

**SKRIPSI**

**ANALISIS KETANGGUHAN DAN KETAHANAN  
LELAH BAJA KONSTRUKSI LAS PADA BEJANA  
TEKAN *TRANSPORT TANKS***



**DIMAS ADITYA**

**03051181924008**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2023**



**SKRIPSI**

**ANALISIS KETANGGUHAN DAN KETAHANAN  
LELAH BAJA KONSTRUKSI LAS PADA BEJANA  
TEKAN *TRANSPORT TANKS***

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



**OLEH**

**DIMAS ADITYA**

**03051181924008**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2023**



## HALAMAN PENGESAHAN

### **ANALISIS KETANGGUHAN DAN KETAHANAN LELAH BAJA KONSTRUKSI LAS PADA BEJANA TEKAN *TRANSPORT TANKS***

#### **SKRIPSI**

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana  
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

**DIMAS ADITYA**

**03051181924008**

Palembang, April 2023

Diperiksa dan disetujui oleh

Pembimbing Skripsi

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

**Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.**  
**NIP. 196004071990031003**



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

**Agenda No.** :  
**Diterima Tanggal** :  
**Paraf** :

---

## **SKRIPSI**

**NAMA** : DIMAS ADITYA  
**NIM** : 03051181924008  
**JURUSAN** : TEKNIK MESIN  
**JUDUL SKRIPSI** : ANALISIS KETANGGUHAN DAN KETAHANAN  
LELAH BAJA KONSTRUKSI LAS PADA BEJANA  
TEKAN *TRANSPORT TANKS*  
**DIBUAT TANGGAL** : 5 JULI 2022  
**SELESAI TANGGAL** : 21 MARET 2023

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**



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

**Palembang, April 2023**  
**Diperiksa dan disetujui oleh:**  
**Pembimbing Skripsi**



**Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.**  
**NIP. 196004071990031003**





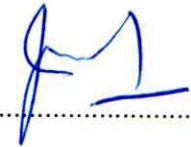
## HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul “ANALISIS KETANGGUHAN DAN KETAHANAN LELAH BAJA KONSTRUKSI LAS PADA BEJANA TEKAN *TRANSPORT TANKS*” telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Sidang Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 21 Maret 2023 dan dinyatakan sah telah melakukan revisi.

Palembang, April 2023

Ketua :


1. Gunawan, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197705072001121001



(.....)

Anggota :

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



(.....)


2. Akbar Teguh Prakoso, S.T., M.T.  
NIP. 199204012022031009



(.....)

  
Ketua Program Studi Teknik Mesin  
  
Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197112251997021001

Pembimbing Skripsi

  
Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.  
NIP. 196004071990031003



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan yang Maha Esa berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi yang berjudul “Analisis Ketangguhan dan Ketahanan Lelah Baja Konstruksi Las Pada Bejana Tekan *Transport Tanks*”, disusun untuk melengkapi salah satu syarat mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan skripsi ini kepada Kedua Orang Tua penulis, Sugianto dan Waginik yang selalu memberikan doa dan dukungan penuh lahir dan batin, terima kasih kepada Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T., selaku dosen pembimbing penulis yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, dan masukan yang membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir, terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T., selaku pembimbing akademik penulis yang telah memberikan saran dan bimbingan selama perkuliahan, dan terima kasih kepada seluruh civitas akademika jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya atas bantuan dan ilmu yang bermanfaat. Semoga Allah senantiasa membalas segala kebaikan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam hal pembelajaran khususnya bagi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Palembang, April 2023



Dimas Aditya  
NIM. 03051181924008



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dimas Aditya

NIM : 03051181924008

Judul : Analisis Ketangguhan dan Ketahanan Lelah Baja Konstruksi Las pada Bejana Tekan *Transport Tanks*

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.

Palembang, April 2023



Dimas Aditya

NIM. 03051181924008



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dimas Aditya

NIM : 03051181924008

Judul : Analisis Ketangguhan dan Ketahanan Lelah Baja Konstruksi Las pada Bejana Tekan *Transport Tanks*

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.



Palembang , April 2023



Dimas Aditya

NIM. 03051181924008





## RINGKASAN

### ANALISIS KETANGGUHAN DAN KETAHANAN LELAH BAJA KONSTRUKSI LAS PADA BEJANA TEKAN *TRANSPORT TANKS*

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, April 2023

Dimas Aditya, dibimbing oleh Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

xxxii+ 84 Halaman, 16 Tabel, 56 Gambar, 9 Lampiran

#### RINGKASAN

*Transport tanks* merupakan salah satu bejana tekan tipe horizontal digunakan sebagai pengangkut LPG dalam industri migas. Bejana tekan *transport tank* LPG terdapat pembebanan bolak-balik akibat tekanan yang mengakibatkan terjadinya *fatigue* pada bejana tekan tersebut sehingga ketahanan lelah/*fatigue* penting untuk dianalisis lebih lanjut. Ketangguhan material juga perlu untuk dianalisis melalui pendekatan eksperimen dengan menyesuaikan kondisi temperatur kerja bejana tekan, dan juga dapat mengetahui ciri karakteristik patah akibat pengujian pada kondisi temperatur yang berbeda. Pengelasan merupakan perlakuan panas yang dapat mempengaruhi sifat mekanik. Pada material bejana tekan *transport tank* LPG, area las menjadi area kritis yang mengalami kegagalan sehingga penting untuk dipelajari lebih lanjut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis ketangguhan impak dan ketahanan lelah/*fatigue* pada sambungan las baja ASTM A-36 yang umum dipakai dalam bejana tekan dengan jenis pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan tipe sambungan las *butt joint-single v-groove*. Pengujian ketangguhan yang dilakukan adalah pengujian impak metode *v-notch* Charpy dengan variasi temperatur spesimen sebesar 0°C, 10°C, 27°C. Pengujian ketahanan lelah yang dilakukan adalah pengujian *fatigue* metode *repeated bending* dengan variasi sudut pembebanan sebesar 10°, 11°, 12° dan 13° untuk mencari siklus ketahanan lelah. Hasil pengujian impak menghasilkan energi impak sebesar 86,60 J dan ketangguhan 1,095 J/mm<sup>2</sup> pada temperatur pengujian 0°C. Pada temperatur 10°C energi impak sebesar 92,27 J dengan ketangguhan 1,153 J/mm<sup>2</sup>,

dan pada temperatur 27°C energi impak sebesar 105,27 J dengan ketangguhan 1,315 J/mm<sup>2</sup>. Pada temperatur 0°C perpatahan berserabut dan cenderung getas dengan hanya mengakibatkan deformasi penampang yang kecil, dan pada temperatur 10°C perpatahan cenderung ulet namun spesimen tidak mengalami deformasi penampang yang terlalu besar, sedangkan pada temperatur 27°C menghasilkan patah ulet dengan permukaan kasar dan deformasi penampang yang relatif besar. Hasil pengujian *fatigue* pada pembebanan sudut 10° menghasilkan siklus sebesar 67180,5, kemudian pada pembebanan sudut 11° didapatkan siklus sebesar 61066,5, dan pada pembebanan sudut 12° siklus yang didapat sebesar 52321,5, sedangkan pengujian *fatigue* pada pembebanan sudut 13° siklus yang didapat sebesar 48112,5. Hasil pengujian *fatigue* menunjukkan bahwa pembebanan sudut berbanding terbalik dengan nilai siklus. Semakin besar pembebanan sudut yang diberikan maka akan semakin kecil nilai siklusnya. Melalui kurva S-N yang didapat menunjukkan batas lelah (*fatigue limit*) dari baja ASTM A-36 berada pada tegangan yang lebih kecil dari 156,93 MPa. Pola perpatahan spesimen pada pembebanan sudut yang berbeda memiliki pola yang serupa. Dimulai dari awal retak, perambatan retak, dan kemudian patah akhir. Namun, perbedaan terjadi pada perambatan retak di mana perambatan retak dari hasil pengujian *fatigue* menunjukkan bahwa semakin besar pembebanan sudut yang diberikan maka akan semakin kecil area perambatan retak. Hal ini disebabkan karena pada sudut yang lebih besar, beban dan getaran yang diterima oleh spesimen akan semakin besar yang menyebabkan proses patah pada spesimen akan lebih cepat.

**Kata kunci** : Baja ASTM A-36, Ketangguhan Impak, *Fatigue*

## SUMMARY

### ANALYSIS OF TOUGHNESS AND FATIGUE RESISTANCE OF WELDING STEEL IN TRANSPORT TANK PRESSURE VESSELS

Scientific paper in the form of a thesis, April 2023

Dimas Aditya, supervised by Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

xxxi+ 84 Pages, 16 Tables, 56 Figures, 9 Appendix

### SUMMARY

Transport tanks are one of the horizontal type pressure vessels used to transport LPG in the oil and gas industry. LPG transport tank pressure vessels have alternating loading due to pressure which causes fatigue in the pressure vessel so that fatigue resistance is important for further analysis. The toughness of the material also needs to be analyzed through an experimental approach by adjusting the working temperature conditions of the pressure vessels, and also to determine the fracture characteristics due to testing at different temperature conditions. Welding is a heat treatment that can affect the mechanical properties. In the LPG transport tank pressure vessel material, the weld area is a critical area that experiences failure so it is important to study further. The purpose of this study was to analyze the impact toughness and fatigue resistance of ASTM A-36 steel welding joints which are commonly used in pressure vessels with the SMAW (Shielded Metal Arc Welding) welding type with butt joint-single v-groove welding joints. The toughness test performed was the v-notch Charpy method of impact testing with specimen temperature variations of 0°C, 10°C, and 27°C. The fatigue resistance test was carried out using the repeated bending method with varying loading angles of 10°, 11°, 12°, and 13° to find the fatigue resistance cycle. The results of the impact test yielded an impact energy of 86,60 J and toughness of 1,095 J/mm<sup>2</sup> at a test temperature of 0°C. At a temperature of 10°C the impact energy is 92,27 J with a toughness of 1,153 J/mm<sup>2</sup>, and at a temperature of 27°C the impact energy is 105,27 J with a toughness of 1,315 J/mm<sup>2</sup>. At a temperature of 0°C the

fracture is fibrous and tends to be brittle with only a small cross-sectional deformation, and at a temperature of 10°C the fracture tends to be ductile but the specimen does not experience too much cross-sectional deformation, whereas at a temperature of 27°C it produces a ductile fracture with a rough surface and relatively large cross-sectional deformation. The results of fatigue testing at 10° angle loading produce a cycle of 67180,5, then at 11° loading angle a cycle of 61066,5 is obtained, and at 12° angle loading the cycle obtained is 52321,5, while fatigue testing at 13° angle loading cycles obtained amounted to 48112,5. The fatigue test results show that the angular loading is inversely proportional to the cycle value. The greater the loading angle is given, the smaller the cycle value. The obtained S-N curve shows that the fatigue limit of ASTM A-36 steel is at stress less than 156,93 MPa. The fracture patterns of the specimens at different loading angles have similar patterns. Starting from the beginning of the crack, crack propagation, and then the final fracture. However, differences occur in crack propagation where crack propagation from the results of fatigue testing shows that the greater the loading angle is given, the smaller the crack propagation area will be. This is because at a greater angle, the loads and vibrations received by the specimen will be greater which causes the fracture process in the specimen to be faster.

**Keywords:** ASTM A-36 Steel, Impact Toughness, Fatigue

## 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 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Rumusan Masalah.....	2
1.3    Batasan Masalah .....	3
1.4    Tujuan Penelitian .....	3
1.5    Manfaat Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1    Tinjauan Pustaka.....	5
2.2    Bejana Tekan .....	6
2.3 <i>Transport Tanks</i> .....	7
2.4    Tegangan Internal Pada Dinding Bejana Tekan Silinder Tipis .....	9
2.5    Baja Karbon .....	12
2.6    Baja ASTM A-36.....	13
2.7    Pengelasan SMAW ( <i>Shielded Metal Arc Welding</i> ).....	15
2.8    Pengelasan Baja Karbon .....	16
2.9    Ketangguhan Logam Las .....	19
2.10   Ketangguhan Daerah HAZ ( <i>Heat Affected Zone</i> ).....	19

2.11	Pengujian Ketangguhan Daerah Las .....	21
2.12	Kegagalan <i>Fatigue</i> .....	21
2.13	Perhitungan Tegangan Bending pada Pengujian <i>Fatigue</i> .....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		29
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	29
3.2	Persiapan Spesimen.....	30
3.3	Alat dan Bahan .....	33
3.4	Metode Pengujian.....	34
3.4.1	Pengujian Impak Metode <i>V-Notch Charpy</i> .....	34
3.4.2	Pengujian <i>Fatigue</i> Metode <i>Repeated Bending</i> .....	36
3.4.3	Pengujian Kekerasan Vickers.....	37
3.4.4	Pengamatan Visual .....	38
3.4.5	Pemeriksaan Metalografi.....	39
3.5	Komposisi Kimia Baja ASTM A-36.....	40
3.6	Komposisi Kimia Elektroda E6013.....	40
3.7	Sifat Mekanik Baja ASTM A-36 .....	40
3.8	Penentuan Pembebanan Pada Pengujian <i>Fatigue</i> .....	41
3.8.1	Momen Lentur .....	41
3.8.2	Tegangan Bending ( $\sigma_b$ ) .....	42
3.9	Waktu dan Tempat .....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		45
4.1	Hasil Pengujian Impak .....	45
4.1.1	Energi Impak (J) .....	46
4.1.2	Harga Impak ( $J/mm^2$ ) .....	48
4.1.3	Permukaan Patah Pengujian Impak .....	50
4.2	Hasil Pengujian <i>Fatigue</i> .....	52
4.2.1	Permukaan Patah Pengujian <i>Fatigue</i> .....	55
4.3	Hasil Pengujian Vickers .....	62
4.4	Hasil Pemeriksaan Metalografi .....	65
4.4.1	Hasil Metalografi pada <i>Base Metal</i> .....	66
4.4.2	Hasil Metalografi pada <i>Weld Metal</i> .....	68
4.4.3	Hasil Metalografi pada HAZ .....	69
4.4.4	Hasil Metalografi pada Zona Fusi .....	70
4.5	Analisis Data .....	72

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
5.1    Kesimpulan .....	75
5.2    Saran .....	75
DAFTAR PUSTAKA .....	77
LAMPIRAN.....	81





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a). Bejana tekan berdinding tipis .....	6
(b). Bejana tekan berdinding tebal .....	6
Gambar 2. 2 <i>Transport tank</i> LPG .....	7
Gambar 2. 3 <i>Butt-welded component</i> pada <i>transport tank</i> .....	9
Gambar 2. 4 Tegangan yang terjadi pada bejana tekan berdinding tipis .....	9
Gambar 2. 5 Tegangan melingkar .....	10
Gambar 2. 6 Tegangan longitudinal.....	11
Gambar 2. 7 Struktur mikro baja karbon rendah pembesaran 635x .....	15
Gambar 2. 8 Prinsip kerja SMAW .....	16
Gambar 2. 9 Tipe kampuh las .....	16
Gambar 2. 10 Diagram fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	17
Gambar 2. 11 Skematik transformasi fasa austenit ke pearlite pada baja dengan kandungan karbon di bawah 0,5% berat.....	18
Gambar 2. 12 Diagram TTT ( <i>Time Temperature Transformation</i> ) austenit ke pearlite .....	18
Gambar 2. 13 Hubungan antara komposisi karbon, struktur mikro, dan ketangguhan impak .....	20
Gambar 2. 14 (a). Metode Izod; (b). Metode Charpy .....	21
Gambar 2. 15 Dimensi sampel uji <i>fatigue</i> standar JIS Z 2273.....	23
Gambar 2. 16 Skema permukaan patah <i>fatigue</i> .....	23
Gambar 2. 17 Permukaan patah <i>fatigue</i> .....	24
Gambar 2. 18 Variasi tegangan.....	24
Gambar 2. 19 Kurva S-N .....	25
Gambar 2. 20 Dimensi permukaan momen inersia spesimen <i>fatigue</i> .....	27
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	30
Gambar 3. 2 Desain sambungan las .....	31
Gambar 3. 3 Spesimen uji impak berdasarkan standar JIS Z 2202.....	31
Gambar 3. 4 Spesimen uji impak berdasarkan standar JIS Z 2202 dengan kampuh las <i>butt joint-single v-groove</i> .....	32

Gambar 3. 5 Spesimen uji <i>fatigue</i> dengan sambungan las berdasarkan standar JIS Z 2273 .....	32
Gambar 3. 6 Plat baja ASTM A-36 kondisi awal (a). Ketebalan 10 mm; (b).Ketebalan 5 mm.....	33
Gambar 3. 7 Mesin uji impak <i>Charpy Impact Testing Machine</i> CI-30.....	34
Gambar 3. 8 (a). Skema pengujian impak; (b). Posisi spesimen impak metode Charpy .....	35
Gambar 3. 9 <i>Torsion Repeated and Bending Fatigue Machine</i> .....	36
Gambar 3. 10 Skema pengujian <i>fatigue repeated bending</i> (a). Posisi spesimen pada mesin; (b). Posisi pembebanan pada saat diam; (c). Posisi pembebanan bergerak turun; (d). Posisi pembebanan bergerak naik ke posisi netral; (e). Besar pembebanan sudut pada pengujian .....	37
Gambar 3. 11 <i>Vickers Hardness Tester</i> tipe VKH-2E.....	38
Gambar 3. 12 Mikroskop Keyence VH-Z 450 .....	39
Gambar 4. 1 DBTT diagram baja ASTM A-36.....	48
Gambar 4. 2 Kurva pengujian impak.....	50
Gambar 4. 3 (a) Kondisi permukaan patah spesimen impak sambungan las pada temperatur 27°C; (b) Kondisi permukaan patah spesimen impak sambungan las pada temperatur 10°C; (c) Kondisi permukaan patah spesimen impak sambungan las pada temperatur 0°C .....	51
Gambar 4. 4 Permukaan patah pengujian impak dengan variasi temperatur .....	51
Gambar 4. 5 Permukaan patah impak (a). Temperatur 0°C; (b). Temperatur 10°C; (c). Temperatur 30°C.....	52
Gambar 4. 6 Kurva S-N pengujian <i>fatigue</i> baja ASTM A-36.....	55
Gambar 4. 7 (a). Posisi pembebanan pada saat diam; (b). Posisi pembebanan bergerak turun; (c). Posisi pembebanan bergerak naik ke posisi netral .....	56
Gambar 4. 8 (a). Kondisi spesimen <i>fatigue</i> sambungan las sebelum diamati di mikroskop; (b). Kondisi permukaan patah dengan pembebanan sudut 10° .....	57
Gambar 4. 9 (a). Kondisi spesimen <i>fatigue</i> sambungan las sebelum diamati di mikroskop; (b). Kondisi permukaan patah dengan pembebanan	

sudut 11° .....	58
Gambar 4. 10 (a). Kondisi spesimen <i>fatigue</i> sambungan las sebelum diamati di mikroskop; (b). Kondisi permukaan patah dengan pembebanan sudut 12° .....	59
Gambar 4. 11 (a). Kondisi spesimen <i>fatigue</i> sambungan las sebelum diamati di mikroskop; (b). Kondisi permukaan patah dengan pembebanan sudut 13° .....	60
Gambar 4. 12 Permukaan patah <i>fatigue</i> (a). Pembebanan tinggi; (b). Pembebanan rendah .....	61
Gambar 4. 13 Permukaan patah <i>fatigue</i> (a). Tegangan 650 MPa; (b). Tegangan 550 MPa; (c). Tegangan 530 MPa.....	61
Gambar 4. 14 Profil kekerasan Vickers baja ASTM A-36 .....	64
Gambar 4. 15 Hubungan antara kekerasan dengan komposisi karbon dan persentase Fe <sub>3</sub> C .....	65
Gambar 4. 16 Hasil pengamatan metalografi pada <i>base metal</i> dengan pembesaran 450x .....	66
Gambar 4. 17 Struktur mikro baja karbon rendah pembesaran 635x .....	67
Gambar 4. 18 (a). <i>Base metal</i> ; (b) <i>Base metal</i> ; (C). <i>Base metal</i> .....	67
Gambar 4. 19 <i>Weld metal</i> pembesaran 450x.....	68
Gambar 4. 20 (a). <i>Weld metal</i> ; (b) <i>Weld metal</i> .....	69
Gambar 4. 21 Hasil metalografi HAZ pembesaran 450x.....	69
Gambar 4. 22 Diagram Hall-Petch.....	70
Gambar 4. 23 Hasil metalografi pada zona fusi pembesaran 450x.....	71
Gambar 4. 24 Zona fusi.....	71



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data spesifikasi material dan sambungan las LPG <i>transport tanks</i> 15.000 kg .....	8
Tabel 2. 2 Data operasi LPG <i>transport tanks</i> 15.000 kg.....	8
Tabel 2. 3 Syarat komposisi kimia baja ASTM A-36.....	14
Tabel 2. 4 Syarat sifat mekanik ASTM A-36 .....	14
Tabel 2. 5 Suhu pemanasan mula pada pengelasan baja karbon.....	17
Tabel 3. 1 Komposisi kimia baja ASTM A-36 (% berat).....	40
Tabel 3. 2 Komposisi kimia elektroda E6013 (% berat).....	40
Tabel 3. 3 Sifat mekanik baja ASTM A-36 .....	41
Tabel 3. 4 Data pembebanan pengujian <i>fatigue</i> metode <i>repeated bending</i> pada baja ASTM A-36.....	44
Tabel 4. 1 Data hasil sudut ayun pendulum ( $\beta$ ) pengujian impact.....	45
Tabel 4. 2 Hasil perhitungan impact .....	48
Tabel 4. 3 Hasil pengujian impact .....	49
Tabel 4. 4 Waktu patah hasil pengujian <i>fatigue</i> pada baja ASTM A-36 .....	53
Tabel 4. 5 Hasil pengujian <i>fatigue</i> baja ASTM A-36 .....	54
Tabel 4. 6 Hasil rata-rata diagonal dan VHN setiap titik.....	62
Tabel 4. 7 Hasil rata-rata VHN .....	63



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Mill certificate</i> baja ASTM A-36 .....	81
Lampiran 2 Mesin uji <i>fatigue</i> .....	81
Lampiran 3 Mesin uji impak .....	82
Lampiran 4 Pengujian impak .....	82
Lampiran 5 Spesimen pengujian <i>fatigue</i> .....	83
Lampiran 6 Proses pengujian <i>fatigue</i> .....	83
Lampiran 7 Spesimen <i>fatigue</i> setelah pengujian .....	83
Lampiran 8 Spesimen pengujian kekerasan Vickers .....	84
Lampiran 9 Pemeriksaan metalografi .....	84





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bejana tekan adalah wadah yang berfungsi untuk menyimpan fluida bertekanan, baik dalam bentuk gas maupun cairan (likuid). Alat ini digunakan sebagai salah satu alat pada industri perminyakan, kimia, dan pembangkit listrik. Pada industri migas, salah satu pengaplikasian bejana tekan adalah pada *transport tanks* yang biasanya mengangkut LPG berkapasitas mulai dari 5.000 liter sampai dengan 32.000 liter.

Bejana tekan dirancang berdasarkan data masukan di antaranya adalah informasi piping dan instrument diagram (P&ID), data *sheet*, *work instruction* atau aturan khusus yang berlaku pada sebuah proyek. Dalam merancang bejana tekan, komponen disatukan melalui pengelasan dengan perhitungan dan pemilihan material, salah satunya berdasarkan standar internasional ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) *Section XII: Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks* (ASME XII, 2019). Berdasarkan standar tersebut, sambungan las pada bejana tekan memiliki nilai kekuatan yang melebihi sifat mekanik logam induk dan mampu menahan Spembebanan-pembebanan yang terjadi pada *transport tanks*. Namun, seiring dengan bertambahnya usia pemakaian dan akibat faktor eksternal seperti pada saat *transport tanks* melintas di jalan, bejana tekan akan mengalami kerusakan akibat menerima pembebanan.

Faktor eksternal yang paling banyak mempengaruhi pembebanan pada *transport tank* salah satunya adalah kondisi jalan yang rusak. Yosritzal (2018) menyatakan ruas jalan di Indonesia kerap mengalami kerusakan dan memiliki kepuasan pengguna yang sangat rendah. Jenis kerusakan jalan yang biasanya terjadi adalah retak memanjang, retak melintang, retak kulit buaya, retak pinggir,

retak berkelok-kelok, retak blok, bergelombang, kegemukan, pengelupasan, lubang, tambalan, pelepasan butiran, sungkur, dan amblas.

Jalan dan jembatan yang rusak diperkirakan akan bertambah hingga akhir tahun. Akibat kondisi tersebut, LPG *transport tank* yang melintas di Indonesia akan banyak mendapatkan pembebanan kejut sehingga pada area tertentu seperti sambungan las akan mengalami deformasi seiring dengan bertambahnya siklus operasi.

Sifat mekanik pada material *transport tanks* yang penting untuk dianalisis akibat permasalahan tersebut di antaranya adalah ketangguhan dan ketahanan lelah (*fatigue*). Ketangguhan material adalah kemampuan material untuk menyerap energi sebelum terjadinya perpatahan, sedangkan kegagalan *fatigue* merupakan kegagalan pada material akibat pembebanan yang bersifat siklis atau berulang. Analisis dari kedua sifat mekanik tersebut penting untuk diteliti agar dapat dijadikan referensi untuk pemilihan material baja konstruksi las pada *transport tanks*.

Dari penjelasan di atas, diperlukan pengujian impak dengan memberikan pembebanan kejut dan pengujian *fatigue* dengan pembebanan dinamis secara terus-menerus pada material baja bejana tekan hingga material tersebut patah dan penulis dapat menganalisis ketangguhan dan ketahanan lelah yang terjadi. Sehingga penelitian ini berjudul “Analisis Ketangguhan dan Ketahanan Lelah Baja Konstruksi Las Pada Bejana Tekan *Transport Tanks*”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Bejana tekan *transport tank* LPG terdapat pembebanan bolak-balik akibat tekanan yang mengakibatkan terjadinya *fatigue* pada bejana tekan tersebut sehingga ketahanan lelah/*fatigue* penting untuk dianalisis.

Ketangguhan material perlu untuk dianalisis melalui pendekatan eksperimen dengan menyesuaikan kondisi temperatur kerja bejana tekan, juga dapat mengetahui ciri karakteristik patah akibat pengujian pada kondisi

temperatur yang berbeda.

Pengelasan merupakan perlakuan panas yang dapat mempengaruhi sifat mekanik. Pada material bejana tekan *transport tank* LPG, area las menjadi area kritis yang mengalami kegagalan sehingga penting untuk dipelajari lebih lanjut.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah Baja ASTM A-36.
2. Jenis pengelasan adalah las SMAW, dengan tipe sambungan las *butt joint-single v-groove*.
3. Pengujian ketangguhan yang dilakukan adalah pengujian impak metode *v-notch* Charpy dengan variasi temperatur spesimen sebesar 0°C, 10°C, 27°C. Untuk mencapai temperatur 0°C dan 10°C spesimen didinginkan dalam media pendingin es batu dengan pengukuran temperaturnya menggunakan termokopel tipe k, sedangkan pada temperatur 27°C spesimen diletakkan pada temperatur ruangan.
4. Pengujian ketahanan lelah yang dilakukan adalah pengujian *fatigue* metode *repeated bending* dengan variasi sudut pembebanan sebesar 10°, 11°, 12° dan 13° untuk mencari siklus ketahanan lelah.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu menganalisis nilai ketangguhan baja ASTM A-36 melalui pengujian impak metode *v-notch* Charpy.
2. Mampu menganalisis nilai ketahanan lelah baja ASTM A-36 melalui pengujian *fatigue* metode *repeated bending* menggunakan pendekatan tegangan atau metode kurva S-N.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai kontribusi untuk ilmu pengetahuan di bidang Teknik Mesin.
2. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai simulasi pendekatan terhadap ketangguhan dan ketahanan lelah material baja konstruksi las bejana tekan *transport tanks* LPG.
3. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan referensi untuk penelitian berikutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASME IX (2017) ASME BPVC Section IX Jilid 1. Tersedia pada: <https://www.asme.org/shop/certification-accreditation>.
- ASME XII (2019) Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks SECTION XII 2019 ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code. Tersedia pada: <https://www.asme.org/shop/certification-accreditation>.
- ASTM International (2004) Standard Specification for Carbon Structural Steel A 36/A 36M – 04, ASTM International, 70, hal. 1–2.
- Bontong, Y. (2019) Analisa Kekerasan Dan Ketangguhan Pada Daerah Haz Hasil Las Metode SMAW, Mechanical Engineering Science (MES). Tersedia pada: <http://journals.ukitoraja.ac.id/index.php/mes/article/view/581>.
- Bukhari (2010) Pengaruh Pengelasan Baja Karbon Sedang Terhadap Ketangguhan Retak, Jurnal Polimesin, 8(2), p. 774. doi:10.30811/jop.v8i2.1362.
- Callister, W. dan Rethwisch, D. (2008) Materials Science and Engineering An Introduction, Journal of Materials Science. John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1007/BF01184995.
- Chandra, H. (2023) Mekanika Retak Kondisi Linear Elastis. Edisi ke-1. Palembang: Unsri Press.
- Chandra, H., Nukman dan Sianturi, B. (2019) Analysis of Fatigue Life and Crack Propagation Characterization of Gray Cast Iron under Normalizing Process, Journal of Physics: Conference Series, 1198(3). doi:10.1088/1742-6596/1198/3/032006.
- Chen, S. dkk. (2013) Microstructural Characteristics of a Stainless Steel/Copper Dissimilar Joint Made by Laser Welding, Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science, 44(8), hal. 3690–3696. doi:10.1007/s11661-013-1693-z.
- Gunawan, Y., Endriatno, N. dan Anggara, B.H. (2017) ‘Analisa Pengaruh Pengelasan Listrik Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah Dan Baja Karbon Tinggi’, Enthalpy-Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin, 2(1), hal. 1–12.
- Herizal, Harsin dan Hanif (2020) Analisa Pengaruh Proses GTAW Dan SMAW Terhadap Ketangguhan Sambungan Pengelasan Material AISI 1050, Journal of Welding Technology, 2(1), hal. 19–25.
- Japanese Industrial Standard (1980) Test Pieces for Impact Test for Metallic

- Materials JIS Z 2202. Edisi ke-1. Tokyo: Japanese Standards Association.
- Japanese Industrial Standard (2000) Method of Impact Test for Metallic Materials JIS Z 2242. Edisi ke-1. Tokyo: Japanese Standards Association.
- Mardhi, A. dan Himawan, R. (2011) Estimasi umur fatik menggunakan pembebanan, *Sigma Epsilon*, 15(1), hal. 31–38.
- Moss, D. (2004) *Pressure Vessel Design Manual*. 3rd edn.
- Muhayat, N. dkk. (2020) Fatigue life of underwater wet welded low carbon steel SS400, *Heliyon*, 6(2), p. e03366. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e03366.
- Pratowo, B., Surya, I. dan Witoni (2019) Analisis Kekuatan Fatik Baja Karbon Rendah SC10 dengan Tipe Rotary Bending, *Jurnal Teknik Mesin Universitas Bandar Lampung*, 7, hal. 28–37.
- Rodríguez Baracaldo, R., Cubides Herrera, C.S. dan Villalba-Rondón, D.A. (2019) Charpy Impact Toughness and Transition Temperature in Ferrite–Perlite Steel, *Scientia et Technica*, 24(2), p. 200. doi:10.22517/23447214.19971.
- Rosidi, R., Yuwono, B. dan Yuhas, D. (2019) Analisa Variasi Kuat Arus Elektroda E6013 Terhadap Sambungan Las Pada Pelat Baja Untuk Tabung Gas 3 Kg, *Jurnal Poli-Teknologi*, 18(3), hal. 233–242. doi:10.32722/pt.v18i3.2341.
- Soedarmadji, W. (2019) Pengujian Impact Dan Mikrostruktur Terhadap Baja Per Daun, *Cyber-Techn*, 13(02), hal. 40–48. Tersedia pada: <https://ojs.stt-pomosda.ac.id/index.php/cybertechn/article/view/52>.
- Surojo, E. dkk. (2021) Mechanical and Microstructural Properties of A36 Marine Steel Subjected to Underwater Wet Welding, *Metals*, 11(7). doi:10.3390/met11070999.
- Tawfeek, T. (2017) Study the Influence of Gas Metal Arc Welding Parameters on the Weld Metal and Heat Affected Zone Microstructures of Low Carbon Steel', *International Journal of Engineering and Technology*, 9(3), hal. 2013–2019. doi:10.21817/ijet/2017/v9i3/1709030272.
- Terán, G. dkk. (2016) Estimation of fracture toughness KIC from Charpy impact test data in T-welded connections repaired by grinding and wet welding, *Engineering Fracture Mechanics*, 153, hal. 351–359. doi:10.1016/j.engfracmech.2015.12.010.
- Wirjosumarto, H. dan Okumura, T. (2000) *Teknologi Pengelasan Logam, Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Yosritzal (2018) Identifikasi Masalah dan Jenis Penanganan Kerusakan Jalan Suliki-Simpang Sungai Dadok, dalam 4th ACE Conference. Padang: Universitas Andalas, Padang. Jurusan Teknik Sipil Unand, hal. 543–552.

- Yudiono, H. (2009) Karakteristik Ketahanan Lelah Ulir Metris Akibat Pembebanan Puntir Lentur Pada Material Baja Karbon Rendah, *Momentum*, 5(2), hal. 37–40.
- Zhao, P.C. dkk. (2018) Very High-Cycle Fatigue Behaviour of Ti-6Al-4V Alloy Under Corrosive Environment, *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, 41(4), hal. 881–893. doi:10.1111/ffe.12735.