahkan *test piece* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Energi awal (E0): } Wh = wl(1 - \cos \alpha) \quad (2.6)$$

$$\text{Energi akhir (E1): } Wh_1 = wl(1 - \cos \beta) \quad (2.7)$$

Energi untuk mematahkan spesimen yaitu:

$$W(h - h_1) = wl(\cos \beta - \cos \alpha) \text{ (kgm)} \quad (2.8)$$

Sehingga kekuatan *impact* (*Impact strength*, IS) dari logma dapat dihitung dengan rumus:

$$IS = \frac{Wl(\cos \alpha - \cos \beta)}{A} \text{ (kgm/mm}^2\text{)} \quad (2.9)$$

Dimana: W = berat pendulum (kg)

α = sudut sebelum tumbukan

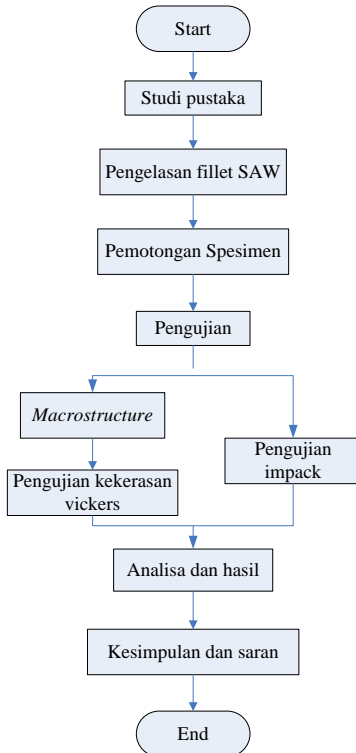
β = sudut setelah tumbukan

A = luas penampang *test piece* pada bagian yang bertakik (mm²).

BAB III METODOLOGI

3.1 Sistematika Penelitian

Agar penyusunan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan baik, maka diperlukan tahapan yang terstruktur. Tahapan Tugas Akhir ini disusun menggunakan *flowchart* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1. Diagram penelitian

3.2 Rancangan Penelitian

Agar percobaan dapat berjalan secara sistematis, perlu dilakukan rancangan penelitian yang melibatkan beberapa parameter pengelasan pada saat pengelasan, serta respon yang nantinya diuji. Setiap spesimen nantinya akan dilas sebanyak dua *layer* (lapis). Percobaan I dilakukan dengan memvariasikan arus dan kecepatan namun tetap mempertahankan *heat input* pada kondisi konstan yaitu 18000 J/cm. Adapun penyajian rencana rancangan penelitian bisa dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3. 1. Rancangan eksperimen

Percobaan	Kode	Parameter		Flux	Respon
		Arus, I (A)	Kecepatan, v (cm/min)		
I Efek variasi arus dan kecepatan, heat input konstan	H1	300	29	Normal	1. Makrografi
	H2	350	33	Normal	2. Uji impak
	H3	400	38	Normal	3. Uji kekerasan
	H4	450	43	Normal	
II Efek variasi kecepatan	A1	350	30	Normal	1. Makrografi
	A2	350	35	Normal	2. Uji impak
	A3	350	40	Normal	3. Uji kekerasan
	A4	350	45	Normal	
III Efek perbandingan kelembaban flux	F1	350	33	Normal	1. Makrografi
	F2	350	33	5%	2. Uji impak
	F3	350	33	10%	3. Uji kekerasan

Dimana : 5% = air sebanyak seperempat cup dicampurkan ke dalam lima cup flux
 10% = air sebanyak setengah cup dicampurkan ke dalam lima cup flux

3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan

3.1.1 Bahan yang Digunakan

1. Baja A36 ukuran $10 \times 50 \times 300$ mm sebanyak 11 potong, dan $10 \times 100 \times 300$ mm sebanyak 11 potong. Adapun tabel komposisi kimia yang terkandung dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3. 2. Komposisi kimia baja A36 (ASTM36)

% berat						
Fe	C	Mn	Cu	P	S	Si
98,12	0,29	1,00	0,20	0,04	0,05	0,30

2. Bahan pelindung ESAB OK Flux 10.71 yang merupakan salah satu jenis *flux* yang banyak dipergunakan karena memiliki hasil pengelasan yang baik untuk *single* maupun *multi wire* berbagai ketebalan plat.
3. Kawat las ESAB OK Autrod 12.10 diameter 3,2mm.

3.1.2 Alat yang Digunakan

1. Mesin SAW tipe A6TF F2 (Gambar 2.2).
2. Alat bantu meletakkan spesimen yang berfungsi menempatkan spesimen agar miring 45° seperti terlihat pada Gambar 3.3.
3. Mesin SMAW yang dipergunakan untuk menyambung kedua ujung plat hingga membentuk sambungan *fillet* seperti Gambar 3.2 dan untuk menahan spesimen saat dilakukan pengelasan pada Gambar 3.3.
4. Kikir yang berfungsi untuk membersihkan ujung elektroda setelah dilakukan pengelasan agar pada pengelasan selanjutnya bisa terbentuk busur listrik, palu terak untuk membersihkan *slag*, tang klem, tang potong untuk memotong kawat las, dan alat bantu agar dapat memiringkan pengelasan.
5. Wadah bekas tempat batu gerinda tangan untuk mengukur

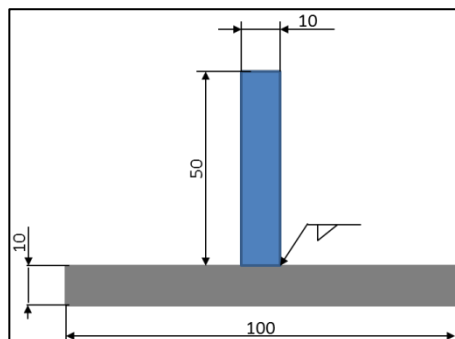
- takaran *flux* dan air pada percobaan III.
6. Sikat baja, berfungsi untuk membersihkan hasil sisa-sisa terak.
 7. Gerinda tangan yang berfungsi untuk melepaskan las SMAW sehingga spesimen bisa dilepaskan dari alat bantu.
 8. Gergaji mesin, yang berfungsi untuk memotong spesimen.
 9. Mesin poles.
 10. Kertas gosok grid 200, 400, 800, 1000, 1200, 1500 dan 2000.
 11. Mesin uji kekerasan.
 12. Mesin uji *impact*.

3.4 Langkah Penelitian

3.4.1 Pengelasan SAW Percobaan I dan II

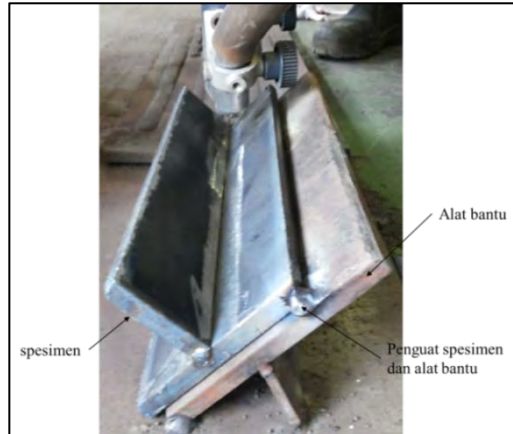
Pengelasan SAW dilakukan pada untuk membentuk *tee joint* dilakukan pada spesimen awal yang telah dipersiapkan. Percobaan I dengan mempertahankan *heat input* konstan dan percobaan II dengan memvariasikan kecepatan. Pengelasan nantinya akan dilakukan di PPNS. Adapun langkah pengelasan, yaitu:

1. Penempatan satu pasang pelat baja A36 yang telah dipersiapkan untuk dilas, sehingga membentuk sambungan *tee* seperti Gambar 3.2 menggunakan mesin las SMAW.



Gambar 3. 2. Sketsa sambungan

2. Penempatan spesimen pada alat bantu seperti terlihat pada Gambar 3.3 yang diperkuat dengan pengelasan SMAW pada bagian tertentu.



Gambar 3. 3. Cara penempatan spesimen pada alat bantu

3. Pengaturan parameter pengelasan spesimen H1 dengan menginput data pada monitor Gambar 3.4 menggunakan parameter yang ada pada Tabel 3.1.



Gambar 3. 4. Pengatur *input* parameter

4. Pengelasan untuk layer pertama dilakukan.
5. Slag/terak hasil pengelasan dibiarkan sebentar dan jangan lupa ditutupi dengan flux sehingga sudah tidak berwarna merah kemudian dibersihkan.
6. Ujung elektroda dikikir supaya pada pengelasan selanjutnya bisa terjadi loncatan api.
7. Setelah itu, dilakukan pengelasan untuk layer yang kedua, dan terak dibersihkan kembali dengan palu terak dan sikat baja.
8. Lepaskan spesimen H1 dari alat bantu dengan menggunakan bantuan gerinda tangan jika terdapat kesulitan apabila menggunakan cara manual.
9. Pengulangan langkah 1 – 8 untuk spesimen H2, H3, H4, A1, A2, A3, serta A4 menggunakan parameter yang dapat dilihat Tabel 3.1.
10. Pemotongan spesimen dengan ketebalan 20 mm untuk pengujian kekerasan, dan 13 mm untuk uji impact.

3.4.2 Pengelasan SAW Percobaan III

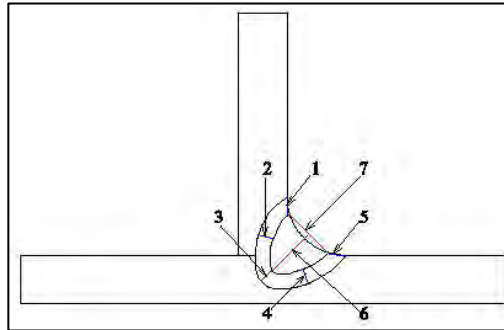
Metoda pengelasan SAW percobaan III menggunakan variasi kelembapan *flux*. Kondisi *flux* yang digunakan seperti telah dijelaskan pada sub bab 3.2 dengan menggunakan parameter pengelasan seperti pada Tabel 3.1 dan menggunakan langkah yang sama seperti percobaan I dan II.

3.4.3 Pengamatan Visual dan Pengujian Kekerasan Vickers

1. Penggerindaan spesimen yang telah dipersiapkan sebelumnya dengan mesin gerinda menggunakan kertas gosok grit 200 sampai 1000 secara bertahap.
 2. Mengetsa *macro* spesimen dengan mencelupkan ke dalam cairan asam nitrit+aquades selama 3–5 menit lalu mencelupkan spesimen ke dalam alkohol dan kemudian spesimen dicuci dengan air dan dikeringkan dengan *hair dryer*.
 3. Penandaan batas *weld metal*, HAZ, dan *based metal* dengan
-
-

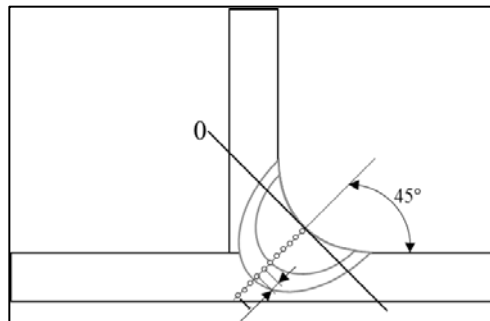
menggunakan *cutter*.

4. Spesimen difoto kemudian dilakukan pengukuran daerah *weld metal*, dan HAZ seperti terlihat pada Gambar 3.5. Dimana 1 – 5 menunjukkan pengukuran lebar HAZ dan selanjutnya dihitung nilai rata-ratanya, 6 kedalaman penetrasi dan 7 lebar kampuh las menggunakan *software* CATIA.



Gambar 3. 5. Sketsa pengukuran visual las

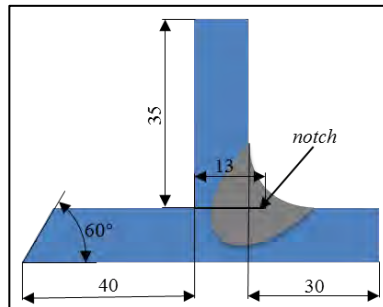
5. Pemolesan ulang spesimen untuk menghilangkan goresan.
6. Pengujian kekerasan dilakukan dengan jarak 1 mm mulai dari *weld metal*, HAZ hingga *based metal* menggunakan alat uji yang terdapat pada Lampiran C.2 halaman 51, seperti Gambar 3.6 dapat dilihat ilustrasi hasil pengujian kekerasan.



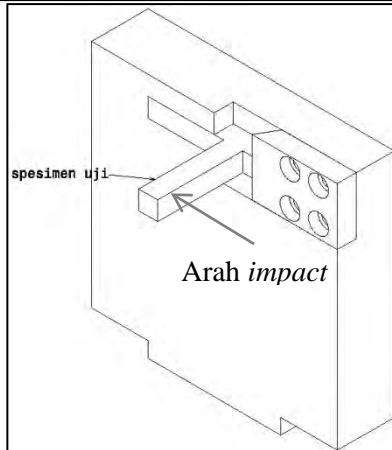
Gambar 3. 6. Skema pengujian *hardness vickers*

3.4.4 Proses Uji Impact

1. Spesimen yang telah dipotong setebal 13 mm kemudian *diskrap* tiap permukaan spesimen hingga kedua sisinya halus dan memiliki ketebalan 10 mm.
2. Pada salah satu sisi spesimen *dichamper* dengan sudut 60° seperti pada Gambar 3.7.
3. Pembuatan *notch* berbentuk U pada spesimen sesuai metode *izod* dengan menggunakan gergaji besi sedalam 13 mm seperti pada Gambar 3.7.
4. Peletakan spesimen pada *jig* dan *fixture* seperti pada Gambar 3.8.
5. Bandul dinaikkan sampai sudut awal 130° .
6. Bandul dilepaskan dari penyangga hingga menumbuk spesimen kemudian sudut akhir bandul yang ditunjukkan oleh jarum mesin *impact* dicatat.
7. Ayunan bandul dihentikan, kemudian penyangga dan bandul dikembalikan ke posisi semula.
8. Langkah 3–6 diulangi untuk spesimen yang tersisa.
9. Pengamatan visual dilakukan pada sambungan las sebagai hasil evaluasi.



Gambar 3. 7. Spesimen uji *impact*



Gambar 3. 8. Peletakkan spesimen uji *impact* pada *jig* dan *fixture*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa dan Hasil Pengamatan Visual

Setelah dilakukan pengamatan dan pengukuran secara visual menggunakan *software* CATIA didapatkan lebar HAZ yang kemudian diambil nilai rata-rata, pengukuran kedalaman penetrasi, dan lebar kampuh las. Data secara lengkap bisa dilihat pada Tabel 4.1.

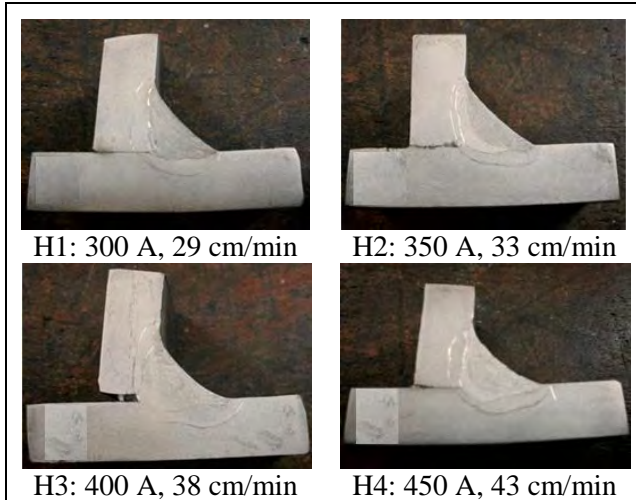
Tabel 4. 1. Data pengukuran dimensi lasan

Kode	HAZ	Kedalaman Penetrasi	Lebar <i>Weld Metal</i>
H1	2,087	7,060	15,332
H2	1,759	6,912	15,435
H3	2,256	8,283	16,800
H4	1,828	8,354	15,419
A1	1,939	8,441	15,483
A2	1,550	7,322	15,939
A3	1,626	7,013	13,698
A4	1,917	6,512	13,405
F1	3,130	7,205	14,411
F2	2,096	6,637	15,388
F3	2,440	6,500	14,872

4.1.1 Hasil Pengelasan *Heat Input* Konstan

Dengan menggunakan *heat input* 18000 J/cm Hasil pengelasan percobaan I (Lampiran Gambar B1 halaman 61) yang telah dipotong, dipoles lalu dietsa makro sehingga didapat daerah

weld metal, HAZ, dan *base metal* seperti terlihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1. Hasil makrografi percobaan dengan *heat input* konstan

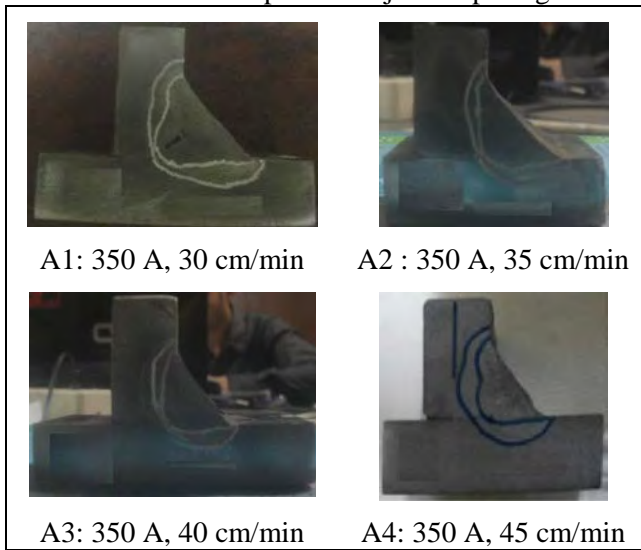
Dari gambar di atas terlihat bahwa spesimen H4 memiliki permukaan *weld metal* yang lebih cekung bila dibandingkan dengan spesimen percobaan I lainnya. Dari Tabel 4.1 bisa dilihat bahwa dimensi HAZ tidak sama dan hal ini juga dapat terlihat pada Gambar 4.1. Kedalaman penetrasi dan lebar *weld metal* berbeda satu dengan yang lain walaupun pengelasan dilakukan dengan *heat input* yang sama (18000 J/cm). Bisa dikatakan dalam hal ini bahwa arus dan kecepatan pengelasan mempunyai pengaruh tersendiri dalam menentukan morfologi lasan.

Selain itu bisa dilihat bahwa spesimen H3 cenderung tidak tegak lurus. Hal ini disebabkan oleh akibat persiapan awal spesimen yang kurang baik.

4.1.2 Hasil Pengelasan dengan Variasi Kecepatan

Dengan menggunakan variasi kecepatan yang berbeda

menghasilkan dimensi *weld metal* dan kedalaman penetrasi yang berbeda seperti yang sudah dijelaskan di bab sebelumnya. Setelah dilakukan percobaan II dengan menggunakan arus 350 A dan dengan memvariasikan kecepatan (hasil pengelasan dapat dilihat pada Lampiran B Gambar B 2 – B 5 Halaman 61 dan 62) dihasilkan makrostruktur seperti ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2. Hasil makrografi percobaan pengelasan dengan variasi kecepatan

Dari gambar di atas terlihat perbedaan dimensi antara daerah lasan yang satu dengan yang lain. Perubahan kecepatan tidak menunjukkan perbedaan yang jelas pada lebar HAZ, walaupun penetrasi pengelasan meningkat dengan semakin rendahnya kecepatan pengelasan. *Heat input* yang lebih besar yang bisa dihasilkan pada pengelasan dengan kecepatan pengelasan yang lebih rendah ini bisa menjadi penyebab penetrasi yang lebih dalam ini.

4.1.3 Hasil Pengelasan dengan Variasi Kelembaban *Flux*

Pengelasan dengan memvariasikan kelembaban *flux* menghasilkan makrostruktur seperti Gambar 4.3.



Gambar 4. 3. Hasil etsa makro penampang lasan percobaan dengan kelembaban flux yang berbeda

Dari gambar terlihat bahwa hasil pengelasan dengan *flux* yang lebih kering, 0% kelembaban, menghasilkan permukaan kumpuh las yang lebih rata dan penetrasi yang lebih dalam. Kehilangan sebagian panas karena adanya kelembapan *flux* bisa menjadi penyebab penurunan penetrasi.

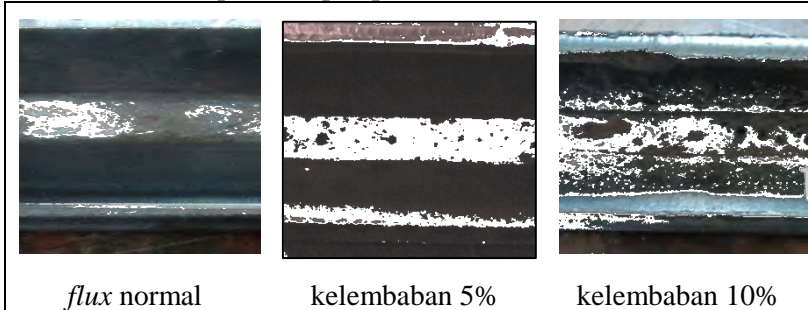
4.1.4 Cacat Las Porositas Spesimen yang Dilas dengan *Flux* Lembab

Seperti diketahui bahwa cacat las porositas merupakan salah satu jenis cacat pengelasan yang disebabkan karena terkontaminasinya logam las dalam bentuk gas yang terperangkap sehingga di dalam logam las terdapat rongga-rongga. Pada kasus yang terdapat pada spesimen F2 dan F3, porositas dapat disebabkan oleh kelembapan dari fluks yang digunakan.

Pada lampiran Gambar B7 dan Gambar B8 halaman 63 terlihat bahwa cacat porositas lebih banyak terdapat pada spesimen F2 dibanding spesimen F3. Hal tersebut disebabkan pada saat proses pengelasan berlangsung, *flux* tidak menutupi spesimen yang masih panas. Meskipun demikian, terlihat jelas

bahwa cacat porositas akan bertambah besar apabila kondisi flux lebih lembab.

Peningkatan kelembapan fluks menghasilkan cacat-cacat porositas yang semakin banyak dengan ukuran lubang yang semakin besar seperti tampak pada Gambar 4.4.




Gambar 4. 4. Kehadiran porositas pada pengelasan dengan kelembapan flux

4.2 Analisa dan Hasil Grafik Uji *Impact*

Pengujian *impact* dilakukan pada seluruh spesimen sehingga didapatkan data *impact* seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Hasil uji *impact*

Kode	Parameter Las		α°	β°		A (mm ²)		IS (kpm/mm ²)		IS _{avg} (kpm/mm ²)
	I (A)	v (cm/min)		I	II	I	II	I	II	
H1	300	29	130	30	28	65	60	1,457	1,597	1,5269
H2	350	33	130	30	32	60	65	1,579	1,440	1,5094
H3	400	38	130	42	32	70	55	1,243	1,702	1,4724
H4	450	43	130	28	30	60	60	1,597	1,579	1,5877
A1	350	30	130	27	30	65	70	1,481	1,353	1,4174
A2	350	35	130	28	27	55	65	1,742	1,481	1,6116
A3	350	40	130	65	70	40	50	1,672	1,237	1,4544
A4	350	45	130	44	56	40	45	2,138	1,677	1,9075
F1	350	33	130	34	45	40	40		2,310	2,3100
F2	350	33	130	28	28	80	65	1,197	1,474	1,3356
F3	350	33	130	55	55	50	50	1,527	1,527	1,5274

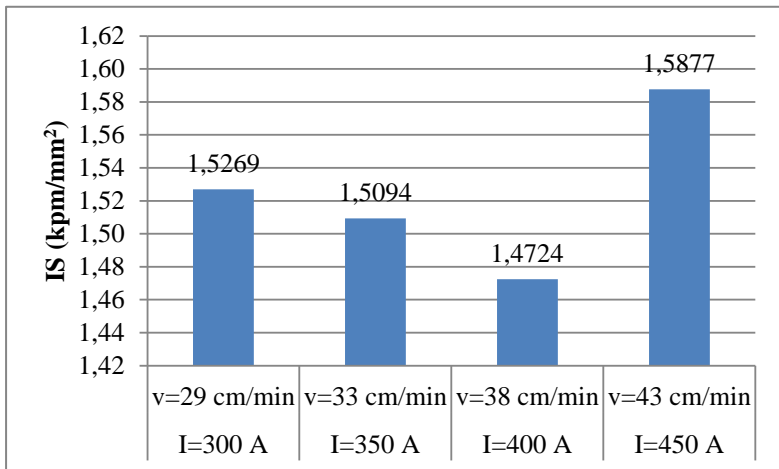


Menunjukkan spesimen tidak patah

4.2.1 Grafik Uji *Impact* pada *Heat Input* Konstan

Grafik pada Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan IS sebagai fungsi *heat input* konstan (18000 J/cm). Pengelasan dilakukan dengan memvariasikan arus dan kecepatan selama pengelasan. Bila dibandingkan dengan Tabel 4.1, *weld metal* yang besar dan penetrasi yang dalam tidak berpengaruh terhadap nilai kekuatan *impact*. Dengan menggunakan *heat input* yang sama, kualitas lasan dengan kenaikan arus dan kecepatan mengakibatkan kekuatan *impact* yang cenderung turun. Pada grafik terlihat bahwa nilai IS menurun hingga parameter las dengan kecepatan 38 cm/min dan arus 400 A, kemudian naik kembali pada saat pengelasan menggunakan kecepatan 43 cm/min dan arus 450 A.

Dari data pengukuran pada Tabel 4.1 terlihat bahwa penetrasi cenderung lebih dalam sehingga kekuatan las semakin berkurang seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.5. Nilai IS terbesar terdapat pada parameter las 43 cm/min; 450 A yaitu 1,5877 kpm/mm² yang memiliki pola patah. Nilai IS terkecil terdapat pada parameter las 38 cm/min yaitu 1,4724 kpm/mm² yang memiliki pola patah.

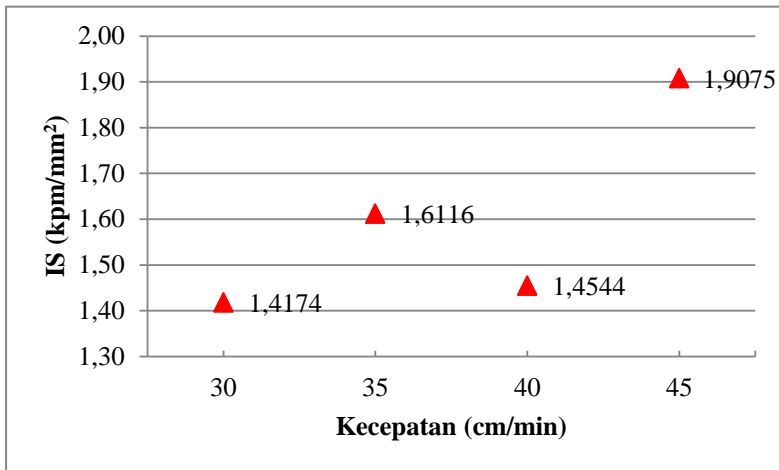


Gambar 4. 5. *Impact Strength* pada pengelasan dengan heat input konstan. Pengelasan dilakukan dengan memvariasikan arus dan kecepatan pengelasan.

4.2.2 Grafik Uji *Impact* dengan Variasi Kecepatan

Gambar 4.6 merupakan grafik IS sebagai fungsi kecepatan pengelasan dimana semakin tinggi kecepatan selama pengelasan maka harga IS akan menjadi semakin besar. Dari Tabel 4.1 terlihat bahwa kekuatan *impact* naik dengan semakin dangkal penetrasi dan *weld metal* kecil akibat proses pengelasan yang dilakukan semakin cepat. Nilai IS naik pada saat kecepatan 35 cm/min lalu turun pada saat kecepatan 40 cm/min kemudian naik kembali pada saat kecepatan 45 cm/min.

Nilai IS tertinggi terjadi pada saat pengelasan dengan kecepatan 45 cm/min yaitu 1,9075 kpm/mm² yang memiliki pola patah. Nilai IS terendah terjadi pada saat pengelasan dengan kecepatan 30 cm/min yaitu 1,4174 kpm/mm² yang memiliki pola patah.

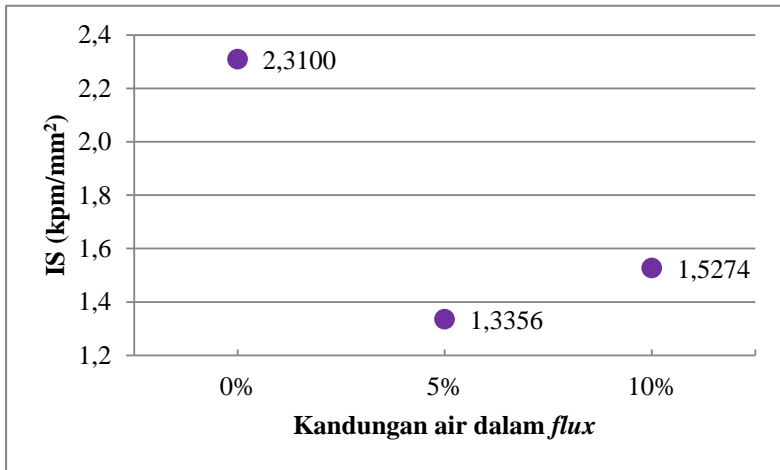


Gambar 4. 6. *Impact Strength* sebagai fungsi kecepatan pengelasan. Arus yang digunakan pada saat pengelasan 350 A.

4.2.3 Grafik Uji *Impact* dengan Variasi Kelembapan *Flux*

Gambar 4.7 merupakan grafik IS sebagai fungsi kelembapan dimana pada saat *flux* semakin lembap maka nilai IS cenderung lebih rendah akibat semakin dangkal penetrasi. Nilai IS naik pada saat kelembapan 0% lalu turun pada saat kecepatan 5% kemudian naik kembali pada saat kecepatan 10%.

Nilai IS tertinggi terjadi pada saat pengelasan dengan kelembapan *flux* 0% (tidak ada penambahan air sama sekali dalam *flux*) yaitu 2,3100 kpm/mm² yang merupakan spesimen dengan pola patah. Nilai IS terendah terjadi pada saat pengelasan dengan kelembapan flux 5% yaitu 1,3356 kpm/mm² yang mempunyai pola patah. Hal tersebut terjadi karena pada saat pengelasan terak yang masih panas dan belum dingin tidak tertutup oleh *flux*. Sebab *flux* terdapat di dalam *hopper* yang basah tidak dapat keluar sehingga pada spesimen F3 butuh usaha ekstra yaitu dengan menutupi *slag* yaitu dengan cara manual.

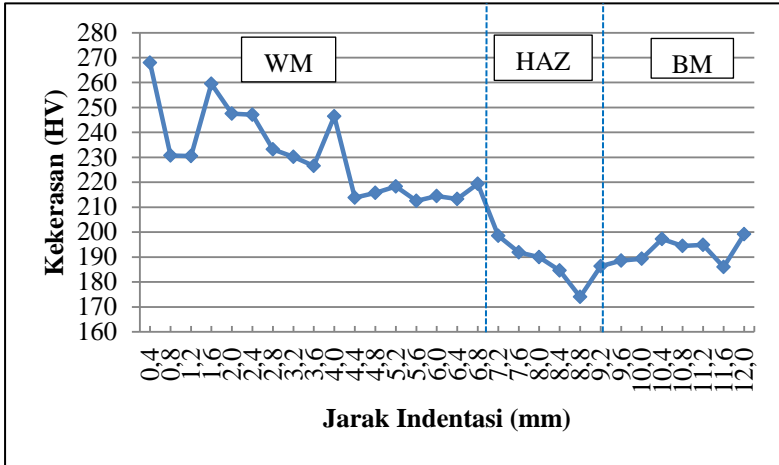


Gambar 4. 7. *Impact Strength* sebagai fungsi kelembaban flux. Pengelasan dilakukan pada arus 350 A dan kecepatan 33 cm/min

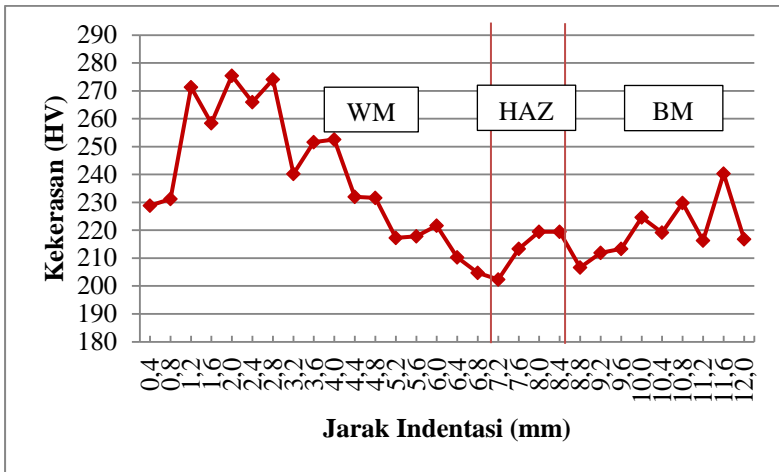
4.3 Analisa Grafik Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada seluruh spesimen las yang sebelumnya telah *disurface grinding* lalu dipoles menggunakan kertas amplas. Uji spesimen dilakukan pada setiap jarak indenter 0,4 mm sebanyak 30 titik. Adapun hasil pengujiannya dapat dilihat pada Lampiran A pada halaman 54 sampai halaman 60 yang kemudian dituangkan dalam bentuk grafik. Selanjutnya dilakukan analisa untuk setiap spesimennya.

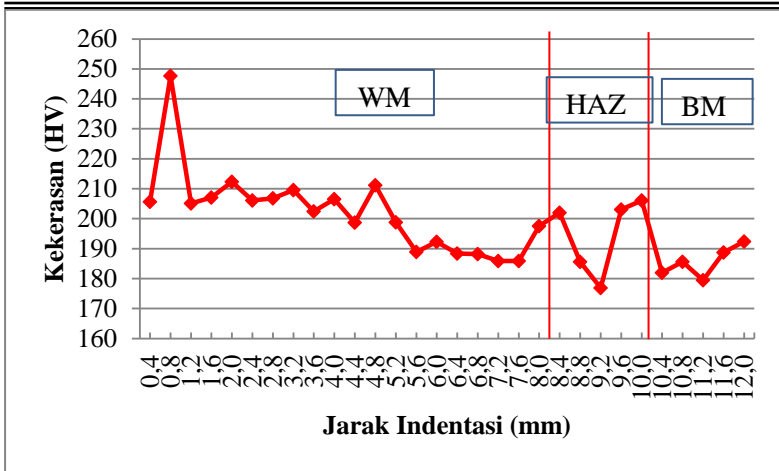
4.3.1 Grafik Kekerasan Fungsi Heat Input Konstan



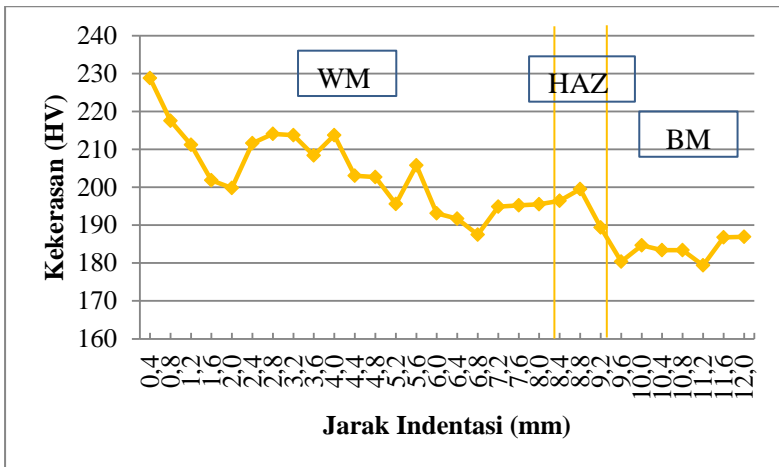
H1: 300 A; 29 cm/min



H2: 350 A; 33 cm/min

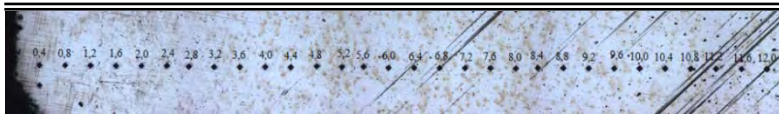


H3: 400 A; 38 cm/min



H4: 450 A; 43 cm/min

Gambar 4. 8. Grafik kekerasan, H fungsi *heat input* konstan



Gambar 4. 9. Hasil indentasi uji kekerasan

Gambar 4.8 spesimen H1 menunjukkan grafik kekerasan sebagai fungsi *heat input* konstan menggunakan arus 300 A dan kecepatan 29 cm/min. Kekerasan pada daerah weld metal cenderung menurun sampai daerah HAZ kemudian naik kembali pada daerah base metal. Berdasarkan data hasil pengujian yang terdapat pada lampiran pengujian spesimen H1 pada halaman 42 dan grafik diatas didapat nilai kekerasan tertinggi pada daerah weld metal terdapat pada jarak indentasi 0,4 mm yaitu 268,0 HV dan kekerasan terendah terletak pada jarak indentasi 5,6 mm yaitu 212,5 HV. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ terdapat pada jarak indentasi 7,2 mm dengan 198,5 HV dan kekerasan terendah terdapat pada jarak indentasi 8,8 mm dengan nilai kekerasan 174,0 HV. Sedangkan pada daerah *base metal* nilai kekerasan tertinggi terletak pada jarak indentasi 10,4 mm yaitu 197,2 HV dan terendah pada jarak 11,6 mm yaitu 186,0 HV.

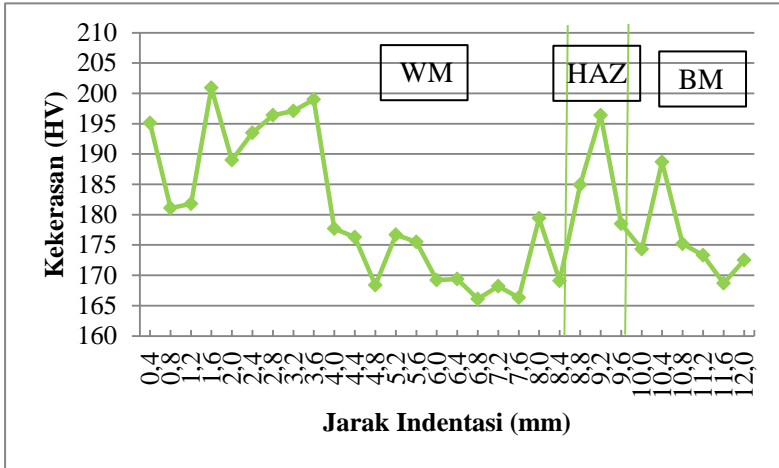
Gambar 4.8 merupakan grafik uji kekerasan spesimen H2 menggunakan arus 350 A dan kecepatan 33 cm/min dan Gambar 4.9 merupakan hasil indentasi. Kekerasan pada daerah *weld metal* cenderung naik hingga jarak indentasi 1,2 mm kemudian turun kembali dengan tren yang agak tajam hingga jarak 6,8 mm. Daerah HAZ dan *base metal* memiliki kekerasan dengan tren yang naik. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* terdapat pada jarak indentasi 2,0 mm yaitu 275,4 HV dan kekerasan terendah terletak pada jarak indentasi 6,8 mm yaitu 219,4 HV. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ terdapat pada jarak indentasi 8,4 mm yaitu 184,6 HV dan kekerasan terendah terdapat pada jarak indentasi 7,2 mm dengan nilai kekerasan 202,3 HV. Sedangkan pada daerah base metal nilai kekerasan tertinggi terletak pada jarak indentasi 11,6 mm yaitu

240,3 HV dan terendah pada jarak 8,8 mm yaitu 206,6 HV. Untuk data lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A kode spesimen H2 halaman 55.

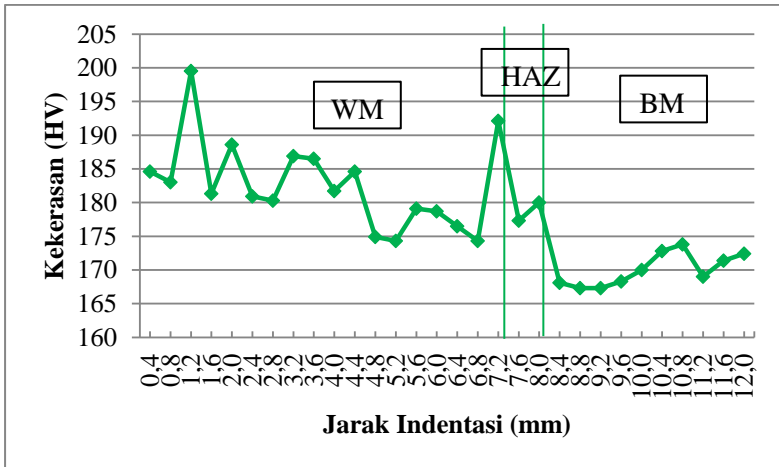
Gambar 4.8 menunjukkan grafik uji kekerasan spesimen H3 dengan arus 38 cm/min. Dari grafik tersebut terlihat bahwa kekerasan tertinggi terdapat pada daerah *weld metal* pada jarak indentasi 0,8 mm lalu kekerasan mengalami penurunan dan mengalami peningkatan pada saat mendekatifusion *line*. Kekerasan menurun kembali pada saat berada di daerah HAZ. Kekerasan di daerah HAZ pada jarak indentasi 9,2 mm merupakan kekerasanterendah pada spesimen H3. Kekerasan selajutnya meningkat tajam pada saat memasuki daerah *base metal* yang selanjutnya terlihat turun tajam kemudian konstan.

Gambar 4.8 menunjukkan grafik kekerasan sebagai fungsi *heat input* konstan dan hasil indentasi spesimen H4 menggunakan arus 450 A dan kecepatan 43 cm/min. Kekerasan tertinggi terdapat pada jarak 0,4mm yang berada pada daerah *weld metal* yang lalu menurun tajam kemudian naik kembali dan turun kembali. Pada saat mendekati *fusion line* kekerasan hanya mengalmi sedikit peningkatan dan menurun kembali pada saat berada di daerah HAZ lalu menurun tajam hingga daerah *base metal*. Pada daerah tersebut kekerasan terlihat cenderung konstan. Kekerasan di daerah *weld metal* pada spesimen H4 terlihat paling tinggi dibanding dengan area HAZ maupun *base metal*.

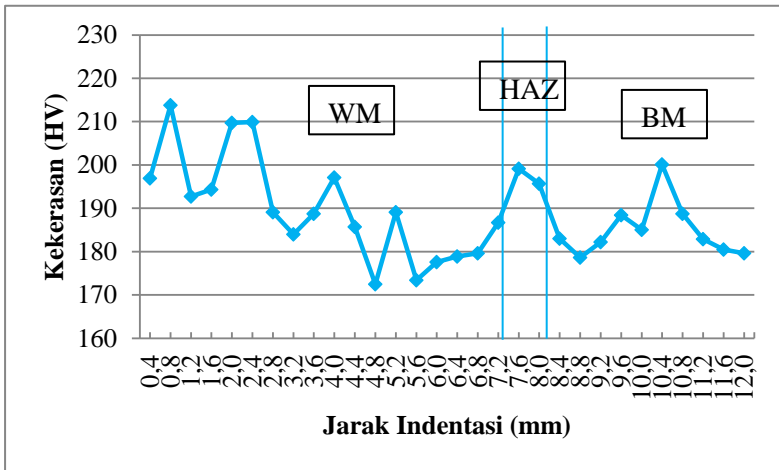
4.3.2 Grafik Kekerasan Fungsi Variasi Kecepatan



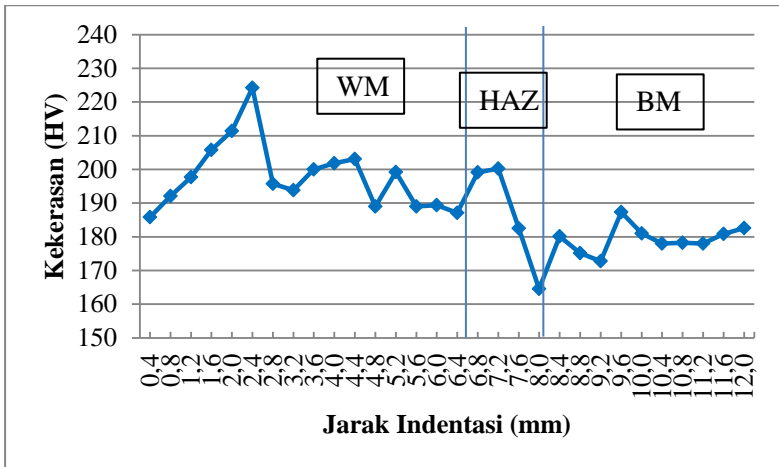
A1: 30 cm/min



A2: 35 cm/min



A3: 40 cm/min



A4: 45cm/min

Gambar 4. 10. Grafik kekerasan, A fungsi variasi kecepatan

Gambar 4.10 menunjukkan grafik kekerasan sebagai fungsi kecepatan pengelasan A1 sedangkan hasil indentasi dapat terlihat pada Gambar 4.9. Pengelasan dilakukan pada kecepatan 30 cm/min. Kekerasan di daerah *weld metal* di awal indentasi (jarak 0,4 mm) terlihat cukup tinggi namun mengalami penurunan yang cukup tajam (jarak 0,8 mm) lalu naik kembali dan turun kembali. Kekerasan pada jarak indentasi 4,0 mm sampai 7,6 mm terlihat cukup rendah dan bahkan bila dilihat pada jarak 6,8 mm merupakan kekerasan terendah. Selanjutnya kekerasan naik dengan tajam pada jarak 8,0 mm lalu turun kembali ketika mendekati *fusion line*. Pada daerah HAZ kekerasan naik dengan signifikan dan kembali turun ketika mendekati daerah *base metal*. Bila dilihat, kekerasan di *base metal* pada jarak 10,4 mm cukup tinggi. Untuk data lebih jelas, bisa dilihat pada Lampiran A spesimen A1 halaman 57.

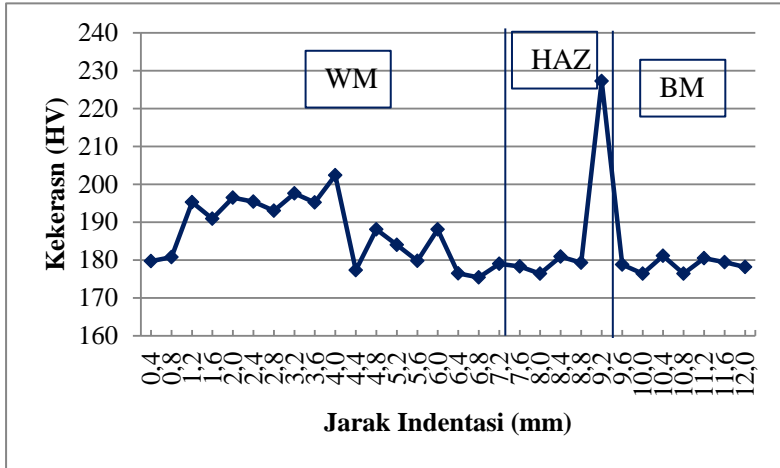
Gambar 4.10 menunjukkan grafik kekerasan fungsi kecepatan pengelasan untuk spesimen A2. Dari grafik terlihat bahwa kekerasan terendah terletak di daerah *base metal* yaitu 167,3 HV (jarak 8,8 mm dan 9,2 mm) dan tertinggi di *weld metal* 199,5 HV (jarak 1,2 mm). Hal ini terjadi karena daerah *base metal* tidak mendapat pengaruh panas akibat pengelasan dilakukan dengan kecepatan yang cukup cepat yaitu 35 cm/min. Meski kekerasan di *weld metal* cukup tinggi namun tetap konstan. Pada saat mendekati *fusion line* kekerasan kembali turun hingga daerah HAZ. Di daerah ini kekerasan stabil kemudian menurun tajam pada saat memasuki *base metal*. Pada daerah *base metal*, kekerasan umumnya rendah dan stabil. Untuk seluruh data lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran data pengujian halaman 57.

Gambar 4.10 menunjukkan grafik kekerasan fungsi kecepatan pengelasan spesimen A3 pada saat kecepatan 40 cm/min. Dapat terlihat jelas bahwa kekerasan tertinggi dan terendah terletak pada daerah *weld metal* yang umumnya tidak stabil yang disebabkan oleh *weld metal* mendapat panas yang tinggi dengan proses pengelasan yang sangat cepat. Namun ketika

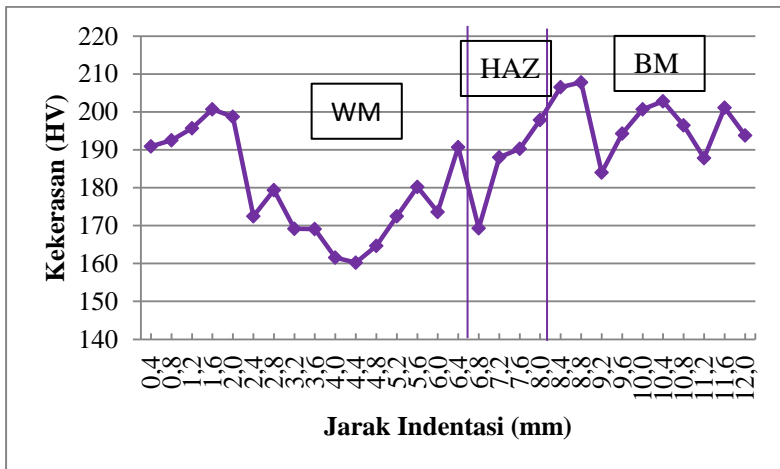
mendekati *fusion line* yaitu pada jarak 6,0 mm sampai 6,8 mm kekerasan cenderung stabil. Pada HAZ, kekerasan kembali naik dengan cukup tajam kemudian turun kembali ketikan memasuki daerah *base metal*. Pada *base metal*, kekerasan terlihat cenderung stabil meski pada jarak 10,4 mm mengalami peningkatan namun tidak terlalu tajam. Untuk mengetahui lebih jelas nilai kekerasan pada setiap titik indentasi dapat dilihat pada Lampiran A spesimen A3 halaman 58.

Dari Gambar 4.10 merupakan grafik kekerasan dengan kecepatan 45 cm/min. Dari grafik dapat dilihat bahwa kekerasan di *weld metal* meningkat secara perlahan di awal indentasi sampai 2,4 mm (merupakan kekerasan tertinggi yaitu 224,2 HV) kemudian menurun pada jarak 2,8 mm. Berdasarkan data yang terdapat pada Lampiran A spesimen A4 pada halaman 55 terlihat jelas bahwa nilai kekerasan umumnya terlihat naik turun namun tetap konstan yang berkisar antara 185 HV – 205 HV. Pada saat mendekati *fusion line* kekerasan naik secara perlahan hingga memasuki daerah HAZ. Diawal indentasi daerah HAZ cukup konstan lalu mengalamu penurunan yang cukup tajam pada saat indentasi berada pada jarak 8,0 mm yang merupakan kekerasan terendah pada spesimen A4 yaitu 164,5 HV. Di daerah *base metal* kekerasan terlihat konstan berada antara 170 HV – 190 HV.

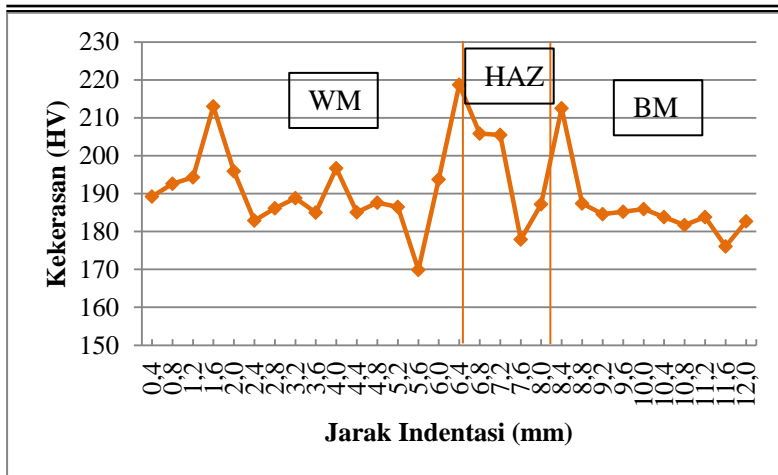
4.3.3 Grafik Kekerasan Fungsi Kelembapan Flux



F1: normal



F2: 5%



F3: 10%

Gambar 4. 11. Grafik kekerasan, F fungsi kelembapan *flux*

Pada Gambar 4.11 menunjukkan grafik kekerasan sebagai fungsi kelembapan *flux* F1 sedangkan hasil indentasi dapat terlihat pada Gambar 4.9. Dari grafik ini terlihat bahwa kekerasan terendah terletak pada daerah *weld metal*. Hal ini dimungkinkan pada saat pengelasan *flux* yang digunakan benar-benar kering sehingga pemanasan yang diperlukan cukup sehingga pendinginan dapat terjadi secara perlahan. Dari data yang terdapat pada Lampiran A, spesimen F1 halaman 59, terlihat nilai kekerasan di daerah *weld metal* terlihat cukup konstan yang berkisar antara 170 HV – 210 HV. Kekerasan di daerah HAZ terlihat cukup konstan setelah melewati *fusion line* namun naik dengan sangat signifikan pada jarak 9,2 mm yang merupakan titik dengan kekerasan tertinggi yaitu 196,4 HV kemudian turun kembali pada saat memasuki *base metal*. Di area ini, terlihat bahwa kekerasan cukup stabil.

Pada Gambar 4.11 merupakan grafik kekerasan fungsi kelembapan *flux* spesimen F2. Dapat dilihat bahwa kekerasan di

daerah *weld metal* cenderung lebih rendah dibandingkan daerah *base metal*. Hal ini mungkin akibat *flux* yang lembap tidak dapat langsung menutupi *slag* yang masih membara sehingga uap air dapat masuk diantara *weld metal* dan *base metal* yang mempengaruhi kekerasan di daerah *weld metal*. HAZ mengalami pendinginan yang cepat akibat kelembapan yang dimiliki oleh *flux*. Dari grafik juga terlihat bahwa kekerasan pada area *weld metal*, HAZ serta *base metal* sangat tidak stabil.

Pada Gambar 4.11 menunjukkan grafik kekerasan untuk spesimen F3 dengan menggunakan kelembapan flux 10%. Kekerasan pada grafik tersebut terlihat cenderung lebih stabil bila dibandingkan dengan grafik pada Gambar 4.16. Hal ini disebabkan pada saat pengelasan selesai dilakukan, *slag* langsung ditutupi dengan *flux* yang sama secara manual sehingga dapat meminimalkan terjadinya cacat porositas. Dari grafik terlihat kekerasan tertinggi terletak pada *weld metal* pada saat indentasi berada pada jarak 6,4 mm yaitu 218,7 HV dan terendah pada jarak 5,6 mm yaitu 169,9 HV. Kekerasan di daerah HAZ cenderung lebih stabil pada dua indentasi awal lalu mengalami penurunan yang signifikan pada jarak 7,6 mm kemudian naik kembali hingga memasuki daerah *base metal*. Setelah memasuki *base metal*, kekerasan kembali turun dan selanjutnya berlangsung konstan berkisar antara 175 HV – 190 HV.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan serangkaian percobaan dan analisa data, maka dapat diperoleh kesimpulan dari penelitian tugas akhir diantaranya:

1. Dengan menggunakan heat input sama menghasilkan lebar HAZ yang berbeda. Dengan menambah arus dan kecepatan pengelasan maka akan menghasilkan manik las yang lebih halus dan mempengaruhi kedalaman penetrasi serta dimensi kampuh.
2. Dengan menggunakan kecepatan pengelasan yang tinggi akan menghasilkan penetrasi yang lebih dangkal dan kampuh las menjadi lebih sempit akibat pemanasan yang kurang.
3. Dengan menggunakan flux yang lembap, menghasilkan cacat porositas.
4. Dari pengujian impact jika pengelasan menggunakan heat input 1800 J/mm maka parameter terbaik adalah kecepatan 43 cm/min dan arus 450 A, jika pengelasan dilakukan pada arus 350 A maka kecepatan pengelasan paling baik adalah 45 cm/min dan terpenting menggunakan flux yang kering (kelembapan 0%).
5. Nilai kekerasan yang paling tinggi pada pengelasan dengan menggunakan heat input sama terdapat pada sperimen dengan parameter kecepatan 33 cm/min dan arus 350 A yaitu 275,4 HV; jika pengelasan dengan menggunakan arus 350A kekerasan tertinggi pada kecepatan 45cm/min yaitu 224,2 HV dan jika melihat kelembapan flux kekerasan tertinggi pada flux dengan kondisi kering (kelembapan 0%) yaitu 227,2 HV.

5.2 Saran

Agar penelitian ini dapat bermanfaat dan menjadi lebih baik lagi, maka dari itu ada beberapa saran yang bisa diberikan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Untuk menghasilkan morfologi las yang lebih baik lagi, parameter seperti arus dan kecepatan pengelasan sangat perlu diperhatikan.
2. Selesai pengelasan, sebaiknya *slag* ditunggu sampai dingin dulu lalu dilepaskan guna menghindari cacat terutama porositas.
3. Semua fasilitas laboratorium yang ada di Teknik Mesin FTI – ITS sebaiknya digunakan untuk kegiatan tugas akhir sehingga biaya penelitian dapat diminimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, E. A. 2013. **Laporan Praktikum Uji Material Teknik Departemen Teknik Mesin FT-UI.** <http://navale-engineering.blogspot.com/2013/02/uji-bahan-impact-test-atau-uji-tumbuk_22.html>.
- Aziz, M. 2011. Uji *Impact*. < <http://material12-its.blogspot.com/2011/08/uji-impact.html>>.
- Dani, D. K. W. 2010. **Pengujian *Impact* Fenomena Patahan.**<<http://danidwikw.wordpress.com/2010/12/17/pengujian-impact-dan-fenomena-perpatahan/>>
- Djatmiko, R, D. 2008. **Diktat Teori Fabrikasi 2 STM 234(2SKS Teori)Semester Gasal.** Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- ESAB. 2002. **Submerged Arc Welding.**
- ESAB. 2010. **ISO and ESAB *Welding Positions*.** <www.esab.co.uk/gb/en/support/upload/XA00152120=welding_positions_ENG-new-ISO-june-2010.pdf>.
- Klas Weman. 2003. **Welding Process Handbook.** Boca Raton Boston New York Washington, DC: CRC Press.
- Kou, S. 2003. **Welding Metallurgy Second Edition.** United States of America: A John Wiley & Sons, INC., Publication.
- Lusianti, dkk.2013. **Laporan Praktikum Uji *Impact*.**<<http://teknikmesin2011unila.blogspot.com/2013/02/uji-impact.html>>.
- Mata Kuliah. 2010. **Metalografi.** <<http://ponimanmultin.blogspot.com/2010/11/metalografi.html>>.

-
-
- Sanjaya, R. 2013. **Uji Bahan: *Impact Test* atau Uji Tumbuk.** <http://navale-engineering.blogspot.com/2013/02/uji-bahan-impact-test-atau-uji-tumbuk_22.html>.
- Subandi.2009. **Ssubmerged Arc Welding (Pengelasan Busur Terendam).**<www.gammabuana.co.id/administrator/data/3.pdf>.
- Sutjipto, S. 2007. **Bahan Perkuliahan Material Teknik II Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin.** Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Wiryosumarto, H., dan Okumura, T. 2000. **Teknologi Pengelasan Logam.** Jakarta: PT. Pertja.

BIODATA PENULIS



Famessa Fitria Lestari, yang biasa dipanggil Famessa, lahir pada 24 Februari 1988 di Situmbuk, Sumatra Barat adalah anak pertama dari dua bersaudara. Penulis mulai mengenyam pendidikan sekolah dasar tahun 1994 – 2000 di SDN 7 Poso, Sulawesi Tengah kemudian pindah ke SD Impres Situmbuk, Sumatera Barat, SMP Negeri 2 Salimpaung, Sumatera Barat selama dua tahun (2000 -2002) kemudian pindah ke SMP Singa Geweh SangattaKalimantan Timur selama satu tahun (2002 – 2003), dan SMA Negeri 1 Sangatta, Kalimantan Timur (2003 – 2006). Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan diploma di Politeknik Negeri Bandung pada jurusan Teknik Mesin (2007 – 2010). Pada tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sarjana (S1) di jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan konsentrasi bidang studi Metallurgy. Penulis memiliki hobi olahraga. Keinginan untuk mengamalkan ilmu yang didapatkan selama kuliah, mendorong penulis untuk mengambil topik tugas akhir “Pengaruh Perubahan Arus Dan Kecepatan Serta Kelembapan *Flux* Terhadap Hasil *Impact* Dan Kekerasan Serta *Macrostructure Fillet Weld* Hasil Pengelasan *Submerged Arc Welding (SAW)*”. Penulis sangat berharap ilmu yang telah didapat agar bisa diamalkan untuk keluarga, lingkungan, bangsa dan negara. Penulis dapat dihubungi di alamat e-mail famessaf@yahoo.com.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

LAMPIRAN A DATA UJI KEKERASAN

Spesimen : H1
Mesin uji : Mitutoyo
Beban : 0,3 kg

Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)	Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
0,4	0,04562	0,04551	268,0	6,4	0,05120	0,05120	213,3
0,8	0,04851	0,04971	230,7	6,8	0,05044	0,05027	219,4
1,2	0,04886	0,04940	230,5	7,2	0,05229	0,05360	198,5
1,6	0,04629	0,04632	259,5	7,6	0,05346	0,05423	191,9
2,0	0,04772	0,04709	247,5	8,0	0,05142	0,05412	190,0
2,4	0,04745	0,04745	247,1	8,4	0,05508	0,05472	184,6
2,8	0,04903	0,04865	233,2	8,8	0,05621	0,05629	174,0
3,2	0,04927	0,04904	230,2	9,2	0,05498	0,05430	186,3
3,6	0,04934	0,04971	226,6	9,6	0,05420	0,05441	188,6
4,0	0,04747	0,05159	246,5	10,0	0,05421	0,05420	189,3
4,4	0,05159	0,05026	213,8	10,4	0,05316	0,05307	197,2
4,8	0,05026	0,05131	215,7	10,8	0,05290	0,05407	194,5
5,2	0,05048	0,05048	218,3	11,2	0,05342	0,05342	194,9
5,6	0,05142	0,05091	212,5	11,6	0,05527	0,05412	186,0
6,0	0,05142	0,05093	214,5	12,0	0,05304	0,05465	199,2

Spesimen : H2
Mesin Uji : Mitutoyo
Beban : 0,3 kg

Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)	Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
0,4	0,04865	0,04998	228,8	6,4	0,05186	0,05100	210,3
0,8	0,04963	0,04849	231,2	6,8	0,05213	0,05214	204,7
1,2	0,04528	0,04528	271,3	7,2	0,05313	0,05174	202,3
1,6	0,04682	0,04598	258,4	7,6	0,05136	0,05078	213,3
2,0	0,04527	0,04462	275,4	8,0	0,05034	0,05035	219,5
2,4	0,04574	0,04574	265,9	8,4	0,05034	0,05035	219,5
2,8	0,04480	0,04530	274,1	8,8	0,05066	0,05312	206,6
3,2	0,04870	0,04756	240,2	9,2	0,05115	0,05133	211,9
3,6	0,04701	0,04704	251,6	9,6	0,05069	0,05145	213,3
4,0	0,04709	0,04677	252,6	10,0	0,04963	0,04991	224,6
4,4	0,04903	0,04891	232,0	10,4	0,05053	0,05023	219,2
4,8	0,05128	0,05078	231,6	10,8	0,04920	0,04920	229,8
5,2	0,05070	0,05050	217,3	11,2	0,05102	0,05029	216,3
5,6	0,05063	0,05044	217,8	11,6	0,04754	0,04870	240,3
6,0	0,05009	0,05009	221,7	12,0	0,05020	0,05113	216,8

Spesimen : H3

Mesin : Mitutoyo

Beban : 0,3 kg

Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)	Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
0,4	0,05186	0,05219	205,6	6,4	0,05434	0,05434	188,4
0,8	0,04745	0,04734	247,7	6,8	0,05441	0,05434	188,2
1,2	0,05197	0,05201	205,1	7,2	0,05500	0,05440	185,9
1,6	0,05184	0,05183	207,1	7,6	0,05495	0,05445	185,9
2,0	0,05120	0,05118	212,3	8,0	0,05307	0,53080	197,5
2,4	0,05191	0,05200	206,1	8,4	0,05188	0,05306	202,0
2,8	0,05187	0,05287	206,8	8,8	0,05426	0,05525	185,6
3,2	0,05152	0,05152	209,6	9,2	0,05543	0,05673	176,9
3,6	0,05251	0,05234	202,4	9,6	0,05195	0,05270	203,1
4,0	0,05227	0,05153	206,5	10,0	0,05195	0,05195	206,1
4,4	0,05289	0,05293	198,7	10,4	0,05529	0,05529	182,0
4,8	0,05095	0,05170	211,2	10,8	0,05480	0,05469	185,6
5,2	0,05290	0,05290	198,8	11,2	0,05593	0,05542	179,5
5,6	0,05428	0,05426	188,9	11,6	0,05405	0,05455	188,7
6,0	0,05393	0,05340	192,3	12,0	0,05250	0,05505	192,4

Spesimen : H4

Mesin Uji : Mitutoyo

Beban : 0,3 kg

Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)	Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
0,4	0,04937	0,04925	228,8	6,4	0,05383	0,05392	191,7
0,8	0,04975	0,05141	217,5	6,8	0,05470	0,05423	187,5
1,2	0,05133	0,05132	211,2	7,2	0,05311	0,05373	194,9
1,6	0,05226	0,05280	201,8	7,6	0,05342	0,05334	195,2
2,0	0,05228	0,05325	199,8	8,0	0,05326	0,05344	195,5
2,4	0,05123	0,05132	211,6	8,4	0,05346	0,05300	196,4
2,8	0,05103	0,05092	214,1	8,8	0,05287	0,05276	199,5
3,2	0,05124	0,05081	213,7	9,2	0,05412	0,05419	189,4
3,6	0,05161	0,05173	208,4	9,6	0,05540	0,05566	180,4
4,0	0,05126	0,05079	213,7	10,0	0,05490	0,05486	184,7
4,4	0,05265	0,05206	203,0	10,4	0,05555	0,05509	183,4
4,8	0,05268	0,05209	202,7	10,8	0,05506	0,05509	183,4
5,2	0,05334	0,05430	195,6	11,2	0,05568	0,05569	179,4
5,6	0,05197	0,05201	205,8	11,6	0,05434	0,05486	186,8
6,0	0,05322	0,05413	193,1	12,0	0,05476	0,05436	186,9

Spesimen : A1
Mesin Uji : Mitutoyo
Beban : 0,3 kg

Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)	Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
0,4	0,05340	0,05341	195,1	6,4	0,05727	0,05734	169,4
0,8	0,05543	0,05542	181,1	6,8	0,05787	0,05788	166,1
1,2	0,05487	0,05577	181,8	7,2	0,05754	0,05748	168,2
1,6	0,05226	0,05298	200,9	7,6	0,05785	0,05783	166,3
2,0	0,05376	0,05474	189,0	8,0	0,05663	0,05665	179,4
2,4	0,05336	0,05390	193,5	8,4	0,05739	0,05732	169,1
2,8	0,05370	0,05274	196,4	8,8	0,05480	0,05489	184,9
3,2	0,05313	0,05313	197,1	9,2	0,05322	0,05322	196,4
3,6	0,05287	0,05288	199,0	9,6	0,05682	0,05583	178,5
4,0	0,05598	0,05593	177,7	10,0	0,05654	0,05645	174,3
4,4	0,05617	0,05616	176,3	10,4	0,05423	0,05436	188,7
4,8	0,05748	0,05748	168,4	10,8	0,05622	0,05648	175,2
5,2	0,05540	0,05681	176,7	11,2	0,05648	0,05683	173,3
5,6	0,05636	0,05625	175,5	11,6	0,05697	0,05790	168,7
6,0	0,05721	0,05748	169,2	12,0	0,05663	0,05695	172,5

Spesimen : A2
Mesin Uji : Mitutoyo
Beban : 0,3 kg

Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)	Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
0,4	0,05490	0,05491	184,6	6,4	0,05613	0,05614	176,5
0,8	0,05513	0,05514	183,0	6,8	0,05665	0,05636	174,3
1,2	0,05283	0,05279	199,5	7,2	0,05365	0,05398	192,1
1,6	0,05513	0,05561	181,3	7,6	0,05595	0,05607	177,3
2,0	0,05431	0,05430	188,6	8,0	0,05559	0,05559	180,0
2,4	0,05550	0,05541	180,9	8,4	0,05757	0,05750	168,1
2,8	0,05589	0,05520	180,3	8,8	0,05791	0,05744	167,3
3,2	0,05456	0,05456	186,9	9,2	0,05767	0,05767	167,3
3,6	0,05425	0,05500	186,5	9,6	0,05745	0,05751	168,3
4,0	0,05671	0,05395	181,7	10,0	0,0572	0,05720	170,0
4,4	0,05594	0,05440	184,6	10,4	0,05664	0,05679	172,8
4,8	0,05661	0,05618	174,9	10,8	0,05658	0,05659	173,8
5,2	0,05650	0,05651	174,3	11,2	0,05748	0,05726	169,0
5,6	0,05523	0,05621	179,1	11,6	0,05698	0,05697	171,4
6,0	0,05579	0,05581	178,7	12,0	0,05668	0,05694	172,4

Spesimen : A3

Mesin Uji : Mitutoyo

Beban : 0,3 kg

Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)	Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
0,4	0,05341	0,05291	196,9	6,4	0,05572	0,05580	178,9
0,8	0,05048	0,05155	213,8	6,8	0,05558	0,05573	179,6
1,2	0,05338	0,05408	192,7	7,2	0,05384	0,05533	186,7
1,6	0,05352	0,05351	194,3	7,6	0,05286	0,05286	199,1
2,0	0,05116	0,05186	209,7	8,0	0,05340	0,05322	195,7
2,4	0,05112	0,05185	209,9	8,4	0,05544	0,05484	183,0
2,8	0,05412	0,05412	189,1	8,8	0,05600	0,05563	178,6
3,2	0,05565	0,05433	184,0	9,2	0,05541	0,05511	182,2
3,6	0,05518	0,05341	188,7	9,6	0,05430	0,05438	188,4
4,0	0,05364	0,05262	197,1	10,0	0,05494	0,05474	185,0
4,4	0,05495	0,05451	185,7	10,4	0,05273	0,05273	200,1
4,8	0,05544	0,05716	172,5	10,8	0,05533	0,05426	188,7
5,2	0,05425	0,05425	189,1	11,2	0,05506	0,05523	182,9
5,6	0,05672	0,05656	173,4	11,6	0,05550	0,05559	180,5
6,0	0,05592	0,05600	177,6	12,0	0,05573	0,05557	179,6

Spesimen : A4

Mesin Uji : Mitutoyo

Beban : 0,3 kg

Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)	Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
0,4	0,05453	0,05492	185,8	6,4	0,05491	0,05416	187,1
0,8	0,05401	0,05361	192,1	6,8	0,05286	0,05286	199,1
1,2	0,05305	0,05304	197,7	7,2	0,05277	0,05266	200,2
1,6	0,05206	0,05194	205,8	7,6	0,05400	0,05640	182,5
2,0	0,05130	0,05130	211,4	8,0	0,05816	0,05815	164,5
2,4	0,04982	0,04981	224,2	8,4	0,05532	0,05583	180,1
2,8	0,05331	0,05331	195,7	8,8	0,05627	0,05647	175,1
3,2	0,05388	0,05329	193,8	9,2	0,05586	0,05588	172,8
3,6	0,05274	0,05274	200,0	9,6	0,05448	0,05451	187,3
4,0	0,05242	0,05258	201,8	10,0	0,05544	0,05544	181,0
4,4	0,05236	0,05231	203,1	10,4	0,05591	0,05591	178,0
4,8	0,05438	0,05412	189,0	10,8	0,05590	0,05585	178,2
5,2	0,05289	0,05280	199,2	11,2	0,05588	0,05588	178,0
5,6	0,05445	0,05406	189,0	11,6	0,05549	0,05546	180,8
6,0	0,05394	0,05444	189,4	12,0	0,05520	0,05520	182,6

Spesimen : F1
Mesin Uji : Mitutoyo
Beban : 0,2 kg

Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)	Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
0,4	0,04563	0,04522	179,7	6,4	0,04596	0,04573	176,5
0,8	0,04520	0,04530	180,8	6,8	0,04599	0,04597	175,4
1,2	0,04327	0,04390	195,3	7,2	0,04563	0,04541	179,0
1,6	0,04408	0,04408	190,9	7,6	0,04583	0,04528	178,3
2,0	0,04405	0,04283	196,5	8,0	0,04597	0,04574	176,4
2,4	0,04397	0,04318	195,4	8,4	0,04531	0,04524	180,9
2,8	0,04384	0,04384	193,0	8,8	0,04584	0,04520	179,3
3,2	0,04333	0,04333	197,6	9,2	0,04062	0,04020	227,2
3,6	0,04327	0,04345	195,2	9,6	0,04549	0,04560	178,8
4,0	0,04327	0,04327	202,4	10,0	0,04582	0,04589	176,4
4,4	0,04507	0,04639	177,3	10,4	0,04508	0,04542	181,1
4,8	0,04441	0,04441	188,1	10,8	0,04591	0,04580	176,4
5,2	0,04663	0,04416	184,0	11,2	0,04561	0,04505	180,5
5,6	0,04555	0,04562	179,8	11,6	0,04547	0,45470	179,4
6,0	0,04459	0,04423	188,1	12,0	0,04551	0,04562	178,2

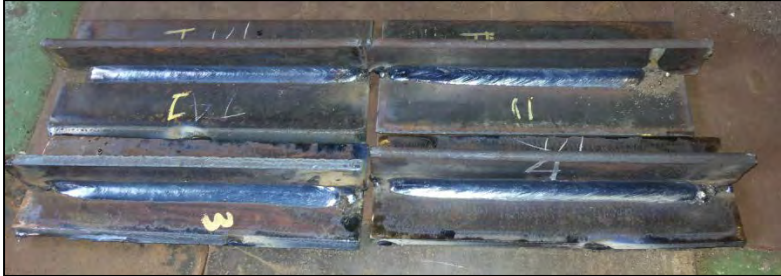
Spesimen : F2
Mesin Uji : Mitutoyo
Beban : 0,3 kg

Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)	Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
0,4	0,05398	0,05398	190,9	6,4	0,05400	0,54040	190,7
0,8	0,05375	0,05375	192,5	6,8	0,05733	0,05732	169,3
1,2	0,05331	0,05331	195,7	7,2	0,05441	0,05438	188,0
1,6	0,05359	0,05270	200,7	7,6	0,05407	0,05407	190,3
2,0	0,05291	0,05291	198,7	8,0	0,05284	0,05320	197,9
2,4	0,05680	0,05677	172,5	8,4	0,05197	0,05184	206,5
2,8	0,05565	0,05573	179,4	8,8	0,05223	0,05123	207,8
3,2	0,05733	0,05734	169,2	9,2	0,05500	0,05497	184,0
3,6	0,05736	0,05736	169,1	9,6	0,05391	0,05351	194,3
4,0	0,05871	0,05862	161,6	10,0	0,05273	0,05257	200,7
4,4	0,05892	0,05893	160,2	10,4	0,05209	0,05266	202,8
4,8	0,05828	0,05800	164,7	10,8	0,05332	0,05309	196,5
5,2	0,05691	0,05666	172,5	11,2	0,05412	0,05472	187,8
5,6	0,05555	0,05555	180,2	11,6	0,05219	0,05300	201,1
6,0	0,05660	0,05641	173,6	12,0	0,05355	0,05359	193,8

Spesimen : F2
Mesin Uji : Mitutoyo
Beban : 0,3 kg

Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)	Jarak Indentor (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	Kekerasan (HV)
0,4	0,05398	0,05448	189,2	6,4	0,05048	0,05048	218,7
0,8	0,05397	0,05352	192,6	6,8	0,05230	0,05169	205,8
1,2	0,05348	0,05352	194,3	7,2	0,05246	0,05159	205,5
1,6	0,05159	0,05066	213,0	7,6	0,05530	0,05654	177,9
2,0	0,05329	0,05329	195,9	8,0	0,05386	0,05516	187,2
2,4	0,05500	0,05529	182,9	8,4	0,05058	0,05177	212,5
2,8	0,05514	0,05422	186,1	8,8	0,05431	0,05466	187,4
3,2	0,05382	0,05476	188,8	9,2	0,05480	0,05498	184,6
3,6	0,05470	0,05498	185,0	9,6	0,05416	0,05545	185,2
4,0	0,05258	0,05378	196,7	10,0	0,05494	0,05445	185,9
4,4	0,05440	0,05426	185,1	10,4	0,05509	0,05494	183,8
4,8	0,05461	0,05432	187,6	10,8	0,05533	0,05533	181,7
5,2	0,05349	0,05573	186,5	11,2	0,05538	0,05565	183,8
5,6	0,05639	0,05805	169,9	11,6	0,05563	0,05578	176,1
6,0	0,05364	0,05355	193,7	12,0	0,05519	0,05519	182,7

LAMPIRAN B HASIL PENGELASAN



Gambar B 1. Hasil las percobaan 1, spesimen H1 (kiri atas); H2 (kanan atas); H3 (kiri bawah); dan H4 (kanan bawah)



Gambar B 2. Hasil las spesimen A1



Gambar B 3. Hasil las spesimen A2



Gambar B 4. Hasil las spesimen A3



Gambar B 5. Hasil las spesimen A4



Gambar B 6. Hasil pengelasan spesimen F1



Gambar B 7. Hasil pengelasan spesimen F2



Gambar B 8. Hasil pengelasan spesimen F3

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C

ALAT UJI



Gambar B 9. Alat uji *impact*



Gambar B 10. Alat uji *hardness vickers*