

SKRIPSI

**EFEK *POST WELD HEAT TREATMENT* PADA
SAMBUNGAN LAS TAK SEJENIS SMAW
AUSTENITIC STAINLESS STEEL AISI 304 DAN BAJA
KARBON AISI 1037**



YOGA RIZANDI

03051181924024

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

SKRIPSI

**EFEK *POST WELD HEAT TREATMENT* PADA
SAMBUNGAN LAS TAK SEJENIS SMAW
AUSTENITIC STAINLESS STEEL AISI 304 DAN BAJA
KARBON AISI 1037**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



OLEH

YOGA RIZANDI

03051181924024

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**EFEK *POST WELD HEAT TREATMENT* PADA SAMBUNGAN
LAS TAK SEJENIS SMAW *AUSTENITIC STAINLESS STEEL*
AISI 304 DAN BAJA KARBON AISI 1037**

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana

Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

YOGA RIZANDI

03051181924024

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.

NIP. 19711225 199702 1 001

Palembang, 5 Juni 2023
Diperiksa dan Disetujui Oleh
Pembimbing



Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP.

NIP. 19790927 200312 1 004

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

Agenda No. : 001/TH/AT/2023
Diterima Tanggal : 14.6.2023
Paraf : /p

SKRIPSI

NAMA : YOGA RIZANDI
NIM : 03051181924024
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : *EFEK POST WELD HEAT TREATMENT* PADA
SAMBUNGAN LAS TAK SEJENIS SMAW
AUSTENITIC STAINLESS STEEL AISI 304 DAN
BAJA KARBON AISI 1037
DIBUAT TANGGAL : 25 JULI 2022
SELESAI TANGGAL : 15 MEI 2023

Palembang, 5 Juni 2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.

NIP. 19711225 199702 1 001

**Diperiksa dan Disetujui Oleh
Pembimbing**

Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP.

NIP. 19790927 200312 1 004

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Efek *Post Weld Heat Treatment* Pada Sambungan Las Tak Sejenis SMAW *Austenitic Stainless Steel* Aisi 304 Dan Baja Karbon Aisi 1037” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 05 Juni 2023.

Palembang, 05 Juni 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
NIP. 197112251997021001

Sekretaris :

2. Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198105102005011005

Anggota :

3. Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 198106302006041001



Palembang, 5 Juni 2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM

NIP. 19711225 199702 1 001

Diperiksa dan Disetujui Oleh

Pembimbing



Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP

NIP. 19790927 200312 1 004

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis atas kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan Rahmat, Nikmat, dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.


Skripsi ini disusun untuk melengkapi salah satu syarat mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang tak terhingga atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Ibu dan Ayah yang telah mendidik saya dengan penuh rasa kasih sayang, serta seluruh saudara-saudaraku yang saya banggakan.
2. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak sekali memberikan arahan dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang membantu penulis sejak awal perkuliahan.
5. Gunawan, S.T., M.T., Ph.D. selaku Pembina Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
6. Raden Dustin Ghazali dan Muhammad Rindang Yaumal Qobla Adha Wijaya selaku rekan tim yang membantu penulis dalam memberikan kritik dan saran.
7. Teman teman seperjuangan Teknik Mesin 2019 yang selalu menemani penulis untuk menyelesaikan masa perkuliahan.
8. Pak Aria, Pak Mamat dan seluruh karyawan PT. Pusri yang ikut membantu selama proses penelitian.
9. Pak Mahruri, Pak Slamet dan segenap karyawan Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) yang turut membantu selama proses penelitian.
10. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

Dalam penyusunan Laporan ini penulis menyadari adanya keterbatasan dalam wawasan dan ilmu yang penulis miliki, oleh karena itu penulis mohon maaf atas kekurangan dan membuka diri terhadap saran dan kritik yang bersifat membangun demi kebaikan selanjutnya, agar dalam penulisan laporan selanjutnya dapat lebih baik lagi. Akhirnya penulis mengharapkan semoga laporan ini bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Palembang, 17 Juni 2023



Yoga Rizandi
NIM. 03051181924024

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yoga Rizandi

NIM : 03051181924024

Judul : Efek *Post Weld Heat Treatment* Pada Sambungan Las Tak Sejenis SMAW *Austenitic Stainless Steel* Aisi 304 Dan Baja Karbon Aisi 1037

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 saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 17 Juni 2023



Yoga Rizandi

NIM. 03051181924024

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yoga Rizandi

NIM : 03051181924024

Judul : Efek *Post Weld Heat Treatment* Pada Sambungan Las Tak Sejenis SMAW *Austenitic Stainless Steel* Aisi 304 Dan Baja Karbon Aisi 1037

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya 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 dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Indralaya, Juni 2023



Yoga Rizandi
NIM. 03051181924024

RINGKASAN

EFEK *POST WELD HEAT TREATMENT* PADA SAMBUNGAN LAS TAK SEJENIS SMAW *AUSTENITIC STAINLESS STEEL* AISI 304 DAN BAJA KARBON AISI 1037

Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi, 17 Juni 2023

Yoga Rizandi; Dibimbing oleh Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP.

XCIV + 94 Halaman, 7 tabel, 56 gambar, 26 lampiran

RINGKASAN

Proses pengelasan logam yang berbeda jenis antara baja tahan karat AISI 304 dan baja karbon menengah AISI 1037 banyak dilakukan di dunia industri oleh perusahaan yang terlibat dalam industri minyak, gas, petrokimia, pembangkit listrik, reaktor nuklir, militer, dan kedirgantaraan. Perbedaan komposisi kimia, mampu las, sifat fisik dan mekanik kedua jenis logam yang akan dilas sangat menentukan proses dan parameter pengelasan yang dipilih karena akan berdampak pada kualitas lasan yang dihasilkan. Salah satu cara untuk memperbaiki kualitas lasan termasuk ketidakhomogenan fasa dan sifat mekanik adalah dengan *Post weld heat treatment* (PWHT). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter *Post Weld Heat Treatment* terhadap kualitas lasan pada pengelasan dua jenis baja yang berbeda yaitu AISI 304 dan AISI 1037. Metode pengelasan yang dipilih adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Perlakuan panas yang diterapkan pada spesimen dengan variasi temperatur 860°C, 910°C dan 960°C dengan waktu penahanan 2 jam kemudian didinginkan secara perlahan-lahan di dalam *Ceramic Heating Pad* (CHP). Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi, uji tarik, uji kekerasan Vickers, pengamatan struktur mikro, uji *X-ray Diffraction* (XRD), uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan EDX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan kekuatan tarik akibat suhu PWHT yang lebih tinggi. Karena kenaikan suhu PWHT, yang ditandai dengan pembesaran

butir dan penghalusan butiran kristal. Hasil pengujian SEM dan EDX mengungkapkan bahwa pergerakan karbon telah menyebabkan endapan dikenali sebagai *carbon enriched zone* akibat dari migrasi karbon. Proses PWHT juga membuat nilai kekerasan menurun. Semakin tinggi suhu PWHT maka nilai kekerasan pada daerah *base metal*, HAZ, maupun *fusion zone* logam AISI 304 dan AISI 1037 menurun. Kecuali untuk daerah *fusion zone* yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi pada PWHT suhu 860°C.

Kata Kunci : Pengelasan Tak Sejenis, PWHT, SEM

Kepustakaan : 47 (1991-2020)

SUMMARY

EFFECT POST WELD HEAT TREATMENT ON SMAW WELDED JOINTS OF
AUSTENITIC STAINLESS STEEL AISI 304 AND CARBON STEEL AISI 1037

Scientific Writing in the form of a Thesis, 17 June 2023

Yoga Rizandi; Supervised by Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP.

XCIV + 94 Pages, 7 tables, 56 figures, 26 attachment

SUMMARY

The process of welding dissimilar metals between AISI 304 stainless steel and AISI 1037 medium carbon steel is widely practiced in the industrial world by companies involved in the oil, gas, petrochemical, power generation, nuclear reactor, military, and aerospace industries. The differences in chemical composition, weldability, physical and mechanical properties of the two types of metals to be welded largely determine the welding process and parameters selected as they will have an impact on the quality of the resulting weld. One way to improve weld quality including phase inhomogeneity and mechanical properties is Post weld heat treatment (PWHT). This study aims to determine the effect of Post Weld Heat Treatment parameters on weld quality in welding two different types of steel namely AISI 304 and AISI 1037. The welding method chosen is Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Heat treatment is applied to specimens with temperature variations of 860°C, 910°C and 960°C with a holding time of 2 hours and then cooled slowly in a Ceramic Heating Pad (CHP). The tests carried out were composition test, tensile test, Vickers hardness test, microstructure observation, X-ray Diffraction (XRD) test, Scanning Electron Microscope (SEM) test and EDX. The results showed that there was a decrease in tensile strength due to higher PWHT temperature. Due to

the increase in PWHT temperature, which is characterized by grain enlargement and refinement of crystal grains. SEM and EDX test results revealed that the movement of carbon has caused deposits recognized as carbon enriched zone due to carbon migration. The PWHT process also makes the hardness value decrease. The higher the PWHT temperature, the lower the hardness value in the base metal, HAZ, and fusion zone areas of AISI 304 and AISI 1037 metals. Except for the fusion zone area which has a higher hardness at 860°C PWHT.

Keywords : Dissimilar Welding, PWHT, SEM

Literatures : 47 (1991-2020)

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| SKRIPSI..... | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | v |
| SKRIPSI..... | vii |
| HALAMAN PERSETUJUAN..... | ix |
| KATA PENGANTAR | xi |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... | xiii |
| HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS..... | xv |
| RINGKASAN | xvii |
| SUMMARY | xix |
| DAFTAR ISI..... | xxi |
| DAFTAR GAMBAR | xxiii |
| DAFTAR TABEL..... | xxv |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xxvii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 5 |

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknik pengelasan mampu menyatukan potongan-potongan logam yang berbeda jenis. Teknik menyambungkan dua logam hingga mencapai titik rekristalisasi logam dan menggunakan energi panas untuk melelehkan bahan yang akan dilas juga disebut sebagai pengelasan (Kusuma, dkk., 2017). Ketika melakukan pengelasan, struktur mikro suatu logam umumnya bergantung pada seberapa cepat suhu turun dari produksi tahap pertama ke suhu kamar. sehingga struktur, termasuk kualitas mekanisnya dapat berubah dengan sendirinya. Logam las, area yang terpengaruh panas, juga dikenal sebagai *Heat Affected Zone* (HAZ), dan logam dasar yang tidak terpapar panas merupakan tiga bagian dari area las itu sendiri. Logam dasar di sebelah logam las yang dipanaskan dan didinginkan dengan cepat selama pengelasan dikenal sebagai zona yang terpengaruh panas atau HAZ. Komponen logam dasar adalah logam induk yang tidak bereaksi terhadap panas selama proses pengelasan berlangsung (Helanianto, dkk., 2020).

Sambungan las saat ini banyak digunakan untuk pembangunan konstruksi pabrik dan perkapalan karena kelebihanannya yaitu mampu menanggung beban dan juga dalam pelaksanaannya mudah dan ekonomis, oleh karena itu opsi yang terbaik untuk membangun konstruksi adalah dengan melakukan pengelasan (Fachruddin, dkk., 2016).

Dalam dunia pengelasan, begitu banyak bahan yang bisa dilas, termasuk produk seperti baja karbon. Saat proses pengelasan logam, terdapat teknik yang sedang dikembangkan yaitu teknik pengelasan tak sejenis. Pengelasan tak sejenis adalah proses menyatukan dua jenis logam yang tak sejenis dengan menggunakan energi panas untuk melelehkan bahan yang akan dilas sehingga menghasilkan suatu produk yang tangguh (Widodo, dkk., 2018). Contoh dari 2

buah logam yang bisa disambung dengan cara dilas adalah *stainless steel* dan *carbon steel*.

Dalam lingkungan yang kompleks, memilih bahan yang tepat sangatlah penting. Seringkali baja paduan sedang dilas dengan baja tahan karat yang disebut pengelasan logam berbeda jenisnya. Sebagai hasil dari bahan yang digunakan, struktur kompleks dari beberapa zona metalurgi yang berbeda dapat dibuat. Zona pengelasan memiliki perbedaan yang signifikan dalam sifat mekanik yang dapat mempengaruhi masa las. Transisi pembangkit listrik tenaga nuklir dari baja karbon rendah atau baja karbon ke baja tahan karat dirancang untuk mengurangi risiko dan kerentanan terhadap korosi. Baja tahan karat biasanya digunakan dalam dunia industri untuk meminimalisir biaya perawatan, dikarenakan baja karbon yang mudah terkena korosi (Examensarbete dan Nivå Stockholm, 2015).

Pengelasan tak sejenis sering digunakan di dunia industri oleh perusahaan yang terlibat dalam industri minyak, gas, petrokimia, pembangkit listrik, reaktor nuklir, militer, dan kedirgantaraan. Terdapat prosedur pengelasan yang dapat meningkatkan kualitas mekanik dan fisik material. Metode tersebut adalah metode *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). Perlakuan panas pasca las melibatkan pemanasan material di bawah suhu kritis yang lebih rendah, menahannya untuk sementara waktu kemudian perlahan-lahan mendinginkannya untuk menghilangkan tekanan yang tersisa yang disebabkan oleh panas yang dihasilkan selama proses pengelasan. Temperatur, periode penahanan, dan media pendingin merupakan faktor dalam proses PWHT yang menentukan karakteristik mekanik (Arifah dan Ruswanto, 2020). Penelitian ini untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari perubahan suhu selama proses PWHT dengan periode penahanan selama dua jam di antara setiap suhu sehingga mampu mempengaruhi karakteristik fisik dan mekanik material.

Baja tahan karat austenitik AISI 304 digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan dasar dan disambungkan dengan baja karbon AISI 1037. Alasan peneliti memilih *Stainless steel* AISI 304 dikarenakan memiliki tingkat ketahanan korosi yang sangat baik. Kandungan kromium (Cr) sebesar 18% dan nikel (Ni) sebesar 8% dalam komposisinya membentuk lapisan oksida yang

melindungi permukaan logam dari korosi oleh oksigen dan lingkungan agresif. Ini membuatnya sangat cocok untuk digunakan dalam lingkungan yang rentan terhadap korosi. *Stainless steel* AISI 304 memiliki kekuatan mekanik yang baik, terutama ketahanan terhadap tarikan dan tekanan. Sedangkan baja karbon AISI 1037 memiliki kekuatan yang cukup tinggi dan kekerasan yang baik. Hal ini membuatnya cocok untuk digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan struktural yang tinggi, seperti konstruksi mesin, peralatan pertanian, dan komponen otomotif. Selain itu AISI 1037 Baja karbon AISI 1037 mudah difabrikasi, memiliki kekuatan lentur dan keuletan yang baik dan termasuk dalam kategori baja karbon medium yang tersedia secara luas dan memiliki biaya yang relatif terjangkau dibandingkan dengan baja dengan kandungan karbon yang lebih tinggi atau baja paduan (Iron dan Steel Society, 1999). Ini membuatnya menjadi pilihan yang ekonomis untuk banyak aplikasi. Pada proses penelitian ini menggunakan teknik *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) sebelum menjalani proses perlakuan panas pasca pengelasan. Dengan menggunakan metode ini diharapkan dapat membuat hasil dari pengelasan yang berkualitas dan tangguh.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam industri kimia, bangunan, dan konstruksi, pengelasan dua bahan yang berbeda jenis sering digunakan. Hal ini berkaitan dengan efektivitas material dan ketahanannya terhadap beban statis. Perbedaan kualitas fisik, mekanik, dan metalurgi yang dapat menyebabkan masalah merupakan kelemahan utama dari pengelasan yang berbeda jenis.

Untuk mengatasi masalah yang terjadi, sehingga membutuhkan penelitian lebih lanjut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) terhadap karakteristik mekanik dan fisik sambungan las antara logam yang berbeda jenis.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, perlu dilakukan pembatasan masalah agar tidak melebar dari inti permasalahan yang akan diteliti, sehingga penulis membatasi masalah yang akan diteliti yaitu:

1. Material yang digunakan adalah baja karbon AISI 1037 dan baja tahan karat AISI 304.
2. Metode yang dipakai dalam proses pengelasan pada penelitian ini yaitu metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).
3. Elektroda yang digunakan adalah *filler* E309-16.
4. *Post Weld Heat Treatment* dilakukan pada temperatur suhu 860°C, 910°C, dan 960°C dengan *holding time* selama dua jam untuk tiap suhu pada saat proses perlakuan panas pasca las.
5. Karakterisasi sifat fisik dan mekanik yang dilakukan terhadap sampel adalah dengan melakukan berbagai pengujian.
6. Mengamati struktur mikroskopis pada sambungan las tidak sejenis sebelum dan setelah melalui proses perlakuan panas pasca pengelasan.

1.4 Tujuan Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, peneliti memiliki tujuan agar mencapai hasil yang terbaik antara lain:

1. Menginvestigasi pengaruh *post weld heat treatment* (PWHT) terhadap sifat fisik dan mekanik hasil lasan.
2. Menginvestigasi struktur mikro pada hasil lasan setelah melalui proses perlakuan panas pasca pengelasan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan peneliti dari hasil penelitian tentang pengaruh *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) terhadap sambungan las tak sejenis SMAW pada baja tahan karat austenitik AISI 304 dan baja karbon AISI 1037 adalah sebagai berikut:

1. Dapat menjadi referensi mengenai pengelasan tak sejenis sehingga dapat diterapkan di berbagai perusahaan pada bidang manufaktur, produksi, dan bidang lainnya.
2. Mendapatkan produk sambungan las tak sejenis yang terbaik dari berbagai proses pengujian selama penelitian sehingga dapat menjadi referensi yang baik.
3. Memberikan lebih banyak informasi kepada mahasiswa, khususnya mahasiswa teknik mesin yang sering terlibat dengan proses pengelasan.
4. Menjadi masukan bagi para praktisi dibidang pengelasan tak sejenis.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustriyana, L. *dkk.* (2020) “Pengaruh Pengelasan Gtaw Pada Logam Bimetal Plat Baja Karbon Rendah Dan Stainless Steel Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las,” *Info-Teknik*, 20(2), hal. 167. Tersedia pada: <https://doi.org/10.20527/infotek.v20i2.7712>.
- Aljufri dan Putra, R. (2018) “Pengaruh Porositas Las Terhadap Kekuatan Tarik Pada Material Aisi 1050 Yang Menggunakan Kampuh Las V 90°,” *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, hal. 1–7.
- Ananda, T.F. (2020) “Pengaruh Proses Post Weld Heat Treatment Pada Hasil Pengelasan SMAW Terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah,” *Jurnal Teknik Mesin*, hal. 1–7.
- Arifah, A. dan Ruswanto, S. (2020) “Efek Post Weld Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik AISI 316 Hasil Pengelasan GTAW,” *Jurnal Mekanik Terapan*, 1(2), hal. 81–87. Tersedia pada: <https://doi.org/10.32722/jmt.v1i2.3354>.
- Binudi, R. dan Adjiantoro, B. (2018) “Pengaruh Unsur Ni, Cr DAN Mn Terhadap Sifat Mekanik Baja Kekuatan Tinggi Berbasis Laterit,” *Metalurgi*, 29(1), hal. 33. Tersedia pada: <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v29i1.269>.
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering - An Introduction 10th Edition*.
- Chairmen *dkk.* (1993) *Volume Handbook . The Volume Was Prepared Under The Direction Of The ASM Handbook*. ASM INTERNATIONAL.
- Charles, J. (1991) “Super duplex stainless steels: structure and properties, Proceedings of Duplex Stainless Steels,” 91(F-91944 Les Ulis Cedex, France), hal. 3.
- Ekbom, G. *dkk.* (2012) “Technical regulations for mechanical equipment,” 1(88).
- Examensarbete, H.P. dan Nivå Stockholm, A. (2015) “Welding of dissimilar metals in different welding positions MIMMI BÄCK.”
- Fachruddin *dkk.* (2016) “Pengaruh Variasi Arus Listrik Pengelasan Titik (Spot Welding) Terhadap Kekuatan Geser, Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Dissimilar Baja Stainless Steel Aisi 304 Dengan Baja Karbon Rendah St 41,” *Jurnal Teknik Mesin*, 24(2).
- Ghorbani, S. *dkk.* (2017) “Effect of post weld heat treatment (PWHT) on the microstructure, mechanical properties, and corrosion resistance of dissimilar stainless steels,” *Materials Science and Engineering A*,

688(December 2016), hal. 470–479. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.02.020>.

Guiraldenq, P. dan Hardouin Duparc, O. (2017) “The genesis of the Schaeffler diagram in the history of stainless steel,” *Metallurgical Research and Technology*, 114(6), hal. 1–9. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1051/metal/2017059>.

Haryadi, G.D. *dkk.* (2017) “Pengaruh Post Weld Heat Treatment (Pwht) dengan Pemanas Induksi Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Las Shield Metal Arc Welding (Smaw) pada Pipa API 51 X52,” *Rotasi*, 19(3), hal. 117. Tersedia pada: <https://doi.org/10.14710/rotasi.19.3.117-124>.

Helianto, H. *dkk.* (2020) “Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Smaw Terhadap Kekerasan Logam Induk Dan Logam Las,” *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), hal. 138–147. Tersedia pada: <https://doi.org/10.34128/je.v7i2.148>.

Higgins, R. (1999) “Engineering Metallurgy: Applied Physical Metallurgy,” *Edward Arnold, 1999*, hal. 560.

Iron and Steel Society, (1999), *Steel Products Manual Stainless Steel*.

Jokosisworo, S. (2012) “Weldability, Welding Metallurgy, Welding Chemistry,” *Kapal*, 3(3), hal. 65–69.

Kim, H.S. *dkk.* (2019) “Effects of heat treatment on mechanical properties and sensitization behavior of materials in dissimilar metal weld,” *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 172(August 2018), hal. 17–27. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2019.03.009>

Kotecki, D.J. dan Siewert, T. a. (1992) “WRC-1992 Constitution Diagram for Stainless Steel Weld Metals : A Modification of the WRC-1988 Diagram,” *AWS Annual Meeting*, hal. 171–178. Tersedia pada: http://www.aws.org/wj/supplement/WJ_1992_05_s171.pdf.

Kou, S. (2003) *Welding metallurgy, John Wiley & Sons, Inc.* Tersedia pada: [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(62\)80017-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(62)80017-0).

Kumar, S. *dkk.* (2021) “Effect of post-weld heat treatment and dissimilar filler metal composition on the microstructural developments, and mechanical properties of gas tungsten arc welded joint of P91 steel,” *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 191(March), hal. 104373. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104373>.

Kusuma, R.C. *dkk.* (2017) “Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik, Impak, Tekuk Dan Mikrografi Aluminium 5083 Pasca Pengelasan Tig (Tungsten Inert Gas) Dengan Media Pendingin Air Laut Dan Oli,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(4), hal. 585–593. Tersedia pada: <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>.

Lippold, J.C. (2006) *Welding Metallurgy and Weldability, Simultaneously in Canada*.

- Maruyama, T. (2003) "Arc welding technology for dissimilar joints," *Welding International*, 17(4), hal. 276–281. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1533/wint.2003.3113>.
- Marwanto, A. (2007) "Shield metal arc welding," *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta*, hal. 1–9.
- Maskinteknik, E.I. (2016) "Ultrasonic Testing of INCONEL Alloy 600 Ultrasonic Testing of INCONEL Alloy 600."
- Masrukan, F.B. (2009) "Pemeriksaan Mikrostruktur, Komposisi Kimia dan Kekerasan Hasil Pengelasan Paduan Al-6061," 6061, hal. 1–10.
- Massalski, T. *dkk.* (1998) *Binary Alloy Phase Diagrams 2nd ed. (ASM International Materials Park, OH), ASM Handbook Alloy Phase Diagrams.*
- Nanulaita, N.J.M. dan Lillipaly, E.R.M.A.P. (2012) "Analisa Sifat Kekerasan Baja St-42 Dengan Pengaruh Besarnya Butiran Katalisator (Tulang Sapi (CaCO₃)) Melalui Proses Pengkarbonan Padat (Pack Carburizing)," *Jurnal Teknologi*, 9, hal. 985–994.
- Nindha, T.G.T. (2017) "Diktat Material dan Proses Stainless Steel."
- Parekke, S. *dkk.* (2014) "Pengaruh Pengelasan Logam Berbeda (Aisi 1045) Dengan (Aisi 316L) Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro," *J. Sains & Teknologi, Desember*, 3(2), hal. 191–198.
- Prabakaran, M.P. dan Kannan, G.R. (2021) "Effects of post-weld heat treatment on dissimilar laser welded joints of austenitic stainless steel to low carbon steel," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 191(December 2020), hal. 104322. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104322>.
- Purwaningrum, Y. (2006) "Karakterisasi Sifat Fisis Dan Mekanis Sambungan Las Smaw Baja a-287 Sebelum Dan Sesudah Pwht," *Teknoin*, 11(3), hal. 233–242. Tersedia pada: <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol11.iss3.art7>.
- Putra, R.H.S. (2018) "Karakteristik Pada Logam Baja Paduan dengan Menggunakan Metoda X-Ray Fluoresence (XRF) dan Optical Emission Spectroscopy (OES)," *Universitas Negeri Yogyakarta*, hal. 134.
- Rizal, Y. (2017) "Peningkatan Kekuatan Tarik Baja Karbon Aisi 1040 Akibat Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Perlakuan Panas," 9. Tersedia pada: <https://doi.org/https://doi.org/10.30606/aptk.v9i1.1070>.
- S, Citrakara Upendra, Yoto, dan W. (2016) "Perbedaan Kekuatan Tarik Dan Jenis Patahan Sambungan Las Gmaw Baja Karbon Rendah (St 37) Akibat," *Jurnal Pendidikan Profesional*, 5(2), hal. 9–18.
- Sadminto (1999) *Teknologi dan Inspeksi Las*. Jakarta: Dinas Jasa Teknik Direktorat Pengolahan Pertamina Pusat.
- Sheffield, A. (2004) *The Avesta welding manual: Practice and products for*

stainless steel welding. Diedit oleh E.V. Aros.

- Srinivasa Rao, P. dan Govinda Rao, P. (2017) "A review on techniques for improving the mechanical properties of fusion welded joints," *Engineering Solid Mechanics*, 5(4), hal. 213–224. Tersedia pada: <https://doi.org/10.5267/j.esm.2017.9.004>.
- Stemne, D. (2010) *Welding Handbook: A guide to better welding of Hardox and Weldox, SSAB Oxelösund AB*.
- Sumarji (2011) "Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe Ss 304 Dan Ss 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu Dan Ph," *Jurnal ROTOR*, 4(1), hal. 1–8.
- Utomo, E.W. (2018) "Pengaruh Temperatur Post-Weld Heat Treatment Pada Pengelasan TIG Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Aluminium Alloy 6061," *Jurnal Teknik Mesin*, (November), hal. 0–9.
- Vladimir, V.F. (2019) "Shielded Metal Arc Welding (SMAW)," *Gastronomía ecuatoriana y turismo local.*, 1(69), hal. 5–24.
- Widodo, E.W.R. dkk. (2018) "Variasi Jenis Kampuh Las Dan Kuat Arus Pada Pengelasan Logam Tidak Sejenis Material Stainless Steel 304L Dan Baja Aisi 1040 Dengan Gas Tungsten Arc Welding," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VI*, hal. 327–332.
- Wirjosumarto, H. dan Okumura, T. (2008) *Teknologi Pengelasan Logam, Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pratyapramita.
- Wisma, S. (2020) "Pengaruh Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) pada Mild Steel S45C di Daerah HAZ dengan Pengujian Metalografi," *Angewandte Chemie International Edition*, 1(1), hal. 12–17.