

SKRIPSI

**PERUBAHAN SIFAT FISIK DAN MEKANIK
SAMBUNGAN LAS BUTT JOINT BERDASARKAN
VARIASI KAMPUH DAN TEBAL PELAT
MENGUNAKAN LAS SMAW PADA ARUS 110 A**



**YOPE KORINTUS SIHOMBING
03121005021**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
2017**

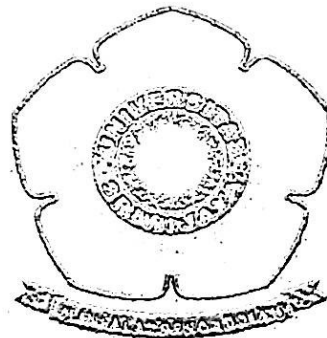
663.151
Joh P
2017

. 5403375

SKRIPSI

**PERUBAHAN SIFAT FISIK DAN MEKANIK
SAMBUNGAN LAS *BUTT JOINT* BERDASARKAN
VARIASI KAMPUH DAN TEBAL PELAT
MENGUNAKAN LAS SMAW PADA ARUS 110 A**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



YOPE KORINTUS SIHOMBING
03121005024

**JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
2017**

HALAMAN PENGESAHAN

PERUBAHAN SIFAT FISIK DAN MEKANIK SAMBUNGAN LAS *BUTT JOINT* BERDASARKAN VARIASI KAMPUH DAN TEBAL PELAT MENGUNAKAN LAS SMAW PADA ARUS 110 A

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh:

YOPE KORINTUS SIHOMBING
03121005024

Indralaya, Maret 2017

Diperiksa dan disetujui oleh,
Pembimbing Skripsi



Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, MT.
NIP. 19630719 199003 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin


Yopi Madi, S. T., M.T.

NIP. 19690213 199503 1 001

UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN

Agenda : 013/TM/AC/2017
Diterima Tgl. : 21/3-2017
Paraf : Vef.

SKRIPSI

Nama : YOPE KORINTUS SIHOMBING
NIM : 03121005024
Jurusan : TEKNIK MESIN
Bidang Studi : TEKNIK MATERIAL
Judul Skripsi : PERUBAHAN SIFAT FISIK DAN MEKANIK
SAMBUNGAN LAS *BUTT JOINT* BERDASARKAN
VARIASI KAMPUH DAN TEBAL PELAT
MENGUNAKAN LAS SMAW PADA ARUS 110 A
Diberikan : 21 OKTOBER 2016
Selesai : 28 FEBRUARI 2017

Indralaya, 20 Maret 2017
Ketua Jurusan Teknik Mesin



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Perubahan Sifat Fisik Dan Mekanik Sambungan Las *Butt Joint* Berdasarkan Varias Kampuh Dan Tebal Pelat Menggunakan Las SMAW Pada Arus 110 A” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Inderalaya, 28 Februari 2017

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi :

Ketua : Qomarul Hadi, S.T., M.T.
NIP. 19690213 199503 1 001


(.....)

Anggota : 1. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP. 195903121 198703 1 001


(.....)

2. Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19790105 200312 1 002


(.....)

Menyetujui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Qomarul Hadi, S.T., M.T.
NIP. 19690213 199503 1 001

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T.
NIP. 19630719 199003 2 001

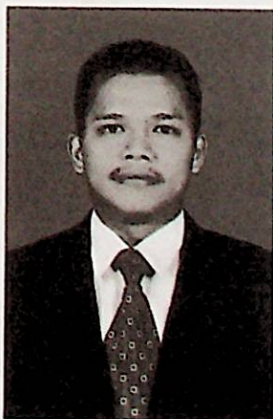
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yope Korintus Sihombing
NIM : 03121005024
Judul : Perubahan Sifat Fisik Dan Mekanik Sambungan Las *Butt Joint*
Berdasarkan Variasi Kampuh Dan Tebal Pelat Menggunakan
Las SMAW Pada Arus 110 A

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Indralaya, Maret 2017



Yope Korintus Sihombing
NIM. 03121005024



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
Jl. Raya Palembang - Prabumulih KM.32 Inderalaya (OI) Telp. (0711) 580272

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yope Korintus Sihombing
NIM : 03121005024
Judul : Perubahan Sifat Fisik Dan Mekanik Sambungan Las *Butt Joint*
Berdasarkan Variasi Kampuh Dan Tebal Pelat Menggunakan
Las SMAW Pada Arus 110 A.

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, 20 Maret 2017

Penulis,

Yope Korintus Sihombing
NIM. 03121005024

RIWAYAT PENULIS

Penulis bernama lengkap Yope Korintus Sihombing, dilahirkan di Pematangsiantar pada tanggal 29 April 1994. Merupakan anak ke empat dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Alm. Asiro Sihombing dan Ibu Jentina boru Silaban. Penulis memulai pendidikan di SD Negeri 125536 Pematangsiantar pada tahun 2000 yang ditempuh selama enam tahun. Setelah tamat, pada tahun 2006 penulis melanjutkan pendidikan di SMP RK Bintang Timur Pematangsiantar.

Setelah menyelesaikan pendidikan di SMP RK Bintang Timur Pematangsiantar pada tahun 2009, penulis melanjutkan pendidikannya di SMK RK Cinta Rakyat Pematangsiantar selama tiga tahun dan memilih Jurusan Teknik Mekanik Otomotif. Selama menempuh pendidikan SMK, penulis aktif di bidang pengembangan minat dan keahlian mekanik otomotif. Setelah menyelesaikan pendidikan di SMK RK Cinta Rakyat pada tahun 2012, melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) penulis melanjutkan pendidikannya di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Angkatan 2012.

Selama menjadi mahasiswa Universitas Sriwijaya, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan di internal maupun eksternal kampus Universitas Sriwijaya. Penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Metallurgi periode 2015-2016 dan 2016 – 2017. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi internal kampus Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) periode 2012-2016 divisi RisTek (Riset dan Teknologi) dan juga pernah mengikuti kompetisi tingkat nasional yang diselenggarakan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan di Surabaya pada tahun 2014. Dalam bidang implementasi ilmu, penulis pernah mengikuti kerja praktek di PT PLN (Persero) Pembangkitan Sumbagsel Sektor Pembangkitan Keramasan Pusat Listrik Indralaya pada tahun 2015.

Orangtua penulis adalah tokoh yang paling berperan dalam memberikan dukungan serta doa dalam kehidupan penulis. Perjuangan Ibu tercinta yang tak pernah lelah untuk memberikan nasihat dan motivasi kepada penulis, sehingga penulis dapat memberikan yang terbaik serta memuliakan Bapa Di Sorga.

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

- *Ingatlah akan Penciptamu pada masa mudamu sebelum tiba hari-hari yang malang dan mendekat tahun-tahun yang kaukatakan “Tak ada kesenangan bagiku di dalamnya”.*
- *Marilah kepada-Ku, semua yang letih lesu dan berbeban berat, Aku akan memberi kelegaan kepadamu.*
- *Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku.*

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. *Puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus.*
2. *Ibuku tercinta yang berjuang untuk memberikan pendidikan yang terbaik.*
3. *Dosen pembimbing yang telah membimbing saya.*
4. *Almamater UNSRI dan Jurusan Teknik Mesin UNSRI*
5. *Keluarga besarku.*
6. *Peneliti selanjutnya yang ingin menyempurnakan penelitian ini.*
7. *Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi untuk Indonesia tercinta.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menuntaskan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini berjudul **“Perubahan Sifat Fisik Dan Mekanik Sambungan Las *Butt Joint* Berdasarkan Variasi Kampuh Dan Tebal Pelat Menggunakan Las SMAW Pada Arus 110 A”**. Skripsi ini merupakan bukti tertulis bahwa rangkaian tugas akhir telah selesai dijalankan, serta salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Selama penulisan Skripsi ini tentunya penulis tidak bekerja sendiri, akan tetapi mendapat bantuan serta dukungan dari banyak orang, baik secara langsung maupun tidak. Oleh karena itu, dalam kesempatan penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus, atas kasih karunia dan damai sejahtera yang Tuhan berikan sehingga penulis dapat memulai penelitian dan menyelesaikan skripsi.
2. Ibu Penulis Jentina boru Silaban dan Kakak Monika Priski Sihombing yang selalu mendukung dan mendoakan penulis selama penulisan skripsi.
3. Ibu Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah membimbing, mengarahkan dan memotivasi penulis selama proses penyelesaian skripsi.
4. Bapak Qomarul Hadi, S. T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Ir. Dyos Santoso, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
6. Seluruh Dosen Teknik Mesin yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan perkuliahan.
7. Seluruh Staf dan Administrasi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

8. Pak Asyer Paulus, Pak Lukman, Tulang Jeri Aritonang serta rekan-rekan karyawan *pipe shop* PT. Pupuk Sriwidjaja yang membantu dalam penelitian.
9. Pak Suyatno selaku Administrator Laboratorium Metallurgi Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya serta Kak Irwanto selaku Administrator Laboratorium CNC – CAD/CAM Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
10. Keluarga Besar Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) terutama angkatan 2012 dan Batak Mesin Dedi, Evan, Pulo, Maryan, Evan, Eben, Leo, Roni, Jusran.
11. Bang Parulian Tua Sinaga dan adik-adik teknik mesin Andrikson Siringo-
ringo, Boadi Sianturi, Christian Sinaga, Sugiarto, Morris Sinaga dan lainnya,
serta adik-adik jurusan sebelah Christian Nababan, Jodi Silaen, Nancy
Banjarnahor dan lainnya yang telah memberi semangat dan membantu dalam
penelitian, serta menemani dalam perjalanan ke Sungailiat.
12. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu
penulis dan berperan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir skripsi ini masih memerlukan pengembangan dan masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar selanjutnya penelitian ini menjadi lebih baik. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak yang berkepentingan serta memberi kontribusi bagi masyarakat luas.

Indralaya, 14 Maret 2017



Penulis

RINGKASAN

PERUBAHAN SIFAT FISIK DAN MEKANIK SAMBUNGAN LAS *BUTT JOINT*
BERDASARKAN VARIASI KAMPUH DAN KETEBALAN PELAT
MENGUNAKAN LAS SMAW PADA ARUS 110A
Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 28 Februari 2017

Yope Korintus Sihombing; Dibimbing oleh Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, MT.

*Transformation Of Physical Properties And Mechanical Properties Butt Joint
Welding Depend On Groove Variety And Thickness Of Plate Using SMAW Welding
At 110 A Electric Current*

xii + 83 halaman, 56 gambar, 7 tabel, 28 lampiran

Pengelasan membantu pekerjaan manusia dalam bidang penyambungan konstruksi logam yang mencakup konstruksi umum, konstruksi baja, dan konstruksi mesin, dan lain sebagainya. Seiring berkembangnya teknologi berimbas pada perkembangan produksi dan konstruksi dalam meningkatnya kebutuhan manusia yang menuntut jaminan kekuatan dari sebuah konstruksi. Dalam penyambungan logam menggunakan pengelasan pertimbangan perbedaan bentuk kampuh dan ketebalan pelat sebagai dasar perbandingan sifat fisik dan mekanik dengan bentuk sambungan tumpul (*butt joint*). Penggunaan las jenis *Shield Metal Arc Welding (SMAW)* merupakan pengelasan yang paling mudah dilakukan dan peralatan pengelasannya sederhana. Alur penelitian dimulai dari melakukan studi literatur berdasarkan jurnal, buku dan sumber lainnya yang mendukung terhadap penelitian ini. Sambil melakukan studi literatur, dimulai proses pengelasan yang diawali persiapan bahan dengan pemotongan dan pembuatan kampuh dari logam pelat baja karbon ketebalan 6 mm dan 3.2 mm. Tahap selanjutnya adalah proses pengelasan, pengelasan jenis *SMAW* pada arus 110 A. Setelah proses pengelasan, dilanjutkan pengujian komposisi kimia dengan menggunakan PMI Master Pro buatan *Oxford Instruments Analytical GmbH Wellesweg 31* yang dilaksanakan di PT. Pupuk Sriwidjaja. Hasil pengujian komposisi kimia diperoleh pelat 6 mm mengandung unsur karbon sebesar 0.163% dan pelat 3.2 mm mengandung unsur karbon sebesar 0.0899%. Hal ini menunjukkan bahwa jenis logam yang dilas adalah baja karbon rendah. Selanjutnya setelah pengujian komposisi, dilakukan pengujian tak merusak menggunakan *dye penetrant* berbentuk cair. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat adanya cacat di permukaan sambungan yang tidak terlihat secara kasat mata. Pengujian tak merusak dilakukan dalam dua tahap, yaitu setelah pengelasan dan setelah daerah sambungan las diratakan. Hasil pengujian tak merusak menggunakan *dye penetrant* menunjukkan terdapat cacat porositas, percikan las, dan *undercut*. Setelah pengujian tak merusak, dilanjutkan pengamatan struktur makro. Pengamatan ini bertujuan untuk menampilkan batas antara daerah lasan dengan daerah terpengaruh panas (*heat affected zone*) atau *HAZ*, dan batas *HAZ* dengan logam induk. Untuk menampilkan batas tersebut, digunakan cairan etsa makro dengan komposisi 38 mL HCL, 12 mL H₂SO₄, 50 mL H₂O pada suhu 70°C – 82°C dengan cara benda uji yang

telah diampelas hingga *grit* 800 dan permukaannya mengkilap, dicelupkan ke dalam cairan etsa selama 20 menit. Hasil pengamatan struktur makro menunjukkan daerah logam las berwarna abu-abu, sedangkan daerah *HAZ* berwarna lebih terang dari logam induk dan terletak di pinggir logam las. Setelah pengamatan struktur makro, dilakukan pengujian kekerasan dengan metode Vickers dengan acuan kepada JIS B 7725. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh ukuran ketahanan benda uji terhadap deformasi plastis terlokalisasi. Hasil pengujian kekerasan Vickers diperoleh nilai kekerasan tertinggi pada logam las berada pada kampuh V ganda baik pada pelat 6 mm sebesar 250 VHN dan pelat 3.2 mm sebesar 253 VHN. Setelah pengujian kekerasan Vickers, dilanjutkan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop model STM – LM buatan Olympus Optical CO.,LTD. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat batas butir dan perubahan-perubahan yang terjadi pada daerah penyambungan. Dengan menggunakan cairan etsa Nital 2%, diperoleh struktur *ferrite* dan *pearlite* pada logam induk. Struktur *ferrite widmanstätten* pada daerah *HAZ*. Struktur *ferrite acicular* dan *ferrite grain boundary* pada daerah logam las. Dilanjutkan dengan pengujian lengkung menggunakan *Torsee Universal Testing Machine* tipe RAT – 30P. Mesin mengacu pada standar JIS Z 2248 untuk metode pengujian dan JIS Z 2204 untuk bentuk dan ukuran benda uji. Hasil pengujian lengkung diperoleh nilai tegangan lengkung tertinggi pada sambungan kampuh V ganda pelat 6 mm sebesar 46 kgf/mm² pada daerah las maupun daerah akar, dan pelat 3.2 mm sebesar 43 kgf/mm² pada daerah las sedangkan daerah akar sebesar 46 kgf/mm². Setelah pengujian lengkung dilakukan, dilanjutkan pengamatan *SEM* (*Scanning Electron Microscopy*). Pengamatan *SEM* menampilkan citra gambar dalam bentuk tiga dimensi dan dengan resolusi yang tinggi dengan pembesaran hingga 1.000.000 kali. Pengamatan menggunakan mesin *FEI Company* tipe *Inspect S50* yang dilaksanakan di Politeknik Manufaktur Bangka Belitung. Pengamatan *SEM* dilakukan pada benda uji dengan nilai tegangan lengkung terendah dan tertinggi. Hasil pengamatan *SEM* menunjukkan benda uji dengan nilai tegangan lengkung terendah pada pelat 6 mm dan 3.2 mm terdapat cacat inklusi yang terjebak di dalam logam las. Hasil *SEM* pada benda uji dengan nilai tegangan lengkung tertinggi pada pelat 6 mm menunjukkan adanya porositas di logam las. Hal ini menandakan bahwa arus 110 A untuk pelat 6 mm menghasilkan cairan logam las yang kental, sehingga tidak meratanya pembekuan logam las. Hasil *SEM* pada pelat 3.2 mm menunjukkan patahan yang berbentuk cekungan. Hal ini menandakan bahwa modulus peripatahan *dimple rupture*, yang berarti patahan pada logam las adalah patah ulet. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sifat fisik dan sifat mekanik yang terbaik berada pada sambungan kampuh V ganda.

Kata Kunci : Las *SMAW*, Kampuh Las, *Butt Joint*, Kekerasan, Tegangan Lengkung, *Scanning Electron Microscopy*.

Kepustakaan : 22 (1980 – 2015)

SUMMARY

TRANSFORMATION OF PHYSICAL PROPERTIES AND MECHANICAL PROPERTIES BUTT JOINT WELDING DEPEND ON GROOVE VARIETY AND THICKNESS OF PLATE USING SMAW WELDING AT 110 A ELECTRIC CURRENT

Scientific paper in the form of skripsi, February 28th, 2017

Yope Korintus Sihombing; Supervised by Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, MT.

Perubahan Sifat Fisik Dan Mekanik Sambungan Las *Butt Joint* Berdasarkan Variasi Kampuh Dan Ketebalan Pelat Menggunakan Las SMAW Pada Arus 110A

xix + 78 pages, 56 pictures, 7 tables, 28 attachments

Welding helping people that work in the construction of metal joining which include general construction, steel construction, and machinery construction, and others. As the development of technology affect the development of production and construction for the increasing human needs who demand a guarantee the strength of construction. In the metal joining using welding method consideration groove welding and thickness of the plate as a basis for comparison of physical and mechanical properties with butt joint. Using shield metal arc welding (SMAW) as a welding type is the simple welding equipment and easy to work. Research chronology are beginning from literature study based from journal, book, and other citation that support the research. At the same time conducting the literature study, starting welding process that begins from cutting and groove welding preparation of low carbon steel plate 6 mm and 3.2 mm thickness. The next stage is the welding process, SMAW type on the 110 A current. After the welding process, continued by chemical composition testing by using PMI Master Pro made in Oxford Instruments Analytical GmbH Wellesweg 31 held in PT. Pupuk Sriwidjaja. The chemical composition test result obtained 6 mm thickness plate containing carbon at 0.163% and 3.2 mm thickness plate containing carbon at 0.0899%. this result indicate the type of steel that welded is low carbon steel. After chemical composition testing, non-destructive test performed by using a liquid dye penetrant. The purpose of this test is to show the defects on the surface of the joined area that is not visible by human eye. Non-destructive test carried out in two stages, the first after welding process and after the welding joined area levelled. The result indicates there are defect such as porosity, spatter and undercut. After non-destructive test, furthermore macrostructure test. The purpose of this test to show the boundary of between weld area and heat affected zone (haz), and the boundary of between HAZ and base metal. To show those boundary, use the macro etching fluid with the composition of 38 mL HCl, 12 mL H₂SO₄, 50 mL H₂O at the temperature 70° – 82°C in a way the specimen has been grinded to 800 grit and shiny surface, immerse in to the etching liquid for 20 minutes. This test result show the weld area in the grey area, meanwhile HAZ is lighter than base metal and located on the edge of the weld metal. After macrostructure test, carried hardness testing using Vickers method with the

reference standard to JIS B 7725. The purpose of this test is to obtain the hardness value of specimen against localized plastic deformation. This Vickers hardness testing result obtained the highest hardness value is in the weld metal both on the double V groove welding with 6 mm thickness at 250 VHN and 3.2 mm thickness at 253 VHN. After vickers hardness test, followed microstructure test using a optical microscope with STM – LM model made in Olympus Optical CO.,LTD. The purpose of microstructure test is to view the grain boundaries and the grain transformation that occur in the joined area. By using Nital 2% liquid etching, obtained the structure of ferrite and pearlite in the base metal. The widmanstatten ferrite in the heat affected zone (HAZ) area. The structure of acicular ferrite and ferrite grain boundary in the weld metal area. Followed by bending testing using Torsee Universal Testing Machine with RAT – 30P type. The machine reference to JIS Z 2248 for testing method and JIS Z 2204 for dimension and shape of specimen. This bending test result obtained the highest bending stress value on the double V groove welding 6 mm thickness at 46 kgf/mm^2 both in the weld area and root area, and 3.2 mm thickness at 43 kgf/mm^2 in the weld area and 46 kgf/mm^2 in the root area. Furthermore scanning electron microscope test (SEM). This SEM test show the image in high resolution and three-dimentional image with magnification up to 1000000 times. This test using FEI Company machine type Inspect S50 held in Manufacture Polytechnic of Bangka Belitung. SEM test performed on specimen with the lowest and the highest bending stress value. The result of SEM test showed the specimen at the lowest bending stress value on the 6 mm and 3.2 mm thickness there are inclusion defect that trapped in the weld metal. SEM result for specimen with the highest bending stress value at 6 mm thickness showed porosity defect in the weld metal. This defect indicates that 110 A current for 6 mm thickness produce lumpy liquid weld metal, so that involve uneven when weld metal solidification. SEM result for 3.2 mm showing the fracture mode refers to dimple rupture. This rupture indicates that the fracture means the properties of the specimen is ductile. The result of this study indicate that the best of physical properties and mechanical properties at the double V groove welding joint.

Keywords : SMAW Welding Method, Groove Weld, Butt Joint, Hardness Testing, Bending Testing, Scanning Electron Microscopy.
Citations : 22 (1980 – 2015)

DAFTAR ISI

UPT PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS SRIWIJAYA	
NO. DAFTAR :	170771
TANGGAL :	14 JUL 2017

	Halaman
Halaman Pengesahan	i
Halaman Agenda	ii
Halaman Persetujuan	iii
Halaman Pernyataan Integritas	iv
Halaman Publikasi	v
Riwayat Penulis	vi
Halaman Motto Dan Persembahan	vii
Kata Pengantar	viii
Ringkasan	x
Summary	xii
Daftar Isi	xiv
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel	xx
Daftar Simbol	xxi
Daftar Lampiran	xxii
 BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
 BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Baja	5
2.1.1 Pengertian Baja	5
2.1.2 Klasifikasi Baja Karbon	5
2.1.3 Metalografi Baja Karbon	6
2.2 Proses Pengelasan	7

2.2.1	Pengelasan Elektroda Terbungkus	8
2.2.2	Sifat Mampu Las Baja Karbon	9
2.2.3	Bahan Fluks Elektroda SMAW	10
2.2.4	Lingkup Penggunaan Elektroda	11
2.3	Jenis-jenis Konstruksi Las	12
2.3.1	Klasifikasi Sambungan Las	13
2.3.2	Kampuh Las	13
2.4	Metalurgi Las	14

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian	17
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	18
3.3	Alat dan Bahan	18
3.3.1	Alat	18
3.3.2	Bahan	19
3.4	Prosedur Penelitian	19
3.4.1	Persiapan Bahan	19
3.4.2	Proses Pengelasan	21
3.4.3	Pengujian Komposisi	23
3.4.4	Pengujian Tak Merusak (<i>Non Destructive Test</i>)	24
3.4.5	Pengamatan Struktur Makro	25
3.4.6	Pengujian Kekerasan Vickers (<i>Vickers Hardness Testing</i>)	28
3.4.7	Pengamatan Struktur Mikro	30
3.4.8	Pengujian Lengkung (<i>Bending Testing</i>)	32
3.4.9	Pengamatan <i>SEM</i> (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	34
3.5	Harapan Hasil Penelitian	35

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Pengujian Komposisi	37
4.2	Hasil Pengujian Tak Merusak (<i>Non Destructive Test</i>)	38
4.3	Hasil Pengamatan Struktur Makro	45
4.4	Hasil Pengujian Kekerasan	48
4.5	Hasil Pengamatan Struktur Mikro	52
4.5.1	Pengamatan Struktur Mikro Pelat 3.2 mm Kampuh I	53
4.5.2	Pengamatan Struktur Mikro Pelat 3.2 mm Kampuh V Tunggal	55
4.5.3	Pengamatan Struktur Mikro Pelat 3.2 mm Kampuh V Ganda	58
4.5.4	Pengamatan Struktur Mikro Pelat 6 mm Kampuh I	60
4.5.5	Pengamatan Struktur Mikro Pelat 6 mm Kampuh V Tunggal	63
4.5.6	Pengamatan Struktur Mikro Pelat 6 mm Kampuh V Ganda	65
4.6	Hasil Pengujian Lengkung	67
4.7	Hasil Pengamatan <i>SEM</i>	71

4.7.1 Pengamatan <i>SEM</i> Pengujian Lengkung Nilai Terendah	72
4.7.2 Pengamatan <i>SEM</i> Pengujian Lengkung Nilai Tertinggi	77
4.8 Pembahasan	80
4.8.1 Pengelasan Dengan Kampuh I	80
4.8.2 Pengelasan Dengan Kampuh V Tunggal	81
4.8.3 Pengelasan Dengan Kampuh V Ganda	81
 BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	83
 DAFTAR PUSTAKA	 xxiii

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Proses Busur Listrik dan Pemindahan Butir	8
2.2 Jenis-jenis Sambungan Dasar	13
2.3 Metallurgi Daerah Pengelasan	15
3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.2 Persiapan Bahan	19
3.3 Bentuk Kampuh Las	20
3.4 Pembentukan Kampuh Las	20
3.5 Proses Pengelasan	21
3.6 Setelah Pengelasan	22
3.7 Alat Uji Komposisi	23
3.8 Alat Pengujian Tak Merusak <i>Dye Penetrant</i>	24
3.9 Kertas Amplas	26
3.10 Larutan Etsa Makro	27
3.11 Skema Titik Pengujian Kekerasan Metode Vickers	28
3.12 <i>Vickers Hardness Tester</i> Tipe VKH – 2E	30
3.13 Larutan Etsa Mikro Nital 2%	31
3.14 Mikroskop Pengamatan Struktur Mikro Tipe STM6 – LM	32
3.15 Skema Pengujian Lengkung	32
3.16 Mesin Pengujian Lengkung	33
3.17 Alat Pengamatan <i>SEM FEI Company Inspect</i> Tipe S50	35
4.1 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 6 mm Kampuh V Ganda Setelah Pengelasan	39
4.2 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 6 mm Kampuh V Tunggal Setelah Pengelasan	39
4.3 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 6 mm Kampuh I Setelah Pengelasan	40
4.4 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 3.2 mm Kampuh V Ganda Setelah Pengelasan	40
4.5 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 3.2 mm Kampuh V Tunggal Setelah Pengelasan	41
4.6 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 3.2 mm Kampuh I Setelah Pengelasan	41
4.7 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 6 mm Kampuh V Ganda Setelah Diratakan	42
4.8 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 6 mm Kampuh V Tunggal Setelah Diratakan	42
4.9 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 6 mm Kampuh I Setelah Diratakan	43
4.10 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 3.2 mm Kampuh V Ganda Setelah Diratakan	43
4.11 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 3.2 mm Kampuh V Tunggal Setelah Diratakan	44
4.12 <i>Dye Penetrant</i> Pelat 3.2 mm Kampuh I Setelah Diratakan	44
4.13 Pengamatan Struktur Makro Pelat 6 mm Kampuh V Ganda	45
4.14 Pengamatan Struktur Makro Pelat 6 mm Kampuh V Tunggal	46
4.15 Pengamatan Struktur Makro Pelat 6 mm Kampuh I	46
4.16 Pengamatan Struktur Makro Pelat 3.2 mm Kampuh V Ganda	46

4.17 Pengamatan Struktur Makro Pelat 3.2 mm Kampuh V Tunggal	47
4.18 Pengamatan Struktur Makro Pelat 3.2 mm Kampuh I	47
4.19 Hasil Uji Kekerasan Vickers Pelat 6 mm	48
4.20 Hasil Uji Kekerasan Vickers Pelat 3.2 mm	49
4.21 Grafik Nilai Kekerasan Vickers Pada Pelat 6 mm	50
4.22 Grafik Nilai Kekerasan Vickers Pada Pelat 3.2 mm	51
4.23 Skema Pengamatan Struktur Mikro	52
4.24 Logam Induk Kampuh I Pelat 3.2 mm	53
4.25 HAZ Kampuh I Pelat 3.2 mm	53
4.26 Batas Las Kampuh I Pelat 3.2 mm	54
4.27 Logam Las Kampuh I Pelat 3.2 mm	54
4.28 Logam Induk Kampuh V Tunggal Pelat 3.2 mm	55
4.29 HAZ Kampuh V Tunggal Pelat 3.2 mm	56
4.30 Batas Las Kampuh V Tunggal Pelat 3.2 mm	56
4.31 Logam Las Kampuh V Tunggal Pelat 3.2 mm	57
4.32 Logam Induk Kampuh V Ganda Pelat 3.2 mm	58
4.33 HAZ Kampuh V Ganda Pelat 3.2 mm	58
4.34 Batas Las Kampuh V Ganda Pelat 3.2 mm	59
4.35 Logam Las Kampuh V Ganda Pelat 3.2 mm	59
4.36 Logam Induk Kampuh I Pelat 6 mm	60
4.37 HAZ Kampuh I Pelat 6 mm	61
4.38 Batas Las Kampuh I Pelat 6 mm	61
4.39 Logam Las Kampuh I Pelat 6 mm	62
4.40 Logam Induk Kampuh V Tunggal Pelat 6 mm	63
4.41 HAZ Kampuh V Tunggal Pelat 6 mm	63
4.42 Batas Las Kampuh V Tunggal Pelat 6 mm	64
4.43 Logam Las Kampuh V Tunggal Pelat 6 mm	64
4.44 Logam Induk Kampuh V Ganda Pelat 6 mm	65
4.45 HAZ Kampuh V Ganda Pelat 6 mm	66
4.46 Batas Las Kampuh V Ganda Pelat 6 mm	66
4.47 Logam Las Kampuh V Ganda Pelat 6 mm	67
4.48 Grafik Pengujian Lengkung Pada Pelat 6 mm	69
4.49 Grafik Pengujian Lengkung Pada Pelat 3.2 mm	70
4.50 Persiapan Benda Uji Sesuai Standar JIS Z 2204	71
4.51 Benda Uji Setelah Pengujian Lengkung	71
4.52 Benda Uji Pelat 6 mm Nilai Tegangan Lengkung Terendah	72
4.53 Pengamatan SEM Pelat 6 mm Nilai Tegangan Lengkung Terendah	73
4.54 Pengamatan SEM Pelat 6 mm Perbesaran 500x	73
4.55 Benda Uji Pelat 3.2 mm Nilai Tegangan Lengkung Terendah	74
4.56 Pengamatan SEM Pelat 3.2 mm Perbesaran 50x	74
4.57 Pengamatan SEM Pelat 3.2 mm Perbesaran 100x	75
4.58 Pengamatan SEM Pelat 3.2 mm Perbesaran 200x	75

4.59 Pengamatan <i>SEM</i> Pelat 3.2 mm Perbesaran 500x	76
4.60 Pengamatan <i>SEM</i> Pelat 6 mm Nilai Tegangan Lengkung Tertinggi	77
4.61 Pengamatan <i>SEM</i> Bagian Porositas Perbesaran 500x	78
4.62 Benda Uji Pelat 3.2 mm Nilai Tegangan Lengkung Tertinggi	78
4.63 Pengamatan <i>SEM</i> Pelat 3.2 mm Perbesaran 100x	79
4.64 Pengamatan <i>SEM</i> Pelat 3.2 mm Nilai Tegangan Lengkung Tertinggi	79

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Jenis dan Fungsi Bahan Fluks	10
2.2 Spesifikasi Eektroda Terbungkus	12
2.3 Ukuran Diameter Elektroda Dengan Penggunaan Arus	12
2.4 Jenis-jenis Kampuh Las	14
4.1 Hasil Uji Komposisi	37
4.2 Hasil Pengujian Lengkung Pelat 6 mm	68
4.3 Hasil Pengujian Lengkung Pelat 3.2 mm	68

DAFTAR SIMBOL

	Halaman
σ_b	68

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1.a Pengukuran Tebal Pelat 6 mm	85
1.b Pengukuran Tebal Pelat 3.2 mm	85
1.c Pemotongan Pelat Baja Karbon	85
1.d Elektroda Las <i>SMAW</i> E7018	86
1.e Kotak Elektroda Las <i>SMAW</i> E7018	86
1.f Mesin Las	86
1.g Kampuh V Ganda Pelat 3.2 mm	87
1.h Kampuh V Tunggal Pelat 3.2 mm	87
1.i Kampuh I Pelat 3.2 mm	87
1.j Kampuh V Ganda Pelat 6 mm	87
1.k Kampuh V Tunggal Pelat 6 mm	88
1.l Kampuh I Pelat 6 mm	88
1.m Kertas Amplas	88
2.a Proses Pengelasan	89
2.b Pemanasan Cairan Etsa Makro	89
2.c Hasil Pengujian Lengkung Pelat 3.2 mm Kampuh I	89
2.d Hasil Pengujian Lengkung Pelat 6 mm Kampuh V Tunggal	90
2.e Pengujian Komposisi Kimia	90
2.e Pengamatan <i>Scanning Electron Microscopy</i>	90
3.a Tabel Nilai Kekerasan Vickers Kampuh I Pelat 6 mm	91
3.b Tabel Nilai Kekerasan Vickers Kampuh V Tunggal Pelat 6 mm	91
3.c Tabel Nilai Kekerasan Vickers Kampuh V Ganda Pelat 6 mm	92
3.d Tabel Nilai Kekerasan Vickers Kampuh I Pelat 3.2 mm	92
3.e Tabel Nilai Kekerasan Vickers Kampuh V Tunggal Pelat 3.2 mm	93
3.f Tabel Nilai Kekerasan Vickers Kampuh V Ganda Pelat 3.2 mm	93
3.g Hasil Penghitungan Pengujian Lengkung	94
3.h Hasil Penghitungan Struktur Mikro	96

BAB 1

PENDAHULUAN



1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman yang begitu cepat mendorong perkembangan teknologi dalam kehidupan manusia terutama dalam bidang teknologi, industri, mesin, dan konstruksi. Perkembangan dalam bidang konstruksi penyambungan logam mencakup konstruksi umum, konstruksi baja, konstruksi mesin, dan lain sebagainya. Perkembangan teknologi konstruksi dewasa ini, telah berpengaruh besar dalam kehidupan manusia dalam membantu pekerjaannya.

Berkembangnya teknologi juga mempengaruhi perkembangan produksi dan konstruksi dalam meningkatnya kebutuhan kehidupan manusia yang menuntut jaminan kekuatan dari sebuah konstruksi. Dalam kehidupan manusia, untuk menyambung atau membangun suatu fasilitas misalnya dalam transportasi, konstruksi dan juga jenis fasilitas yang lain menggunakan bahan jadi tidak terlepas dari proses industri atau manufaktur. Logam dalam hal ini baja karbon yang memiliki kekuatan dan kelebihan dalam manufaktur, menciptakan fasilitas manusia yang sesuai dengan kebutuhan.

Oleh karena itu, diperlukan pemilihan dan proses yang memenuhi standar prosedur spesifikasi yang tepat, dan juga untuk menghindari kerumitan atau kesulitan ketika produksi dilakukan. Ketika akan dilakukan proses produksi, dalam penyambungan logam atau penggabungan yang paling umum dilakukan adalah pengelasan. Pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dalam setiap teknik penyambungan logam terdapat faktor mekanis, fisik dan kekuatan yang terjamin pada sambungan tersebut serta kemudahan dalam proses.

Dalam penelitian ini, selanjutnya akan dibahas metode penyambungan logam menggunakan teknik pengelasan. Pertimbangan perbedaan bentuk kampuh dan tebal pelat sebagai dasar perbandingan sifat fisik dan mekanik dengan bentuk sambungan tumpul (*butt joint*). Dimana peneliti pada pengelasan tersebut akan

membahas tentang Perubahan Sifat Fisik dan Mekanik Sambungan Las *Butt Joint* Berdasarkan Variasi Kampuh dan Tebal Pelat Menggunakan Las *SMAW* Pada Arus 110 A.

Dalam penerapannya, pengelasan sambungan tumpul (*butt joint*) dengan bahan baja karbon seperti ini sering dijumpai dalam bidang industri, manufaktur, sambungan pada gerbong kereta api, konstruksi menara dan jembatan, dan fasilitas umum. Setiap sambungan tumpul memiliki jenis kampuh dan tebal berbeda yang disesuaikan dengan rancangan ataupun konstruksinya, dimana tiap-tiap jenis kampuh tersebut memiliki kekuatan yang beragam dalam sambungan las.

Terdapat beberapa jenis pengelasan yang sering digunakan pada bidang industri, dan manufaktur maupun industri kecil atau masyarakat luas dengan kemudahan, keuntungan, dan hasil yang lebih baik dengan menggunakan pengelasan *Shield Metal Arc Welding (SMAW)*. Pengelasan jenis ini merupakan jenis yang paling mudah dilakukan dan peralatan pengelasannya sederhana.

1.2 Rumusan Masalah

Perubahan sifat fisik dan mekanik sambungan las dengan perbedaan bentuk kampuh dan tebal pelat, dimana kampuh yang digunakan adalah kampuh I, V tunggal, dan V ganda dengan penggunaan arus, elektroda, dan material baja karbon yang sama terhadap kekerasan, lengkung, dan struktur mikro.

1.3 Batasan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, dalam penelitian ini penulis membatasi permasalahan diantaranya :

1. Material yang digunakan adalah baja karbon.
2. Pengujian hanya dilakukan pada tebal pelat 3.2 mm dan 6 mm.
3. Besar arus, dan jenis elektroda adalah sama.

4. Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh I, kampuh V tunggal, dan kampuh V ganda dengan jenis sambungan tumpul (*butt joint*).
5. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan Vickers, pengujian lengkung, dan pengamatan metallografi.
6. Jenis pengelasan yang digunakan adalah jenis las busur listrik dengan las elektroda terbungkus atau *shield metal arc welding (SMAW)*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa, mengkaji dan memahami pengaruh variasi tebal pelat dan variasi kampuh I, V tunggal, dan V ganda terhadap sifat fisik dan sifat mekanik sambungan lasan dengan besar arus konstan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini diantaranya :

1. Memperoleh hubungan antara bentuk kampuh I, V tunggal, V ganda dan perbedaan tebal pelat terhadap sifat fisik dan mekanik yang terbaik sambungan lasan *butt joint*.
2. Dapat menjadi acuan dalam teknologi penyambungan logam dengan pengelasan sambungan *butt joint*.
3. Sebagai literatur untuk penelitian yang relevan dalam pengembangan teknologi pengelasan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan skripsi ini terdiri atas lima bab yang berkaitan dimana pada masing-masing bab tersebut terdapat uraian sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab berisikan ini tentang tinjauan pustaka dan dasar-dasar teori yang mendasari penulisan penelitian.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian ini dan prosedur penelitian yang dilakukan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil penelitian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh selama penelitian dilakukan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran tentang penelitian dari hasil yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- American Welding Society., 1980 “ *Welding Electrode* ”, United States of America: American Welding Society.
- ASM International., 1993 “ *ASM Handbook Volume 6 : Welding Brazing and Soldering* ”, United States of America: ASM International.
- ASM International., 2008 “ *ASM Handbook Volume 8 : Mechanical Testing and Evaluation* ”, United States of America: ASM International.
- ASM International., 2004 “ *ASM Handbook Volume 9 : Metallography and Microstructure* ”, United States of America: ASM International.
- ASM International., 1987 “ *ASM Handbook Volume 12 : Fractography* ”, United States of America: ASM International.
- Callister, William D., 2014 “ *Materials Science and Engineering 9th Edition* ”, New Jersey: John Wiley and Sons.
- Gandy, D., 2007 “ *Carbon Steel Handbook* “, California-USA: Electric Power Research Institute.
- Kalpakjian, S., 2009 “ *Manufacturing Engineering and Technology* “, United States of America: Pearson.
- Kou, Sindo, 2003 “ *Welding Metallurgy* “, New Jersey: John Wiley and Sons.
- Nukman., 2009 “ *Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah Akibat Variasi Bentuk Kampuh Las Dan Mendapat Perlakuan Panas Annealing Dan Normalizing* “, Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya.
- Nukman., Qomarul Hadi., 2015 “ *Petunjuk Praktikum Material Teknik* “, Universitas Sriwijaya.
- Setiawan, Anang., Yusa Asra Yuli Wardana., 2006 “ *Analisa Ketangguhan Dan Struktur Mikro pada Daerah Las Dan HAZ Hasil Pengelasan Submerged Arc Welding* “, Teknik Mesin Universitas Kristen Petra Yogyakarta.

- Shigley., 2006 “ *Mechanical Engineering Design 8th Edition* “, United States of America: McGraw – Hill.
- Sofyan, Bondan T., 2011 “ *Pengantar Material Teknik*“, Jakarta: Salemba Teknika.
- Sonawan, H., Rochim Suratman., 2006 “ *Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam* “, Bandung: Alfabeta.
- Suharno., 2008 “ *Struktur Mikro Las Baja C – Mn Hasil Pengelasan Busur Terendam Dengan Variasi Masukan Panas* “, Pendidikan Teknik dan Kejuruan Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta.
- Sujatno, Agus., 2015 “ *Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) Untuk Karakteristik Proses Oksidasi Paduan Zirkonium* ”, Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, BATAN.
- Suprijanto, Djoko., 2013 “ *Pengaruh Bentuk Kampuh Terhadap Kekuatan Bending Las Sudut SMAW Posisi Mendatar Pada Baja Karbon Rendah* “, Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta.
- Surdia, Tata., Shinroku Saito., 1999 “ *Pengetahuan Bahan Teknik* ”, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Waluyo, Joko., 2012 “ *Pengaruh Tebal Pelat Baja Karbon Rendah Lama Penekanan Dan Tegangan Listrik Pada Pengelasan Titik Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis* “, Teknik Mesin, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.
- Wiryosumarto, H., Toshie Okumura., 2000 “ *Teknologi Pengelasan Logam* “, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Vander Voort, George F., 1984 “ *Metallography Principles And Practice* “, United States of America: ASM International.