

SKRIPSI

**PENGARUH PENDINGINAN CEPAT SETELAH
PENGELASAN TERHADAP KOROSI DIBAWAH
INSULASI DALAM MEDIA AIR RAWA PADA BAJA
ASTM A36 SKALA LABORATORIUM**



AGUS NUGROHO

03051281924123

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

SKRIPSI

**PENGARUH PENDINGINAN CEPAT SETELAH
PENGELASAN TERHADAP KOROSI DIBAWAH
INSULASI DALAM MEDIA AIR RAWA PADA BAJA
ASTM A36 SKALA LABORATORIUM**

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



OLEH

AGUS NUGROHO

03051281924123

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PENDINGINAN CEPAT SETELAH
PENGELASAN TERHADAP KOROSI DIBAWAH INSULASI
DALAM MEDIA AIR RAWA PADA BAJA ASTM A36 SKALA
LABORATORIUM**

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana

Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

AGUS NUGROHO

03051281924123

Palembang, 20 Juni 2023

Diperiksa dan disetujui oleh

Pembimbing Skripsi

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Diah Kusuma Pratiwi', is written over a horizontal line.

Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T.
NIP. 196307191990032001

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. : 15/TH/AR/2023
Diterima Tanggal : 3-7-2023
Paraf : A

SKRIPSI

NAMA : AGUS NUGROHO
NIM : 03051281924123
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : PENGARUH PENDINGINAN CEPAT
SETELAH PENGELASAN TERHADAP
KOROSI DIBAWAH INSULASI DALAM
MEDIA AIR RAWA PADA BAJA ASTM A36
SKALA LABORATORIUM
DIBUAT TANGGAL : 11 JULI 2022
SELESAI TANGGAL : 25 MEI 2023

Mengetahui,

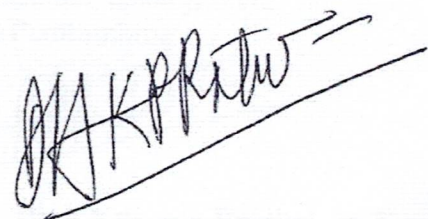
Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

Palembang, 5 Juni 2023

Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi



Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T.
NIP. 196307191990032001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “PENGARUH PENDINGINAN CEPAT SETELAH PENGELASAN TERHADAP KOROSI DIBAWAH INSULASI DALAM MEDIA AIR RAWA PADA BAJA ASTM A36 SKALA LABORATORIUM” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 5 Juni 2023.

Palembang, 5 Juni 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi:

Ketua:

1. Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197901052003121002

(.....)

Sekretaris:

2. Nurhabibah Paramitha Eka Utami, S.T., M.T.

NIP. 198911172015042003

(.....)


Anggota:

3. Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

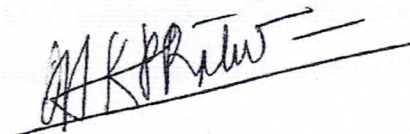
NIP. 196004071990031003

(.....)

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin


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

Diperiksa dan disetujui oleh:
Dosen Pembimbing


Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T.
NIP. 196307191990032001

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillahirobbilalamin puji syukur penulis haturkan atas kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan Rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat beserta salam kepada Nabi Muhammad *Shalallahu Alaihi Wassalam*, yang telah menuntun kita dari zaman *jahiliyah* menuju zaman yang terang benderang.

Skripsi yang berjudul “Pengaruh Pendinginan Cepat Setelah Pengelasan Terhadap Korosi Dibawah Insulasi Dalam Media Air Rawa Pada Baja ASTM A36 Skala Laboratorium” 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 penuh terima kasih atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penulisan ini, oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Widasto dan Ibu Sri Untani selaku orang tua yang telah mendidik dan merawat dengan penuh kasih sayang sampai dengan hari ini, serta saudari Erwita Widiastuti yang penulis sayangi.
2. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D. IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. IPP. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Gunawan, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Pembina Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak sekali memberikan arahan, saran serta nasihat dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.
6. Nurhabibah Paramitha Eka Utami, S.T., M.T. selaku Dosen yang sering membantu penulis dalam pembuatan skripsi ini.

7. Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang mengarahkan penulis sejak awal perkuliahan.
8. Seluruh tenaga pendidik dan kependidikan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama masa perkuliahan.
9. Kak Putra, Kak Hary, Pak Akbar, dan Wan dari UPTD BLKPPKT. Pak Yahya Bahar S.T dan Pak Irwanto S.T selaku teknisi laboratorium, serta Kak Yanuar Adisetya A.Md, Kak Jerry Herdiansyah S.Kom, Dan Yuk Agustini selaku admin jurusan.
10. Seluruh Sahabat penulis di lingkungan rumah, SMPN 1 Mesuji, SMAN 3 Unggulan Kayuagung, Karang Taruna Blok B Surya Adi, dan perkuliahan terkhusus rekan-rekan Teknik Mesin 2019.
11. Teman-teman penulis yang membantu penelitian dan penyusunan, Team Berburu Kimia, Team Sekret HMM & GMS, Kontrakan Pink, Aslab Material, Grup Nongki Layo, Specimen A36, Konco Material, Investor, Wong Sugeh, dan teman-teman yang datang pada waktu sidang sempro maupun yang memberikan doa dan hadiah serta yang selalu menyemangati dan mendukung penulis.
12. Seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam pembuatan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak sekali kekurangan karena keterbatasan wawasan penulis. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun untuk kelanjutan skripsi ini akan sangat membantu. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.

Indralaya, 10 September 2022

Agus Nugroho
NIM.03051281924123

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agus Nugroho

NIM : 03051281924123

Judul : Pengaruh Pendinginan Cepat Setelah Pengelasan Terhadap Korosi
Dibawah Insulasi Dalam Media Air Rawa Pada Baja ASTM A36
Skala Laboratorium

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, 29 Juni 2023



Agus Nugroho

NIM. 03051281924123

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agus Nugroho

NIM : 03051281924123

Judul : Pengaruh Pendinginan Cepat Setelah Pengelasan Terhadap Korosi
Dibawah Insulasi Dalam Media Air Rawa Pada Baja ASTM A36
Skala Laboratorium

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, 20 Juni 2023

Agus Nugroho

NIM. 03051281924123

RINGKASAN

PENGARUH PENDINGINAN CEPAT SETELAH PENGELASAN TERHADAP KOROSI DIBAWAH INSULASI DALAM MEDIA AIR RAWA PADA BAJA ASTM A36 SKALA LABORATORIUM

Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi, Juni 2023

Agus Nugroho, dibimbing oleh Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T.

xxvii + 92 halaman, 12 tabel, 64 gambar, 14 lampiran

RINGKASAN

Baja karbon terinsulasi banyak digunakan dalam industri kimia, gas, minyak dan perkapalan, insulasi digunakan sebagai pelindung panas, suara, serta pengaruh dari lingkungan luar. Keterbatasan dimensi mengharuskan dilakukannya proses penyambungan material, salah satunya pengelasan yang dapat menghasilkan tegangan sisa karena ekspansi termal. Korosi yang terjadi karena kerusakan insulasi (*corrosion under insulation*) merupakan *main problem* dalam dunia industri karena sulit diamati dan dapat menimbulkan kerugian besar. Salah satu cara untuk memperbaiki kualitas pengelasan dan ketahanan korosi adalah dengan *post weld heat treatment* (PWHT). Saat ini sulit ditemukan penelitian tentang korosi dibawah insulasi pada material pengelasan dan pengaruh *heat treatment*-nya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pendinginan cepat setelah pengelasan spesimen baja karbon rendah ASTM A36 terhadap peristiwa korosi dibawah insulasi dengan metode “*Water Immersion*” menggunakan air rawa pH 3.0 selama 7 dan 14 hari. Pengelasan dilakukan dengan jenis *shield metal arc welding* (SMAW). Perlakuan panas diterapkan pada temperatur 880 C yang ditentukan melalui perhitungan *carbon equivalent* dengan lama waktu penahanan 60 menit kemudian didinginkan secara cepat dalam media air rawa. Telah dipersiapkan spesimen *as received*, spesimen *as weld*, dan spesimen *quenching* tanpa perendaman sebagai acuan dalam menganalisa hasil pengujian spesimen perendaman korosi dengan insulasi dan tanpa insulasi. Pengujian yang dilakukan

adalah uji komposisi pada air rawa, *non destructive test* berupa *dye penetrant* pada hasil pengelasan, uji kekerasan *brinell*, perhitungan laju korosi, uji impak *charpy*, dan pengamatan metalografi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PWHT *quenching* meningkatkan kekerasan, ketangguhan, dan efektif menurunkan nilai laju korosi dibandingkan material *as received* dan *as weld* setelah dilakukan perendaman korosi baik dengan penggunaan insulasi maupun tanpa insulasi. Perendaman tanpa insulasi mengalami penghambatan laju korosi pada hari ke 14 karena terbentuk lapisan oksida yang menghalangi degradasi lebih lanjut, sedangkan pada perendaman 14 hari dengan insulasi mengalami peningkatan laju korosi karena air telah masuk kedalam insulasi dan adanya pengaruh kontaminan insulasi sehingga menjadikan proses korosi yang terjadi lebih reaktif. Spesimen *quenching* 14 hari tanpa insulasi menunjukkan penurunan laju korosi yang paling signifikan dibandingkan spesimen lainnya, sedangkan spesimen *quenching* 14 hari dengan insulasi mengalami laju korosi lebih lambat daripada spesimen las. hasil pengamatan metalografi menunjukkan bahwa setelah dilakukan perlakuan panas fasa yang terbentuk adalah fasa *bainite* karena kadar karbon pada spesimen tidak cukup untuk membentuk *martensite*.

Kata Kunci : *corrosion under insulation*, ASTM A36, PWHT, *quenching*.

Kepustakaan : 48 (1980-2022)

SUMMARY

EFFECT OF POST WELD HEAT TREATMENT QUENCHING ON CORROSION UNDER INSULATION IN SWAMP WATER MEDIUM ON LABORATORY-SCALE ASTM A36 STEEL

Scientific Writing in the form of a Thesis, June 2023

Agus Nugroho, supervised of Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T.

xxvii + 92 pages, 12 tables, 64 figures, 14 attachment

SUMMARY

Insulated carbon steel is widely used in chemical, gas, oil, and shipping industries, insulation is used as a protector of heat, sound, as well as influences from the outside environment. Dimensional limitations require the process of connecting materials, one of which is welding which can produce residual stress due to thermal expansion. Corrosion that occurs due to insulation damage (*corrosion under insulation*) is a *main problem* in the industrial world because it is difficult to observe and can cause large losses. One way to improve welding quality and corrosion resistance is with *post weld heat treatment* (PWHT). It is currently difficult to find research on corrosion under insulation in welding materials and the effect of *heat treatment*. This study aims to determine the effect of rapid cooling after welding ASTM A36 low-carbon steel specimens on corrosion events under insulation by “*the Water Immersion*” method using pH 3.0 swamp water for 7 and 14 days. Welding is done with *shield metal arc welding* (SMAW) type. *Heat treatment* is applied at a temperature of 880 C determined through *carbon equivalent* calculations with a holding time of 60 minutes then cooled rapidly in swamp water media. *as received, as weld, and quenching specimens* without immersion have been prepared as a reference in analyzing the test results of

insulated and uninsulated corrosion immersion specimens. The tests carried out were composition tests on swamp water, *non-destructive tests* in the form of *dye penetrant* on welding results, *brinell* hardness tests, corrosion rate calculations, charpy impact tests, and metallographic observations. The results showed that PWHT *quenching* increased hardness, toughness, and effectively reduced the corrosion rate value compared to *as received and as weld materials*. After corrosion soaking both with the use of insulation and without insulation. Uninsulated soaking experiences corrosion rate inhibition on day 14 because an oxide layer forms that blocks further degradation, while in 14 days of soaking with insulation, there is an increase in corrosion rate because water has entered the insulation and the influence of insulation contaminants makes the corrosion process more reactive. The 14th day uninsulated *quenching* specimen showed the most significant reduction in corrosion rate compared to other specimens, while the 14th day insulated *quenching* specimen experienced a slower corrosion rate than the welded specimen. The results of metallographic observations showed that after heat treatment, the phase formed was the *bainite* phase because the carbon content in the specimen was not enough to form *martensite*.

Keywords : *corrosion under insulation*, ASTM A36, PWHT, *quenching*

Literatures : 48 (1980-2022)

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 | xxv |
| DAFTAR TABEL..... | xxix |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xxxii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 7 |
| 2.1 <i>Corrosion Under Insulation</i> | 7 |
| 2.1.1 Pengertian <i>Corrosion Under Insulation</i> | 7 |
| 2.1.2 Mekanisme <i>Corrosion Under Insulation</i> | 7 |
| 2.1.3 Jenis-Jenis <i>Corrosion Under Insulation</i> | 8 |
| 2.1.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi <i>Corrosion Under Insulation</i> .. | 12 |
| 2.1.5 Risiko <i>Corrosion Under Insulation</i> | 13 |
| 2.2 Korosi Air Rawa | 14 |
| 2.2.1 Pengertian Korosi Air Rawa | 14 |
| 2.2.2 Penyebab Korosi Air Rawa..... | 14 |
| 2.3 Korosi Pada Baja Karbon..... | 15 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.3.1 | Penyebab Korosi Pada Baja Karbon..... | 15 |
| 2.4 | Korosi Pada Pengelasan Baja Karbon | 15 |
| 2.4.1 | Penyebab Korosi Pada Pengelasan Baja Karbon..... | 16 |
| 2.5 | Pasivasi..... | 16 |
| 2.6 | Prinsip Dasar Perlakuan Panas | 17 |
| 2.6.1 | Diagram Phasa Fe-Fe ₃ C..... | 17 |
| 2.6.2 | Diagram TTT Dan CCT | 19 |
| 2.7 | <i>Quenching</i> | 20 |
| 2.8 | Penelitian Terdahulu..... | 20 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | | 23 |
| 3.1 | Diagram Alir Penelitian..... | 23 |
| 3.2 | Persiapan Alat Dan Bahan..... | 24 |
| 3.3 | Prosedur Penelitian..... | 24 |
| 3.3.1 | Studi Literatur..... | 24 |
| 3.3.2 | Preparasi Spesimen..... | 25 |
| 3.3.3 | Proses Pengelasan <i>SMAW</i> | 25 |
| 3.3.4 | Pengujian <i>Dye Penetrant</i> | 26 |
| 3.3.5 | Proses <i>Quenching</i> | 27 |
| 3.3.6 | Proses Penimbangan Berat | 29 |
| 3.3.7 | Proses Pengukuran Ketebalan | 29 |
| 3.3.8 | Proses Insulasi Spesimen..... | 30 |
| 3.3.9 | Proses Perendaman Spesimen Dalam Air Rawa | 31 |
| 3.4 | Metode Penelitian..... | 32 |
| 3.4.1 | Laju Korosi | 32 |
| 3.4.2 | Kekerasan | 33 |
| 3.4.3 | Metalografi | 34 |
| 3.4.4 | Impak..... | 35 |
| 3.5 | Analisa Pengolahan Data..... | 37 |
| 3.6 | Uraian Pelaksanaan Kegiatan..... | 37 |
| 3.7 | Hasil Yang Diharapkan | 38 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | | 39 |
| 4.1 | Hasil Komposisi Kimia | 39 |
| 4.2 | Hasil Pengujian <i>Dye Penetrant</i> | 41 |
| 4.3 | Hasil Pengujian Laju Korosi | 41 |

| | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|----|
| 4.4 | Hasil Perhitungan Kekerasan | 46 |
| 4.5 | Hasil Pengamatan Metalografi | 49 |
| 4.5.1 | Struktur Makro | 49 |
| 4.5.2 | Struktur Mikro | 52 |
| 4.6 | Hasil Pengujian Impak | 61 |
| 4.6.1 | Permukaan Patah Spesimen Impak | 64 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | | 69 |
| 5.1 | Kesimpulan | 69 |
| 5.2 | Saran | 70 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 73 |
| LAMPIRAN | | 79 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Prinsip dasar terjadinya korosi (Ardian, 2018) | 7 |
| Gambar 2.2 Mekanisme <i>corrosion under insulation</i> (CUI) (Winnik, 2016) | 8 |
| Gambar 2.3 Korosi SCC (Sarno, Majidian dan Karagiannakis, 2021) | 9 |
| Gambar 2.4 Korosi seragam (Sarno, Majidian dan Karagiannakis, 2021) | 9 |
| Gambar 2.5 Korosi sumuran (Sarno, Majidian dan Karagiannakis, 2021)..... | 10 |
| Gambar 2.6 Korosi celah (Sarno, Majidian dan Karagiannakis, 2021) | 10 |
| Gambar 2.7 Korosi akibat mikrobiologi (Royani dkk., 2021) | 10 |
| Gambar 2.8 Korosi batas butir (Fontana, 1987)..... | 11 |
| Gambar.2.9 Pengaruh temperatur terhadap laju korosi pada sistem terbuka dan tertutup (NACE, 2016)..... | 13 |
| Gambar 2.10 Diagram fasa Fe-Fe ₃ C (Callister, 1991) | 18 |
| Gambar 2.11 Pembesaran diagram fasa Fe-Fe ₃ C (ASM International, 1991) ... | 19 |
| Gambar 2.12 (a). Diagram TTT; dan (b). Diagram CCT (Callister, 1991)..... | 20 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian..... | 23 |
| Gambar 3.2 Pengelasan SMAW..... | 26 |
| Gambar 3.3 (a). Bentuk 3 dimensi spesimen pengelasan; dan (b). Simbol pengelasan baja ASTM A36 sesuai dengan JIZ Z 3021 | 26 |
| Gambar 3.4 Skema pengujian <i>dye penetrant</i> | 27 |
| Gambar 3.5 Proses <i>heat treatment</i> menggunakan <i>furnace</i> | 28 |
| Gambar 3.6 Media <i>quenching</i> | 28 |
| Gambar 3.7 Penimbangan berat menggunakan timbangan digital..... | 29 |
| Gambar 3.8 Pengukuran ketebalan menggunakan jangka sorong | 30 |
| Gambar 3.9 Proses insulasi <i>tape PVC</i> | 31 |
| Gambar 3.10 Proses perendaman korosi dalam air rawa | 32 |
| Gambar 3.11 Alat uji kekerasan <i>brinell</i> | 33 |
| Gambar 3.12 Alat <i>specimen dryer</i> , dan mikroskop metalografi | 34 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.13 Bentuk 3 dimensi spesimen impact sesuai standar JIS Z 2202 | 35 |
| Gambar 3.14 Alat uji impact metode <i>charpy</i> | 37 |
| Gambar 4.1 (a). Cacat manufaktur ; dan (b). Cacat porositas dan retak | 41 |
| Gambar 4.2 Perbandingan laju korosi spesimen dengan dan tanpa insulasi | 44 |
| Gambar 4.3 (a). Laju korosi spesimen perendaman tanpa insulasi; (b). Laju korosi spesimen perendaman dengan insulasi | 45 |
| Gambar 4.4 Nilai kekerasan <i>brinell</i> seluruh spesimen pengujian | 47 |
| Gambar 4.5 Makro spesimen (a). <i>As received</i> ; (b). Las; dan (c). Las + <i>quenching</i> | 49 |
| Gambar 4.6 Makro spesimen (a). A7 (<i>as received</i> 7 hari tanpa insulasi); (b). A14 (<i>as received</i> 14 hari tanpa insulasi); (c). A7+ (<i>as received</i> 7 hari dengan insulasi); dan (d). A14+ (<i>As received</i> 14 hari dengan insulasi)..... | 50 |
| Gambar 4.7 Makro spesimen (a). L7 (las 7 hari tanpa insulasi) ; (b). L14 (las 14 hari tanpa insulasi); (c). L7+ (las 7 hari dengan insulasi); dan (d). L14+ (las 14 hari dengan insulasi) | 51 |
| Gambar 4.8 Makro spesimen (a). Q7 (las + <i>quenching</i> 7 hari tanpa insulasi); (b). Q14 (las + <i>quenching</i> 14 hari tanpa insulasi); (c). Q7+ (las + <i>quenching</i> 7 hari dengan insulasi); dan (d). Q14+ (las + <i>quenching</i> 14 hari dengan insulasi). | 51 |
| Gambar 4.9 Spesimen <i>as received</i> (A7) perendaman 7 hari tanpa insulasi | 52 |
| Gambar 4.10 Spesimen <i>as received</i> (A14) perendaman 14 hari tanpa insulasi | 53 |
| Gambar 4.11 Spesimen <i>as received</i> (A7+) perendaman 7 hari dengan insulasi ... | 53 |
| Gambar 4.12 Spesimen <i>as received</i> (A14+) perendaman 14 hari dengan insulasi | 54 |
| Gambar 4.13 Spesimen las (L7) perendaman 7 hari tanpa insulasi..... | 55 |
| Gambar 4.14 Spesimen las (L14) perendaman 14 hari tanpa insulasi | 55 |
| Gambar 4.15 Spesimen las (L7+) perendaman 7 hari dengan insulasi | 56 |
| Gambar 4.16 Spesimen las (L14+) perendaman 14 hari dengan insulasi | 56 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.17 Spesimen las + <i>quenching</i> (Q7) perendaman 7 hari tanpa insulasi | 57 |
| Gambar 4.18 Spesimen las + <i>quenching</i> (Q14) perendaman 14 hari tanpa insulasi..... | 58 |
| Gambar 4.19 Spesimen las + <i>quenching</i> (Q7+) perendaman 7 hari dengan insulasi..... | 58 |
| Gambar 4.20 Spesimen las + <i>quenching</i> (Q14+) perendaman 14 hari dengan insulasi..... | 59 |
| Gambar 4.21 (a). Ketebalan korosi spesimen <i>as received</i> ; (b). Ketebalan korosi pada <i>base metal</i> ; (c). Ketebalan korosi pada <i>heat affected zone</i> ; dan (d). Ketebalan korosi pada <i>weld metal</i> | 61 |
| Gambar 4.22 Grafik perbandingan hasil uji impak spesimen perendaman | 62 |
| Gambar 4.23 (a). Perpatahan A7; dan (b). Perpatahan A14..... | 64 |
| Gambar 4.24 (a). Perpatahan A7+; dan (b). Perpatahan A14+..... | 64 |
| Gambar 4.25 (a). Perpatahan L7 HAZ; (b). Perpatahan L7 WM; (c). Perpatahan L14 HAZ; dan (d). Perpatahan L14 WM | 65 |
| Gambar 4.26 (a). Perpatahan L7+ HAZ; (b). Perpatahan L7+ WM; (c). Perpatahan L14+ HAZ; dan (d). Perpatahan L14+ WM..... | 65 |
| Gambar 4.27 (a). Perpatahan Q7 HAZ; (b). Perpatahan Q7 WM; (c). Perpatahan Q14 HAZ; dan (d). Perpatahan Q14 WM | 66 |
| Gambar 4.28 (a). Perpatahan Q7+ HAZ; (b). Perpatahan Q7+ WM; (c). Perpatahan Q14+ HAZ; dan (d). Perpatahan Q14+ WM..... | 66 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1 Alat dan bahan penelitian..... | 23 |
| Tabel 3.2 Jumlah, jenis, dan kode spesimen pengujian | 24 |
| Tabel 3.3 Uraian pelaksanaan kegiatan penelitian..... | 38 |
| Tabel 4.1 Komposisi kimia baja ASTM A36 | 39 |
| Tabel 4.2 Komposisi kimia elektroda E7018 (Nikko Steel, 2018) | 39 |
| Tabel 4.3 Komposisi air rawa | 40 |
| Tabel 4.4 Komposisi kimia insulasi <i>tape PVC</i> (DIRECTA (UK) Ltd, 1999) | 40 |
| Tabel 4.5 Perhitungan selisih ketebalan pada setiap spesimen | 42 |
| Tabel 4.6 Perhitungan kehilangan berat pada setiap spesimen | 43 |
| Tabel 4.7 Perhitungan laju korosi | 44 |
| Tabel 4.8 Nilai pengukuran ketebalan korosi seluruh spesimen berdasarkan gambar metalografi | 60 |
| Tabel 4.9 Hasil pengujian impak | 62 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1 Proses pengelasan | 79 |
| Lampiran 2 Proses <i>post weld heat treatment quenching</i> | 79 |
| Lampiran 3 Proses penimbangan berat dan pengukuran..... | 79 |
| Lampiran 4 Proses insulasi spesimen..... | 80 |
| Lampiran 5 Proses perendaman dalam air rawa | 80 |
| Lampiran 6 Pengujian <i>dye penetrant</i> | 80 |
| Lampiran 7 Pengujian kekerasan | 81 |
| Lampiran 8 Pengujian metalografi..... | 81 |
| Lampiran 9 Pengujian impak | 82 |
| Lampiran 10 Komposisi kimia baja ASTM A36 | 83 |
| Lampiran 11 Komposisi kimia air rawa..... | 84 |
| Lampiran 12 Komposisi kimia elektroda E7018 | 85 |
| Lampiran 13 Komposisi kimia insulasi <i>tape PVC</i> | 86 |
| Lampiran 14 Perhitungan kekerasan <i>brinell</i> BHN..... | 87 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan SMAW (*shield metal arc welding*) banyak digunakan untuk menyambung konstruksi pipa di industri minyak dan gas karena lebih praktis, lebih murah dan dapat dioperasikan dari posisi manapun (Pratama dan Yunus, 2022). Sambungan pipa las menciptakan efek pemanasan lokal suhu tinggi, menyebabkan ekspansi termal maupun penyusutan saat pipa mendingin. Hal ini menyebabkan tegangan sisa, perubahan struktur mikro dan kekerasan tinggi di daerah yang terkena panas (*HAZ*). Tegangan sisa pengelasan dapat menyebabkan retak pada lapisan las, dan membahayakan konstruksi yang dilas bila menerima pembebanan. Metode yang sering digunakan untuk menghilangkan tegangan sisa adalah cara termal melalui proses *post weld heat treatment* (PWHT) (Pratama dan Yunus, 2022).

Korosi adalah peristiwa alamiah yang terjadi disebabkan reaksi material logam dengan lingkungannya. Dalam dunia industri, kasus korosi menjadi *main problem* baik dalam industri kimia, gas, *refining*, dan eksplorasi perminyakan (Baihaqi, Pratikno dan Hadiwidodo, 2020). Untuk menanggulangi permasalahan tersebut, perlindungan terhadap jaringan-jaringan industri seperti sistem perpipaan merupakan suatu langkah penting.

Berdasarkan data *Pertamina Balikpapan Refinery Expansion Project, 1982. Proyek Upgrading Kilang I Pertamina Balikpapan, 1994*. Bahwa 65% sistem perpipaan pada PT. Pertamina RU V telah menggunakan sistem insulasi panas. Yang terdiri dari pipa minyak mentah *feed intake*, pipa uap, pipa minyak utilitas, pipa produk diesel, residu panjang dan residu pendek (El-Ridlo, Yuwono dan Sulardi, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan sistem insulasi sudah banyak diterapkan. Dimana selain mencegah *heatloss*, insulasi

juga berfungsi sebagai proteksi bagi pekerja dikarenakan temperatur fluida yang mengalir cukup tinggi.

Corrosion under insulation (CUI) merupakan korosi yang disebabkan karena masuknya fluida antara daerah permukaan material dan insulasinya. Sebagai contoh, pada tahun 2006, di Amerika Serikat, Pabrik petrokimia mengalami kebocoran dari saluran hidrokarbon 4 inci atau sekitar 10 sentimeter. Kebocoran tersebut mengakibatkan kebakaran besar yang dampaknya menghancurkan setengah unit pabrik dan menelan biaya perusahaan US\$. 50 juta atau sekitar RP. 785 miliar, Penyebabnya adalah CUI. Berdasarkan studi oleh *Exxon Mobil Chemical* pada tahun 2003. Studi ini menunjukkan bahwa antara 40 - 60 % dari biaya pemeliharaan perpipaan terkait dengan CUI (Jawaherdashti, 2014).

Selain menggunakan insulasi, korosi pada baja karbon juga dapat dikendalikan melalui metode *heat treatment*. Penelitian yang dilakukan oleh (Alkahfi dan Pratiwi, 2022) mendapatkan data bahwa spesimen pengelasan baja ASTM A36 yang di *quenching* memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan. *Heat treatment* adalah kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan material yang bertujuan untuk mengubah sifat material agar menjadi lebih baik dan juga dapat menghilangkan adanya tegangan sisa dari hasil pengelasan. *Quenching* merupakan proses perlakuan panas dengan mekanisme pemanasan pada suhu tertentu kemudian ditahan beberapa saat (*holding time*) lalu di dinginkan secara mendadak pada media pendingin.

Telah banyak penelitian tentang uji korosi pada material ASTM A36 yang telah di *heat treatment*, serta telah banyak penelitian tentang *corrosion under insulation* yang mayoritas menggunakan material *seamless pipe* atau tanpa sambungan, sehingga analisa korosi yang menggunakan insulasi pada daerah hasil pengelasannya (*welded*) belum banyak dilakukan. Metode *heat treatment* pendinginan cepat juga digunakan sebagai analisa terhadap pengaruh korosi dibawah insulasi. Maka karena itu, dirasa perlu dilakukan penelitian tersebut untuk menganalisis lebih lanjut hasil dari terjadinya korosi dibawah insulasi pada daerah las yang didinginkan cepat, sehingga dapat dikaji dan

dipelajari lebih lanjut perubahan-perubahan yang terjadi selama proses penelitian.

Atas dasar tersebut penulis mengambil tugas akhir/skripsi:

“PENGARUH PENDINGINAN CEPAT SETELAH PENGELASAN TERHADAP KOROSI DIBAWAH INSULASI DALAM MEDIA AIR RAWA PADA BAJA ASTM A36 SKALA LABORATORIUM”

1.2 Rumusan Masalah

Pada industri minyak dan gas, jenis pipa yang digunakan umumnya terbuat dari material baja dengan mayoritas baja karbon. Baja karbon dipilih karena dapat mengatasi masalah rendahnya ketahanan terhadap korosi, yaitu dengan ditambah lapisan anti korosi (Hardika, 2017), salah satunya insulasi. Kegagalan akibat *corrosion under insulation* merupakan *main problem* mengingat umumnya penggunaan insulasi serta besarnya kerugian yang diakibatkan. Telah banyak penelitian tentang uji korosi pada material ASTM A36 yang telah di *heat treatment*, serta telah banyak penelitian tentang *corrosion under insulation* yang mayoritas menggunakan material *seamless pipe* atau tanpa sambungan, sehingga analisa korosi dengan perlakuan panas yang menggunakan insulasi pada daerah hasil pengelasannya (*welded*) belum banyak dilakukan, maka dari itu perlu dilakukan penelitian untuk menganalisa pengaruh korosi dibawah insulasi pada daerah pengelasan dan bagaimana pengaruh *heat treatment* terhadap *properties* yang berkaitan dengan CUI.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini dibatasi oleh batasan sebagai berikut:

1. Spesimen korosi dibawah insulasi yang digunakan adalah *welded material* plat baja ASTM A36 sesuai standar ISO 19277.
2. Metode pengelasan yang digunakan adalah *SMAW* dan dilakukan oleh *welder* dari UPTD BLKPPKT Provinsi Sumatera Selatan sesuai standar BNSP.
3. Insulasi yang digunakan adalah *tape PVC* sesuai standar NACE SP 0198 (*organic foam*) dan ASM Handbook Volume 13A (*organic coating and linings*).
4. Media *quenching* dan media perendaman uji korosi yang digunakan adalah air rawa yang berasal dari daerah KTM Sungai Rambutan, Kabupaten Ogan Ilir, Provinsi Sumatera Selatan.
5. Proses perlakuan panas menggunakan temperatur austenisasi 880°C dan *holding time* selama 60 menit.
6. Praktik pengkorosian menggunakan metode perendaman dengan standar ISO 2812-2 "*Part 2: Water Immersion Method*", lama waktu perendaman 7 dan 14 hari.
7. Temperatur media *quenching* dan media perendaman menggunakan suhu ruangan dan pengaruh aliran air dianggap stabil.
8. Pengujian yang dilakukan adalah *dye penetrant*, laju korosi, kekerasan, metalografi, dan impak.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini ialah menganalisa dan memahami pengaruh *corrosion under insulation* terhadap *mechanical properties* dan korosi pada baja ASTM A36 dalam air rawa yang dilas dan didinginkan cepat melalui eksperimen pada skala laboratorium.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Sebagai referensi untuk para praktisi dibidang pengendalian korosi.
2. Sebagai referensi bagi penelitian yang relevan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdunnaser dan Sumiyanto (2015) 'Pengaruh Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon ASTM A-36', *Bina teknika*, 11.
- Alkahfi, A. dan Pratiwi, D.K. (2022) 'The Effect Of Time Variation On Corrosion Behavior ASTM A36 In Swamp Water From The Village Of Rambutan South Sumatra Province , Indonesia', *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 20, pp. 13–19.
- Amosun, T.S. dkk. (2022) 'Effect of Quenching Media On Mechanical Properties of Welded Mild Steel Plate', *Mechanical Engineering for Society and Industry*, 3(1), pp. 4–11. Tersedia pada: <https://doi.org/10.31603/mesi.7121>.
- Ardian, F. (2018) 'Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Dalam Dan Variasi Jenis Lingkungan Luar Terhadap Karakteristik Korosi Dibawah Insulasi Baja ASTM A53 Grade-B'.
- ASM International (1980) *ASM Handbook: Volume 13 Corrosion*.
- ASM International (1991) *ASM Handbook Volume 4 Heat Treating*. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1201/9781315120577>.
- ASM International (1992) *ASM Handbook Volume 9 Metallography And Microstructures*.
- ASM International (2003) *ASM Handbook Volume 13A Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*.
- ASM International (2005) *ASM Handbook Volume 13B Corrosion: Materials*.
- ASM International (2006) *ASM Handook Volume 13C Corrosion: Environments and Industries*. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1055/s-2007-984942>.
- ASTM International (2015) 'Standard Specification for Carbon Structural Steel', *Annual Book of ASTM Standards*, i(Reapproved), pp. 1–2. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1520/A0036>.
- Azis, R.A., Suharno, S. dan Saputro, H. (2019) 'Pengaruh Variasi Diameter

- Elektroda E7018 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Pengelasan pada Baja Karbon Rendah Jenis SS400 dengan Metode SMAW’, *Jurnal Teknik*, 17(2), pp. 94–105. Tersedia pada: <https://doi.org/10.37031/jt.v17i2.53>.
- Baihaqi, R.A., Pratikno, H. dan Hadiwidodo, Y.S. (2020) ‘Analisis Sour Corrosion pada Baja ASTM A36 Akibat Pengaruh Asam Sulfat dengan Variasi Temperatur dan Waktu Perendaman di Lingkungan Laut’, *Jurnal Teknik ITS*, 8(2). Tersedia pada: <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i2.45896>.
- Bayin, D., Taqwiym, A. dan Nurussama (2016) ‘Korosifitas Air Rawa Dalam Konteks Hitungan Kerugian Ekonomis Terhadap Infrastruktur Berbahan Baku Baja Di Lingkungan Air Rawa’.
- Bryson, W.E. (2005) *Heat Treatment, Selection, and Application of Tool Steels*, *Heat Treatment, Selection, and Application of Tool Steels*. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3139/9783446436701.fm>.
- Cain, T. (1984) *Hardening, Tempering & Heat Treatment, Workshop Practice Series*.
- Caines, S. dkk. (2015) ‘Experimental Design To Study Corrosion Under Insulation In Harsh Marine Environments’, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 33, pp. 39–51. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.10.014>.
- Callister, W.D. (1991) ‘Materials Science And Engineering: An introduction (2nd edition)’, *Materials & Design*, 12(1), p. 59. Tersedia pada: [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(91\)90101-9](https://doi.org/10.1016/0261-3069(91)90101-9).
- DIRECTA (UK) Ltd (1999) *Technical Data Sheet Electrical Insulation Tape*.
- El-Ridlo, N. kafi, Yuwono, B. dan Sulardi (2019) ‘Corrosion Under Insulation Control With The Primer Coating Method’, 20(1). Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101105-8.00017-6>.
- Fontana, M.G. (1987) *Corrosion Engineering*. Third Edit. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Gharibshahiyani, E. dkk. (2011) ‘The Effect Of Microstructure On Hardness And Toughness of Low Carbon Welded Steel Using Inert Gas

- Welding', *Materials and Design*, 32(4), pp. 2042–2048. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.11.056>.
- Hardika, Y. (2017) 'Pemilihan bahan baja untuk sistem perpipaan dalam industri migas'.
- Hilti Corporation (2020) *Corrosion Handbook*.
- I. E., A., R. Kamal, A. dan A. Ogunjirin, O. (2013) 'Effects of Heat Treatment on the Properties of Mild Steel Using Different Quenchants', *Frontiers in Science*, 2(6), pp. 153–158. Tersedia pada: <https://doi.org/10.5923/j.fs.20120206.04>.
- Ikumapayi, O.M. dkk. (2021) 'Effects of Heat Treatment on the Impact and Hardness Properties of Mild Steel [ASTM 36] Lap Welded Joint', *E3S Web of Conferences*, 309. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130901078>.
- International Organization for Standardization (2007) *ISO 2812-2 Paints and varnishes - Determination of resistance to liquids - Part 2: Water Immersion Method, 2812-2*.
- Ismael, Q. (2022) 'Investigation of Mechanical Properties of low Carbon Steel Weldments For Different Welding Processes', *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, 3(2), pp. 116–122. Tersedia pada: <https://doi.org/10.21608/svusrc.2022.152920.1061>.
- Javaherdashti, R. (2014) 'Corrosion under Insulation (CUI): A review of essential knowledge and practice', *Journal of Materials Science & Surface Engineering*, 1(2), pp. 36–43.
- Kumar, P., Arya, H.K. dan Verma, S. (2017) 'Effect of Post Weld Heat Treatment on Impact Toughness of SA 516 GR . 70 Low Carbon Steel Welded by Saw Process', 5(VII), pp. 971–974.
- Lamngeun, V. (2004) *Manufacturing Processes 4-5, Manufacturing Processes*.
- Lancaster, J. (1997) *Handbook of Structural Welding: Processes, Materials and Methods used in the Welding of Major Structures, Pipelines and Process Plant*. Cambridge: Abington Publishing.
- Langøy, M.A. dkk. (2017) 'Corrosion Processes Relevant to the Integrity of Oil and Gas Facilities', *The Open Conference Proceedings Journal*,

- 8(1), pp. 14–21. Tersedia pada:
<https://doi.org/10.2174/2210289201708010014>.
- Limbong, S.R. (2016) ‘Analisa Material ASTM A36 Akibat Pengaruh Suhu dan Quenching terhadap Nilai Ketangguhannya’.
- Mohammad Edrie, F. (2017) ‘Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Pada Kondisi Lingkungan Kering Dan Basah Terhadap Karakteristik Korosi Pipa Baja Karbon Terinsulasi Berbahan Glasswool Dan Alumunium Foil’.
- NACE (2016) *SP 0198 Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials*.
- Nikko Steel (2018) *Manufacturers of a Diverse Range Of Advanced Welding Consumables Section 4 WI-0304 DS23 RD-718*. 6th edn. Jakarta.
- Ossai, C.I., Boswell, B. dan Davies, I.J. (2015) ‘Pipeline Failures In Corrosive Environments – A conceptual analysis of trends and effects American Society of Mechanical Engineers’, *Engineering Failure Analysis*, 53, pp. 36–58. Tersedia pada:
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.03.004>.
- Pratama, G.Y. dan Yunus (2022) ‘Pengaruh Post Weld Heat Treatment (Pwht) Dengan Variasi Media Pendinginan Hasil Pengelasan Smaw Pada Pipa Kilang Astm A 106 Grade B Terhadap Kekuatan Bending Dan Struktur Mikro’, *JTM*, 10(03), pp. 69–76.
- Rajan, T.V., Sharma, C.P. dan Sharma, A. (2011) *Heat Treatment Principles And Techniques*. Second.
- Royani, A. dkk. (2021) ‘Korosi Yang Dipengaruhi Mikrobiologi Dan Teknologi Pencegahannya Di Industri Minyak Dan Gas : Review’, *METALURGI*, 3(2022), pp. 135–150. Tersedia pada:
<https://doi.org/10.14203/metalurgi.v36i3.608>.
- Sarno, L. Di, Majidian, A. dan Karagiannakis, G. (2021) ‘The Effect of Atmospheric Corrosion on Steel Structures: A State-of-the-Art and Case-Study’, *Buildings*, 11(12). Tersedia pada:
<https://doi.org/10.3390/buildings11120571>.
- Surdia, T. dan Saito, S. (1999) *Pengetahuan Bahan Teknik*. Keempat. Jakarta:

- PT. Pradnya Paramita. Tersedia pada:
<http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/86075>.
- Suresh Kumar, M. dkk. (2008) 'Failure Analysis of A Stainless Steel Pipeline', *Engineering Failure Analysis*, 15(5), pp. 497–504. Tersedia pada:
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2007.05.002>.
- Suryana, I.A. (2016) 'Analisa Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Baja AAR-M201 Grade E'.
- Susetyo, F.B., Basori, I. dan Simanjuntak, J.T. (2021) 'Pengaruh Polaritas Dan Temperatur Media Quenching Air Terhadap Kekerasan dan Korosi Deposit Lasan Baja Karbon Rendah Yang Dihasilkan Dari Proses SMAW Menggunakan Elektroda JIS Z 3251 DF2A-450-R', *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 6(1), pp. 39–43. Tersedia pada:
<https://doi.org/10.52447/jktm.v6i1.4395>.
- Udianto, a N.B. dkk. (2009) 'Pengamatan Struktur Mikro Pada Korosi Antar Butir Dari Material Baja Tahan Karat Austenitik Setelah Mengalami Proses Pemanasan', *JFN*, 3(2), pp. 107–130.
- Winnik, S. (2016) *Corrosion-Under-Insulation (CUI) Guidelines (Second Edition)*, *Corrosion-Under-Insulation (CUI) Guidelines*. Tersedia pada:
<https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100714-3.00001-9>.