



Volume 7 | No. 2 | Nov. 2024

p-ISSN : 2620-4916

e-ISSN : 2620-7540



JURNAL

TEKNOLOGI MARITIM

Diterbitkan Oleh :

**PUSAT PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

Email : p3m@ppns.ac.id

<https://jtm.ppns.ac.id/index.php/jtm>

**Vol. 7, Nomer 2 - Oktober 2024 p-ISSN: 2620-5637
e-ISSN : 2620-7850**

JURNAL

TEKNOLOGI MARITIM

DEWAN REDAKSI

PENGARAH

Rachmad Tri Soelistijono, ST., MT
(Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya)

PENANGGUNG JAWAB

Dr. Eng. Mohamad Abu Jamiin, S.T., M.T.
(Ketua Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat)

MITRA BESTARI

Dr. Achmad Baidowi, ST., MT., (ITS)
Dr. Frengki Mohamad Felayati, S.T. (Universitas Hang Tuah)
Dr.Eng., Mohammad Danil Arifin ST., MT. (Universitas Darma Persada)
Dr. Eng. Samsu Dlukha Nurcholik, S.T., M.Sc. (ITK)
Dr. Eng. Yuda Apri Hermawan, S.T., M.T. (ITS)

Ketua Penyunting

Tarikh Azis Ramadani, ST., MT

Penyunting Ahli

Dr. Anda Iviana Juniani, MT
Dr. Hairul Huda, ST., MT.,
Dr. Yunia Dwie Nurcahyanie, ST.,MT.
Wiwik Sulistiyowati., ST., MT.,
George Endri Kusuma, ST., MEng.Sc

Penyunting Pelaksana

Eky Novianarenti, ST., MT
Alma Vita Sophia, ST, MT
Imaniah Sriwijayasih, SST., MT

Pelaksana Tata Usaha

R.A Wijayani K, S.Sos, M.Si

JURNAL

TEKNOLOGI MARITIM

Terbit satu tahun dua kali, pada bulan April dan Oktober

DAFTAR ISI

Vol. 7, Nomer 2 – Oktober 2024

ANALISIS TEGANGAN SISTEM PERPIPAAN COLD REHEAT BOILER BERKAPASITAS 2300 TON/JAM PADA KONDISI TIDAK OPERASI

1-11

Pekik Mahardhika, Adi Wirawan Husodo, Ekky Nur Budiyanto, Benedicta Dian Alfanda, Rina Sandora

PERBANDINGAN METODE ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM DAN SUPPORT VECTOR REGRESSION DALAM PREDIKSI WAKTU PEMELIHARAAN PADA MESIN E-FILL

12-27

Ii Munadhif, Deni Almunawar, Ryan Yudha Adhitya

PEMANFAATAN JAM TANGAN PINTAR KOMERSIAL UNTUK MENGUKUR GETARAN TANGAN DALAM RANGKA MENINGKATKAN KESELAMATAN PEMBUATAN KAPAL DI INDONESIA: IDENTIFIKASI TANTANGAN DAN PELUANG

28-39

Mochamad Yusuf Santoso, Aulia Nadia Rachmat, Mades Darul Khairiansyah, Joko Endrasmono, Renato Senna Satriano, Robie Kuncoro

ANALISIS PENGARUH VARIASI FILLER DAN KUAT ARUS PENGELASAN DISSIMILAR SM490YA DENGAN CAST STEEL TERHADAP KETANGGUHAN

40-53

Mohammad Thoriq Wahyudi, Leonandra Eka Valentino, Wiwik Dwi Pratiwi

ANALISIS KUAT ARUS DISSIMILAR WELDING TERHADAP METALOGRAFI, NILAI KEKERASAN DAN UJI TORSI PROSES ARC STUD WELDING PADA PRODUK HOPPER

54-65

Moh. Syaiful Amri amri, Mukhlis Mukhlis, Bachtiar Bachtiar, Muhammad Ari, Faiz Hamzah, Alvalo Toto Wibowo

ANALISIS PERBANDINGAN KOMBINASI ELEKTRODA, PREHEAT, DAN INTERPASS PADA PENGELASAN GMAW DISSIMILAR BAJA BISALLOY 400 DENGAN MATERIAL SM 490 YA TERHADAP TEKUK DAN MAKRO

66-76

Nadhifatul Kamilah, Miftachul Munir, Imah Luluk Kusminah

PENANGANAN SAMPAH LAUT DI INDONESIA: A REVIEW

77-87

Izzul Fikry, Riko Satrya Fajar Jaelani Putra, Ayu Nindyapuspa, Prativi Khilyatul Auliya, Hayy Nur Abdillah, Nanda Dwi Wuryaningrum



Analisis Tegangan Sistem Perpipaan *Cold Reheat Boiler* Berkapasitas 2300 Ton/Jam Pada Kondisi Tidak Operasi

Pekik Mahardhika^{1*}, Adi Wirawan Husodo¹, Ekky Nur Budiyanto¹, Benedicta Dian Alfanda¹,
Rina Sandora¹

¹ Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, , Jl. Teknik Kimia, ITS,
Sukolilo, 60111, Indonesia

Abstrak. Salah satu pembangkit listrik bertenaga uap terbesar di Jawa Timur menggunakan 3 (tiga) unit boiler dengan kapasitas masing-masing sebesar 2300 ton/h untuk mendukung fungsinya. Pada akhir tahun 2023 salah satu unit boiler (Unit-7) dilakukan shut-down untuk melakukan kegiatan perawatan. Perawatan pada sistem perpipaan dilakukan pengecekan terhadap kemungkinan pengurangan ketebalan pipa dan pengecekan terhadap posisi elevasi pipa ketika kondisi tidak beroperasi (*cold condition*). Salah satu sistem perpipaan pada unit 7 adalah *Cold Reheat Pipe* (CRP). Analisa tegangan pada sistem perpipaan perlu dilakukan dan menjadi satu kesatuan kegiatan proses pengecekan sistem perpipaan berguna untuk mengetahui apakah dalam kondisi tanpa operasi (*cold condition*) masih memenuhi kriteria ASME B31.1 (dikatakan aman) atau tidak. Tahapan penelitian ini meliputi pemodelan & simulasi tegangan pipa menggunakan *stress analysis software* kondisi tanpa operasi (*cold condition*) dan disesuaikan dengan kriteria penerimaan ASME B31.1. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan CRP BS 130 dan CRP BS 131 lebih rendah dari tegangan izin. Disimpulkan bahwa sistem perpipaan dalam kondisi tidak beroperasi aman bahkan pada ketebalan pipa yang ada.

Kata kunci: Analisa tegangan perpipaan, ASME B31.1, Boiler, Cold condition, Cold reheat pipe

Abstract. One of the largest steam-powered power plants in East Java uses 3 (three) boiler units with a capacity of 2300 tons/h each to support its functions. At the end of 2023, one of the boiler units (Unit-7) will be shut down to carry out maintenance activities. Maintenance of the piping system is carried out by checking the possibility of reducing the thickness of the pipe and checking the elevation position of the pipe when it is not operating (*cold condition*). One of the piping systems in unit 7 is the Cold Reheat Pipe (CRP). Stress analysis in the piping system needs to be carried out and is part of the process of checking the piping system, which is useful for finding out whether in cold conditions it still comply the ASME B31.1 criteria (said to be safe) or not. The stages of this research include modeling & simulating pipe stress using stress analysis software in cold conditions and adjusted to ASME B31.1 acceptance criteria. The simulation results show that all stresses that occur in the CRP BS 130 and CRP BS 131 piping systems are lower than the allowable stress. It was concluded that the piping system in non-operating condition was safe even at the existing pipe thickness.

Keywords: Piping Stress Analysis, ASME B31.1, Boiler, Cold Condition, Cold Reheat Pipe

1. Pendahuluan

Salah satu pembangkit listrik bertenaga uap terbesar di Jawa Timur menggunakan 3 (tiga) unit boiler dengan kapasitas masing-masing sebesar 2300 Ton/jam untuk mendukung fungsinya. Boiler adalah alat yang memiliki fungsi untuk menghasilkan uap atau panas yang diperlukan dalam berbagai industri (PGN LNG Indonesia, 2023). Pada akhir tahun 2023 salah satu unit boiler (Unit-7) dilakukan shut-down untuk melakukan kegiatan perawatan. Perusahaan pembangkit listrik ini mempunyai komitmen yang baik tentang perawatan terhadap seluruh peralatan yang ada. Khusus boiler Unit-7 ini saja sudah beberapa kali dilakukan perawatan rutin semenjak beroperasi pada tahun 1999, seperti pada tahun 2007, 2009, 2011, 2013, 2015, 2019, dan 2021. Pada perawatan tahun 2023 ini juga dilakukan terhadap seluruh komponen boiler, dimana salah satu diantaranya adalah perawatan terhadap sistem perpipaan yang ada. Terdapat 4 (empat) sistem perpipaan yang ada pada Unit- 7, yaitu *Main Steam Pipe* (MSP), *Hot Reheat Pipe* (HRP) dan 2 (dua) *Cold Reheat Pipe* (CRP). Perawatan pada sistem perpipaan ditekankan pada pengecekan terhadap kemungkinan pengurangan ketebalan pipa dan pengecekan terhadap posisi elevasi pipa juga pada kondisi tanpa operasi (*cold condition*). Metode yang digunakan untuk mengecek pengurangan ketebalan pipa adalah metode *ultrasonic test* (UT), sedangkan metode yang digunakan untuk mengecek perubahan elevasi sistem perpipaan adalah *3-D scanning*. *Cold Reheat Pipe* (CRP) pada boiler Unit-7 mempunyai ketebalan nominal 0.75” atau 19.05 mm, dengan diameter luar 30” atau 762 mm. Pipa terbuat dari material SA672 grade B65, dengan spesifikasi desain adalah 5.0 MPa (tekanan desain) dan 360 C (temperatur desain). Dari pengukuran ketebalan dengan menggunakan UT diketahui adanya pengurangan ketebalan pipa khususnya pada *Cold Reheat Pipe* (CRP). Pada pengukuran tahun 2021, rentang ketebalan pipa CRP hasil pengurangan berkisar antara 16.82 mm - 18.83 mm untuk CRP BS-130 dan 17.21 mm - 18.62 mm untuk CRP BS-131.

2. Tinjauan Pustaka

Analisa tegangan perlu dilakukan untuk menjamin bahwa sistem perpipaan yang didesain mempunyai kekuatan dan fleksibilitas (Aswin; Ahmad Hasnan, 2023). Disamping itu analisa tegangan juga perlu dilakukan pada sistem perpipaan yang tergolong dalam jalur kritis (*critical line*) (Ade Widiyanto Sulaiman; Adi Wirawan Husodo ; Ekky Nur Budiyo, 2023). Analisa tegangan juga perlu dilakukan pada suatu sistem perpipaan jika pada sistem perpipaan tersebut telah mengalami degradasi spesifikasi, seperti akibat pengurangan ketebalan pipa (deteriorasi), dan akibat adanya kesalahan pada proses instalasi peralatan penunjang. Korosi menjadi salah satu sebab utama suatu sistem perpipaan mengalami *metal loss*. Bahkan korosi (internal ataupun eksternal) menjadi penyebab kegagalan utama pada suatu sistem perpipaan, utamanya pipa minyak dan gas (Thibankumar Arumugam; Saravanan Karuppanan; Mark Ovinis, 2020). Pastinya di unit proses boiler terdapat sistem perpipaan. Sistem perpipaan merupakan media yang digunakan untuk membawa, mendistribusikan, mencampur, memisahkan, melepaskan, mengukur, mengontrol atau mengecek aliran fluida, serta mentransmisikan tekanan fluida (ASME, 2018). Desain sistem perpipaan pasti mengalami tegangan yang disebabkan oleh efek termal dan tekanan (Pekik Mahardhika, Adi Wirawan Husodo, George Endri Kusuma, R. Dimas Endro Witjonarko, Ekky Nur Budiyo, 2021). Analisa tegangan merupakan metode terpenting untuk meyakinkan dan menetapkan secara numerik bahwa sistem perpipaan dalam *engineering* adalah aman (Chamsudi, 2005). Dalam proses desain sistem perpipaan perlu dilakukan analisa tegangan statis atau dinamis untuk menjamin keamanan desain dan operasional pipa (Mahardhika, 2018). Jika tegangan

yang terjadi melebihi tegangan yang diijinkan *code* maka bisa terjadi deformasi pipa ataukah kegagalan sistem perpipaan (Mahardhika et al., 2018). Tegangan dalam desain pada suatu sistem perpipaan harus dirancang agar mampu menahan beban yang terjadi (Hasan et al., 2017). Nilai-nilai tegangan yang terjadi memenuhi dalam hal kriteria aman menurut *code* (A. W. Husodo, P. Mahardhika, and V. V. V. A, 2019).

Suatu sistem perpipaan perlu dilakukan analisa tegangan yang disebabkan oleh beberapa jenis beban seperti: beban sustain (*sustained load*), beban okasi (*occasional load*) dan beban akibat ekspansi panas (*thermal expansion*) (ASME, 2018). Tegangan diakibatkan oleh beban sustain (*sustained load*) merupakan beban total dari *longitudinal stress* yang diakibatkan oleh tekanan dan berat pada sistem. Sehingga dapat dikatakan istilah lain dari tegangan akibat beban sustain adalah tegangan longitudinal (*longitudinal stress*), yang meliputi *longitudinal sustained weight stress* dan *longitudinal pressure stress*.

$$\text{Tegangan akibat beban sustain: } Sls = \frac{P \cdot Do}{4t_n} + \frac{0.75 \cdot iMA}{Z} \leq 1.0 Sh \dots\dots\dots (1)$$

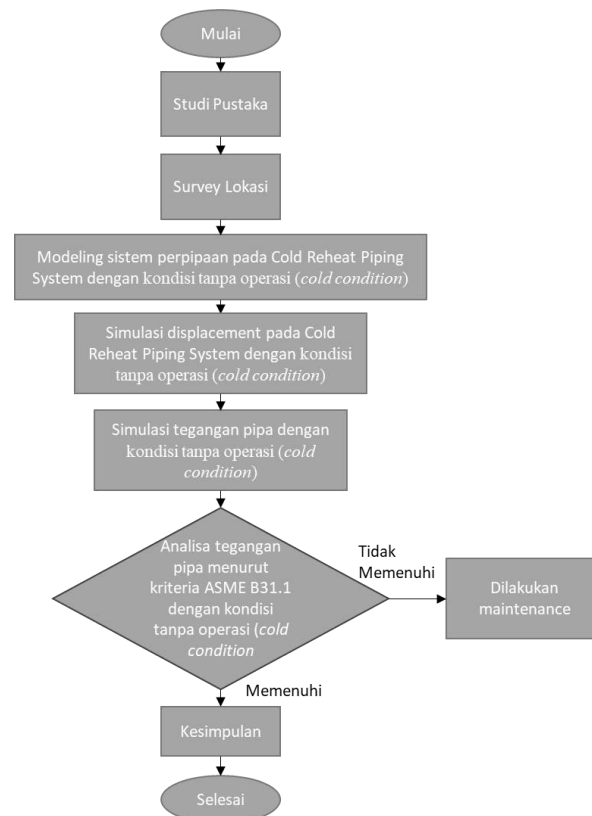
$$\text{Tegangan akibat beban ekspansi (beban termal): } Se = \frac{iMc}{Z} \leq Sa + f (Sh - Sl) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- P = Tekanan Internal Dalam (psi)
- Do = Diameter Luar Pipa (inch)
- tn = Tebal Nominal Pipa (inch)
- Z = Momen inersia (inch⁴)
- Sh = *Basic Allowable Stress* (psi)
- Se = Tegangan Akibat beban termal (psi)
- Sls = Tegangan Akibat beban sustain (psi)

3. Metode

Metodologi penelitian adalah tahapan pengerjaan suatu penelitian, agar dapat memperoleh hasil yang baik untuk mencapai tujuan penelitian yang direncanakan. Objek penelitian ini adalah sistem perpipaan pada *Cold Reheat Pipe* (CRP) boiler berkapasitas 2300 Ton/jam pada kondisi desain dan kondisi operasi. Tahapan pengerjaan penelitian ini meliputi pemodelan & simulasi tegangan serta *displacement* pipa menggunakan *stress analysis software* kondisi tanpa operasi (*cold condition*). Kemudian nilai tegangan kondisi tanpa operasi (*cold condition*) yang sudah disimulasi disesuaikan dengan kriteria penerimaan ASME B31.1. Kriteria penerimaan ini merupakan acuan atau dasar yang digunakan untuk memastikan keselamatan dan keamanan sistem perpipaan sesuai dengan peraturan. Tahapan pengerjaan ditampilkan pada diagram alir berikut ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

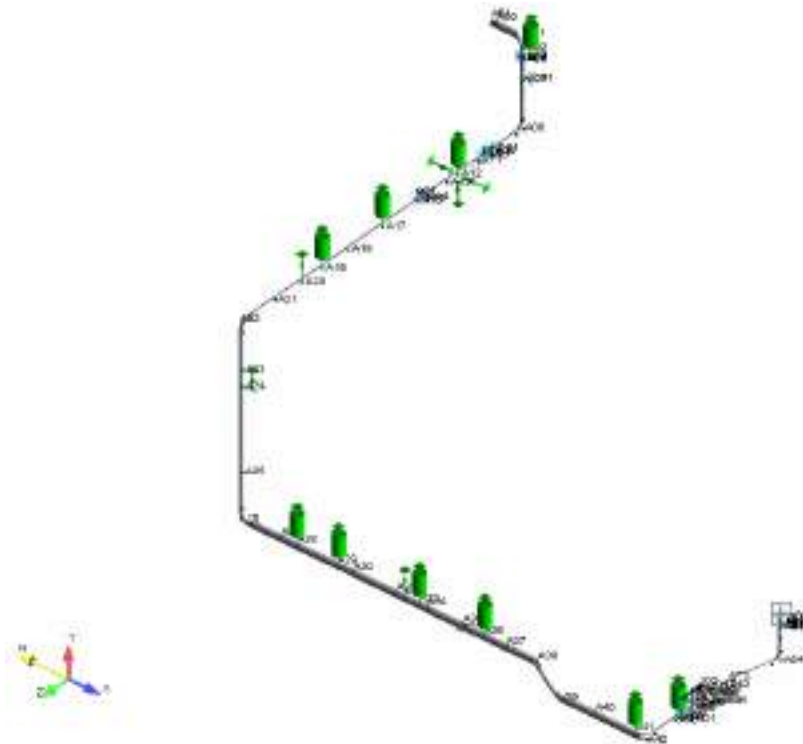
Data pendukung pada penelitian ini adalah gambar isometri jalur perpipaan *Cold Reheat Piping System*, data design, serta data operasinya. Keterangan berikut nantinya merupakan beban kombinasi yang diterapkan pada penelitian ini:

- *CASE-1 SUS* : (GR + P1). Tegangan akibat beban sustain
- *CASE-1 HOOP* : Max P. Tegangan *Hoop*
- *CASE-1 EXP* : Amb to T1. Tegangan akibat beban ekspansi/ termal

4. Hasil dan Pembahasan

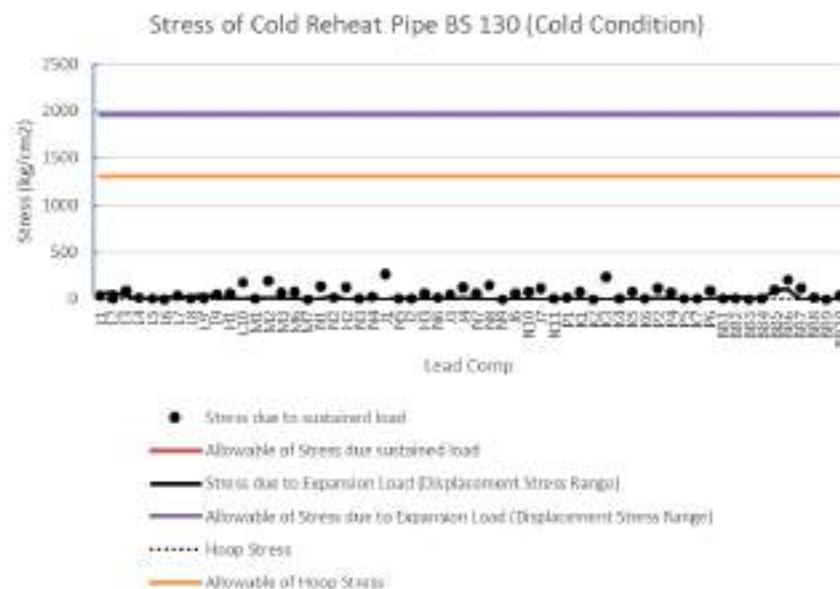
4.1. Analisa Tegangan Pada Jalur CRP BS 130

Pada gambar 2 menunjukkan gambar sistem perpipaan jalur CRP 130 dalam bentuk 3D modeling.



Gambar 2. Modeling CRP BS 130

Karakteristik tegangan sistem perpipaan CRP BS 130 pada kondisi tidak beroperasi ditunjukkan pada Gambar 3. Semua jenis tegangan, tegangan akibat beban sustain, tegangan akibat beban termal, dan tegangan hoop di bawah tegangan ijinnya.



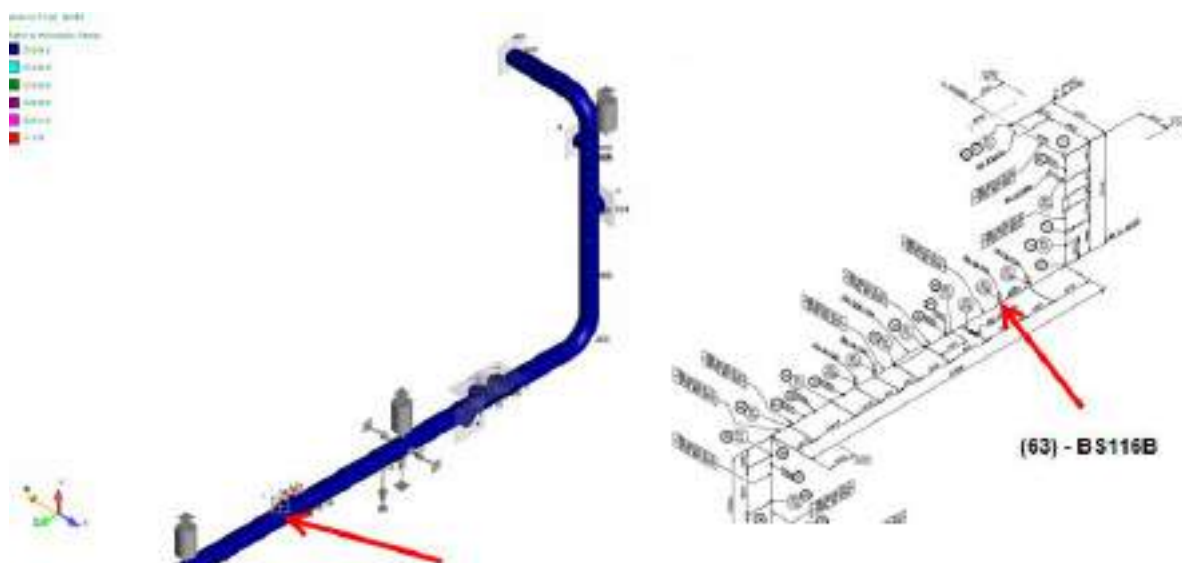
Gambar 3. Distribusi Tegangan Pada CRP BS 130

Kontur tegangan akibat beban sustain ditunjukkan pada Gambar 4. Besaran tegangan akibat beban sustain berkisar antara $0,0 \text{ kg/cm}^2$ sampai dengan $263,2 \text{ kg/cm}^2$. Tegangan ini lebih rendah dari tegangan akibat beban sustain yang diijinkan ($1307,7 \text{ kg/cm}^2$). Tegangan maksimum akibat beban sustain ($263,2 \text{ kg/cm}^2$) terletak pada *Lead Component J1 (Hanger Support S214.1xC.effort)*.



Gambar 4. Kontur Tegangan Akibat Beban Sustain Pada CRP BS130 Dengan Kondisi Tidak Beroperasi

Besarnya tegangan akibat beban termal dijelaskan pada Gambar 5. Besarnya tegangan akibat beban termal berkisar antara $0,0 \text{ kg/cm}^2$ sampai dengan $112,8 \text{ kg/cm}^2$. Tegangan tersebut lebih rendah dari tegangan termal yang diijinkan ($1961,6 \text{ kg/cm}^2$). Tegangan maksimum akibat beban termal ($112,8 \text{ kg/cm}^2$) terletak pada *Lead Component* BB6 (BS116B).



Gambar 5. Kontur Tegangan Akibat Beban Termal Pada CRP BS130 Dengan Kondisi Tidak Beroperasi

Besarnya tegangan *hoop* tidak dijelaskan dalam bentuk gambar. Pada kondisi tidak beroperasi tidak terjadi tegangan *hoop* pada sistem perpipaan karena tidak adanya tekanan di dalam yang mempengaruhi dinding-dinding pipa.

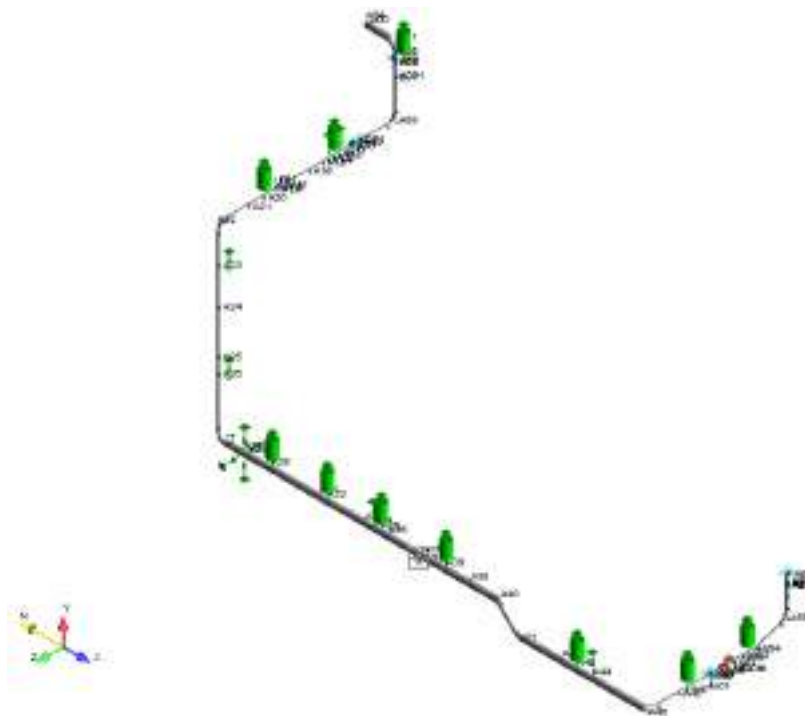
Resume tegangan maksimum sistem perpipaan CRP BS-130 pada kondisi tidak beroperasi ditunjukkan pada Tabel 1. Dari hasil tersebut seluruh tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan CRP BS 130 lebih rendah dari tegangan izin.

Tabel 1. Tegangan Pada Jalur CRP BS 130 Pada Kondisi Tidak Beroperasi (*Cold Condition*)

Load Case	Jenis Tegangan	Lead Component	Tegangan Code (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)	Rasio	Note
GR + Max P	Max Tegangan Akibat Beban Sustain	J1 (<i>Hanger Support S214. 1xC.effort</i>)	263,2	1307,7	0,20	Diterima
T1 to T2	Max Tegangan Akibat Beban Termal	BB6 (BS116B)	112,8	1961,6	0,06	Diterima
Max P	Max Tegangan Hoop	-	0	1307,7	0	Diterima

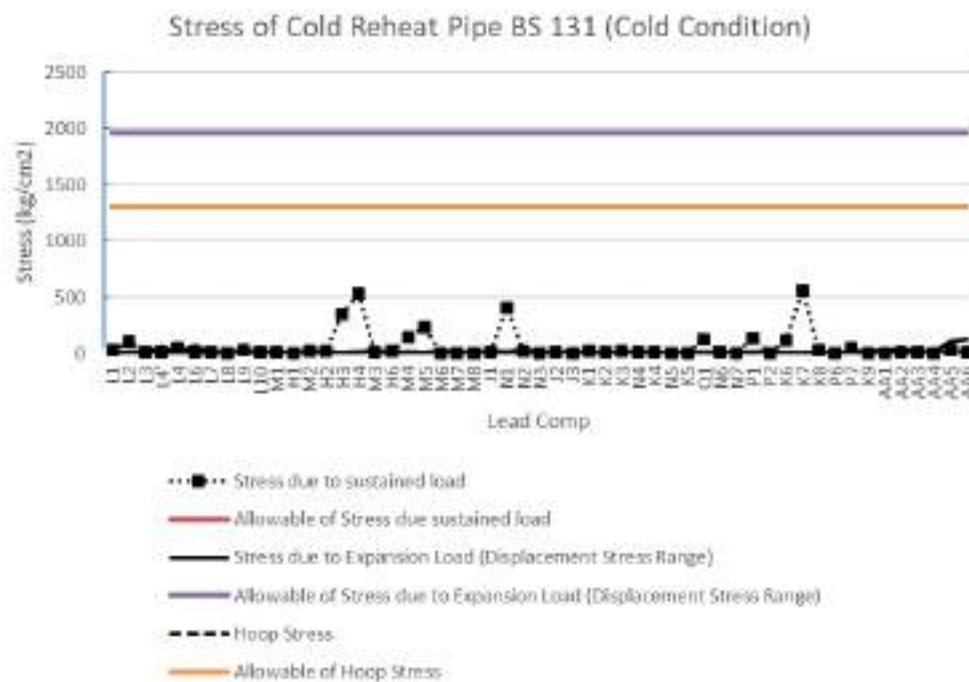
4.2 Analisa Tegangan Pada Jalur CRP BS 131

Pada Gambar 6 menunjukkan sistem perpipaan jalur CRP 131 dalam bentuk 3d modeling.



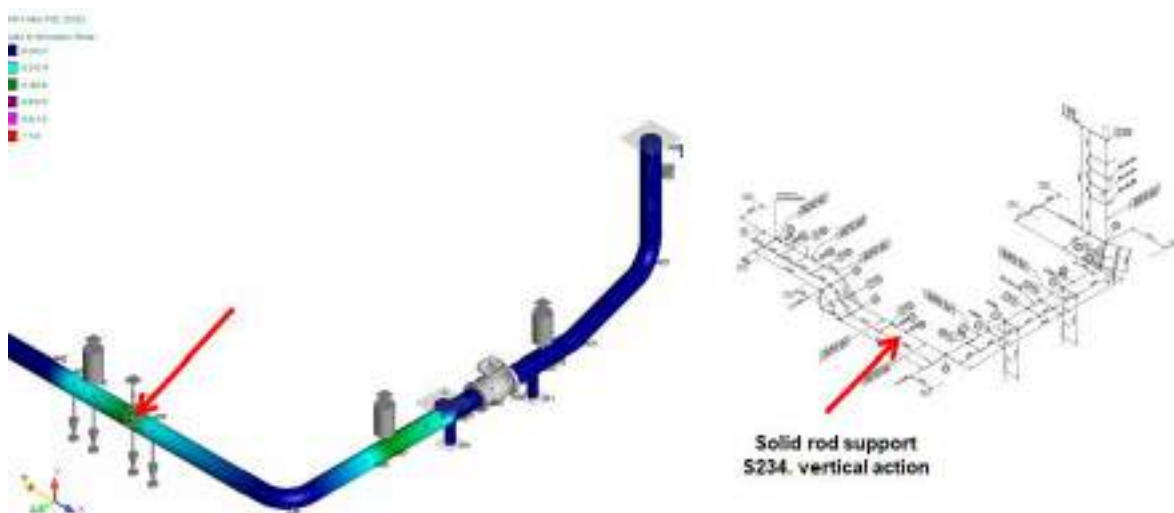
Gambar 6. Modeling CRP BS 131

Karakteristik tegangan sistem perpipaan CRP BS 131 pada kondisi tidak beroperasi ditunjukkan pada Gambar 7. Semua jenis tegangan, tegangan akibat beban sustain, tegangan akibat beban termal, dan tegangan hoop di bawah tegangan ijinnya.



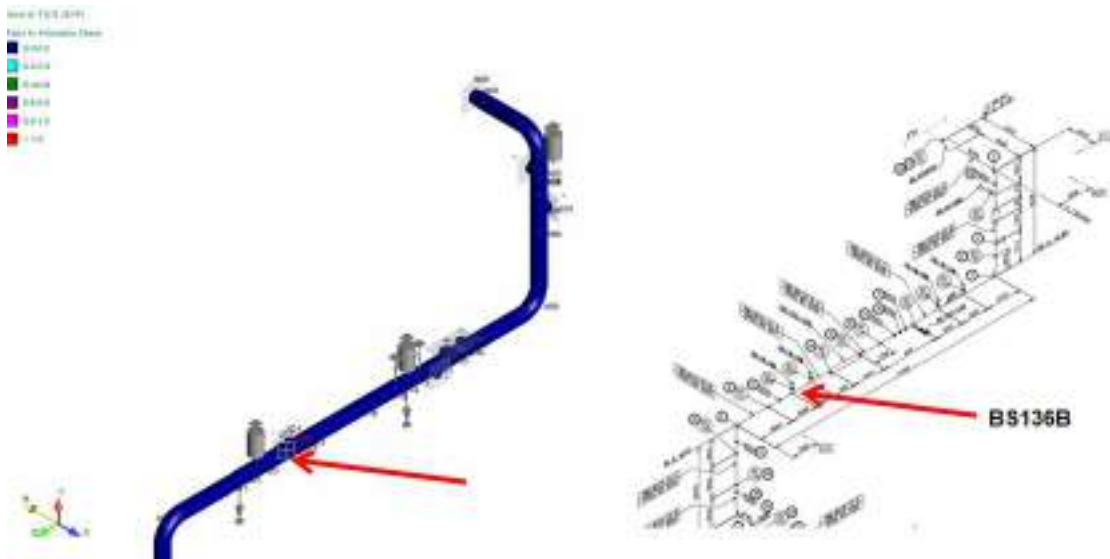
Gambar 7. Distribusi Tegangan Pada CRP BS 131

Kontur tegangan akibat beban sustain ditunjukkan pada Gambar 8. Besaran tegangan akibat beban sustain berkisar antara $0,90 \text{ kg/cm}^2$ sampai dengan $556,6 \text{ kg/cm}^2$. Tegangan ini lebih rendah dari tegangan sustain yang diijinkan ($1307,7 \text{ kg/cm}^2$). Tegangan maksimum akibat beban sustain ($556,6 \text{ kg/cm}^2$) terletak pada *Lead Component K7 (Solid rod support S234. Vertical action)*.



Gambar 8. Kontur Tegangan Akibat Beban Sustain Pada CRP BS131 Dengan Kondisi Tidak Beroperasi

Besarnya tegangan akibat beban termal dijelaskan pada Gambar 9. Besarnya tegangan akibat beban muai berkisar antara $0,40 \text{ kg/cm}^2$ sampai dengan $123,5 \text{ kg/cm}^2$. Tegangan tersebut lebih rendah dari tegangan akibat termal yang diijinkan ($1961,6 \text{ kg/cm}^2$). Tegangan maksimum akibat beban muai ($123,5 \text{ kg/cm}^2$) terletak pada *Lead Component* AA6 (BS136B).



Gambar 9. Kontur Tegangan Akibat Beban Termal Pada CRP BS131 Dengan Kondisi Tidak Beroperasi

Besarnya tegangan *hoop* tidak dijelaskan dalam bentuk gambar karena pada kondisi tidak beroperasi tidak terjadi tegangan *hoop* pada sistem perpipaan karena tidak adanya tekanan di dalam yang mempengaruhi dinding-dinding pipa.

Resume tegangan maksimum sistem perpipaan CRP BS 131 pada kondisi tidak beroperasi ditunjukkan pada Tabel 2. Dari hasil tersebut seluruh tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan CRP BS 131 lebih rendah dari tegangan izin.

Tabel 2. Tegangan Pada Jalur CRP BS 131 Pada Kondisi Tidak Beroperasi (*Cold Condition*)

Load Case	Tipe Tegangan	Lead Component	Tegangan Code (kg/cm^2)	Tegangan Ijin (kg/cm^2)	Rasio	Note
GR + Max P	Max Tegangan Akibat Beban Sustain	K7 (<i>Solid rod support S234. Vertical action</i>)	556,6	1307,7	0,43	Diterima
T1 to T2	Max Tegangan Akibat Beban Termal	AA6 (BS136B)	123,5	1961,6	0,06	Diterima
Max P	Max Tegangan Hoop	-	0	1307,7	0	Diterima

5. Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah pada jalur CRP BS 130 untuk tegangan maksimum akibat beban sustain (*cold condition*) sebesar $263,2 \text{ kg/cm}^2$ pada *lead component* J1

(*Hanger Support S214. 1xC.effort*). Pada jalur CRP BS 130 untuk tegangan maksimum akibat beban termal (*cold condition*) sebesar 112,8 kg/cm² pada *lead component* BB6 (BS116B). Pada jalur CRP BS 130 untuk tegangan maksimum tegangan *hoop* (*cold condition*) tidak ada. Pada jalur CRP BS 131 untuk tegangan maksimum akibat beban sustain (*cold condition*) sebesar 556,6 kg/cm² pada *lead component* K7 (*Solid rod support S234. Vertical action*). Pada jalur CRP BS 131 untuk tegangan maksimum akibat beban sustain (*cold condition*) sebesar 123,5 kg/cm² pada *lead component* AA6 (BS136B). Pada jalur CRP BS 131 untuk tegangan maksimum tegangan *hoop* (*cold condition*) tidak ada. Tegangan *hoop* di jalur CRP BS 130 dan CRP BS 131 tidak ada. Tegangan *hoop* dipengaruhi oleh tekanan internal dan ketebalan dinding pipa, sehingga semakin tipis dinding pipa dan mendekati *minimum wall thickness* maka nilai tegangan *hoop* semakin besar. Seluruh tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan lebih rendah dari tegangan izin. Disimpulkan bahwa sistem perpipaan dalam kondisi tidak beroperasi (*cold condition*) aman bahkan pada ketebalan pipa yang ada.

Daftar Pustaka

- A. W. Husodo, P. Mahardhika, and V. V. V. A. (2019). ANALISA FLEKSIBILITAS SISTEM PERPIPAAN PADA FATTY ACID PLANT AKIBAT PERGESERAN POSISI EVAPORATOR. *Jurnal Integrasi*, 11(2), 112–118. <https://doi.org/10.30871/ji.v11i2.1663>
- Ade Widiyanto Sulaiman; Adi Wirawan Husodo ; Ekky Nur Budiyanto. (2023). *Redesign Dan Analisis Tegangan Jalur Pipa High Pressure Hydrogen Pada Project Pembangunan Plant Fatty Alcohol Di Industri Oleochemical Di Gresik*. 8, 112–116. <https://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/2509>
- ASME. (2018). ASME B31.3: Process Piping. In *ASME Code for Pressure Piping*.
- Aswin; Ahmad Hasnan. (2023). STRESS ANALYSIS EVALUATION AND PIPE SUPPORT TYPE ON HIGH-PRESSURE AND TEMPERATURE STEAM PIPE. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies & Applications*, 4(1), 31–38. <https://doi.org/10.21776/MECHTA.2023.004.01.4>.
- Chamsudi, A. (2005). *Diktat-Piping Stress Analysis*. <https://www.scribd.com/document/259036537/Di%0Aktat-Pipe-Stress-Analysis>
- Hasan, M., Santoso, E., & Mahardhika, P. (2017). DESAIN EXPANSION LOOP PADA LINE 116SV203-150-16H20 FATY ACID DESTILATION PT. WILMAR NABATI INDONESIA. *Proceedings Conference on Piping Engineering and Its Application*, 31–36. <http://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/387>
- Mahardhika, P. (2018). Penerapan metode time history untuk fenomena water hammer. *Jurnal Teknologi Maritim*, 1(2), 37–44.
- Mahardhika, P., Julianto, E., Indartono, A., & Kusuma, G. E. (2018). ANALISA PENGARUH KENAIKAN TEKANAN FLUIDA TERHADAP TEGANGAN DAN FLEKSIBILITAS PIPA BLOWDOWN A106 GRADE A BERDASARKAN ASME B31.3. *TEKNIK*, 39(1), 67–72. <https://doi.org/10.14710/teknik.v39i1.17118>
- Pekik Mahardhika, Adi Wirawan Husodo, George Endri Kusuma, R. Dimas Endro Witjonarko, Ekky Nur Budiyanto. (2021). *Analisis Symmetrical dan Nonsymmetrical Vertical Expansion Loop untuk Meningkatkan Fleksibilitas dan Menurunkan Tegangan Pipa Berdasarkan ASME B31.3*. 42(1), 63–70. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i1.29244>
- PGN LNG Indonesia. (2023, November 19). *Fungsi, Komponen, Jenis, dan Cara Kerja Boiler* [Online post]. <https://pgnlng.co.id/berita/wawasan/apa-itu-boiler/>

Thibankumar Arumugam; Saravanan Karuppanan; Mark Ovinis. (2020). Finite element analyses of corroded pipeline with single defect subjected to internal pressure and axial compressive stress. *Marine Structures*, 72, 102746. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2020.102746>



Perbandingan Metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* dan *Support Vector Regression* dalam Prediksi Waktu Pemeliharaan pada Mesin *E-Fill*

Deni Almunawar¹, Ii Munadhif^{1*}, Ryan Yudha Adhitya¹

¹ Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, , Jl. Teknik Kimia, ITS, Sukolilo, 60111, Indonesia

Abstrak. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja metode *Adaptive NeuroFuzzy Inference System* (ANFIS) dan *Support Vector Regression* (SVR) dalam memprediksi waktu pemeliharaan yang optimal pada mesin pengisian cairan otomatis atau yang biasa disebut mesin *e-fill*. Mesin *e-fill* banyak digunakan oleh industri produsen untuk mengemas produk cairan mereka ke dalam kemasan botol. Mesin ini sering mengalami kerusakan yang dapat mengganggu proses produksi dan menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Oleh karena itu, prediksi waktu pemeliharaan yang tepat sangat penting agar perusahaan dapat mempersiapkan dana danantisipasi sebelum terjadi kerusakan yang lebih parah. Penelitian ini mengumpulkan data historis parameter operasional mesin *e-fill* seperti *performance*, *quality*, dan *availability*. Data tersebut kemudian dibagi menjadi data latih dan data uji. Data latih digunakan untuk melatih model prediksi ANFIS dan SVR agar dapat memprediksi waktu pemeliharaan mesin. Data uji digunakan untuk mengevaluasi akurasi prediksi dari kedua model. Model ANFIS dilatih dengan menyesuaikan parameter-parameternya agar sesuai dengan pola pada data latih. Model SVR juga dilatih dengan data latih agar parameternya dapat mengenali pola data. Kinerja kedua model dievaluasi dengan metrik RMSE pada data uji. Metode *Support Vector Regression* (SVR) memiliki rata-rata *Accuracy* yang lebih tinggi, yaitu 91,67%, dibandingkan dengan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang memiliki rata-rata *Accuracy* sebesar 68,33%. Hal ini menunjukkan bahwa SVR lebih akurat dalam memprediksi waktu pemeliharaan pada mesin *e-fill* di berbagai tingkat RPM.

Katakunci: ANFIS, mesin *e-fill*, prediksi, RMSE, SVR

Abstract. This research aims to compare the performance of the *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) and *Support Vector Regression* (SVR) methods in predicting optimal maintenance time on liquid filling machines automatic or what is usually called an *e-fill* machine. *E-fill* machines are widely used by industrial manufacturers to package their liquid products into packaging bottle. This machine often experiences damage which can disrupt the process production and cause losses for the company. Hence, predictions Proper maintenance timing is very important for companies to be able to prepare funds and anticipate before more damage occurs Severe. This research collects historical data on operational parameters of *e-fill* machines such as *performance*, *quality* and *availability*. The data is then shared into training data and test data. Training data is used to train the prediction model ANFIS and SVR to be able to predict machine maintenance times. Test data used to evaluate the prediction accuracy of both models. ANFIS model trained by adjusting its parameters to

match the patter non training data. The SVR model is also trained with training data to obtain parameters recognize data patterns. The performance of both models is evaluated with the RMSE metric on test data. The Support Vector Regression (SVR) method has a higher average Accuracy, which is 91.67%, compared to the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) method which has an average Accuracy of 68.33%. This shows that SVR is more accurate in predicting maintenance time on e-fill machines at various RPM levels.

Keywords: ANFIS, e-fill machine, Prediction, RMSE, SVR

Pendahuluan

Salah satu jenis dari mesin produksi yang umum digunakan pada perusahaan produsen adalah Mesin *filling*. Mesin *filling* atau pengisian merupakan mesin yang digunakan untuk mengisi produk ke dalam kemasan. Mesin *filling* merupakan salah satu mesin yang bertujuan untuk memudahkan aktivitas manusia dalam melakukan proses produksi guna meningkatkan kualitas produk/barang yang dihasilkan (Patrick, 2023). Beradaptasi dengan perkembangan teknologi, maka dikembangkan pula Mesin *Filling* berbasis elektronik dan otomatisasi yang biasa dikenal sebagai Mesin *e-fill*. Tidak jauh berbeda seperti mesin *filling*, Mesin *e-fill* bertujuan untuk memproduksi minuman ataupun bahan cairan dalam bentuk kemasan botol. Dengan adanya mesin *filling* berbasis otomatisasi, para perusahaan produsen biasanya lebih cepat untuk mencapai target produksi yang ditetapkan.

Meskipun teknologi otomatisasi pada mesin membantu proses produksi yang menjadi lebih lancar, namun terkadang terjadi permasalahan yaitu rusaknya 2 mesin produksi yang dapat mengganggu proses produksi perusahaan dan menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Mesin produksi menjadi kurang dapat diandalkan dan produktif seiring berjalannya waktu. Apabila suatu mesin produksi sudah tidak dapat beroperasi secara maksimal maka harus dilakukan penggantian baik komponen maupun suku cadangnya guna mencapai tujuan produksi yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

Dalam menentukan prediksi maintenance suatu mesin, terdapat beberapa metode yang lazim untuk digunakan. Salah satu metode yang dapat diimplementasikan untuk memprediksi sesuatu adalah *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Metode ANFIS merupakan gabungan antara metode logika *fuzzy* dan jaringan saraf tiruan yang memiliki keunggulan dalam melakukan prediksi berdasarkan data (Safira et al., 2021). Metode ANFIS umumnya digunakan untuk memprediksi kesehatan mesin dan peralatan, termasuk memprediksi kegagalan mesin dan peralatan dimana metode ANFIS dapat beradaptasi dengan masukan data dan membuat model yang memprediksi berbagai fenomena secara akurat (Aprilia Hardiyanti et al., 2020a). Metode ANFIS telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi prediktif, seperti pemeliharaan mesin dan peralatan proses produksi (Ari & Budiyanto, 2023). Salah satu metode lain yang dapat digunakan untuk memprediksi maintenance suatu mesin adalah *Support Vector Regression* (SVR). SVR adalah salah satu teknik pembelajaran mesin yang digunakan untuk melakukan tugas regresi (Suprayogi & Pardede, 2022). SVR bekerja dengan menemukan hyperplane terbaik yang memisahkan vektor input dengan

memaksimalkan margin antara hyperplane dan data terdekat dari kedua kelas (Tao et al., 2020).

Dari kedua metode tersebut, terdapat perbedaan yang cukup signifikan dimana ANFIS pada implementasinya menggunakan metode *classifier* berdasarkan logika *fuzzy*, sementara SVR menggunakan metode regresi yang implementasinya didasarkan pada konsep *hyperplane* (Zhu et al., 2020). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh perbandingan antara metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) dan *Support Vector Regression* (SVR) dalam melakukan prediksi maintenance pada Mesin *e-fill*.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Prediksi

Menurut Sopiandi & Putri Rahayu (2023), prediksi dipahami sebagai suatu upaya proses melakukan pemikiran dengan cara yang sistematis terkait pada suatu hal yang hadir di masa depan dengan berdasar pada informasi dari masa lalu atau sekarang. Hal ini merupakan upaya agar suatu kesalahan dapat diperkecil. Prediksi diketahui tidak harus menghadirkan satu jawaban dengan cara yang pasti terkait kondisi atau suatu peristiwa yang akan terjadi, melainkan sebagai upaya untuk dicarinya suatu jawaban sedekat mungkin dengan yang akan terjadi. Prediksi diketahui memiliki maksud yang sifatnya sama dengan suatu peramalan atau upaya perkiraan (Aprilia Hardiyanti et al., 2020b). Sejalan dengan penjelasan Kamus Besar Bahasa Indonesia, prediksi dipahami sebagai suatu pemanfaatan data dari masa lalu untuk melakukan pemikiran terkait nilai yang akan hadir di masa depan.

2.2 *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*

Struktur jaringan yang mendasari ANFIS adalah superset dari semua jenis paradigma jaringan saraf dengan kemampuan pembelajaran yang diawasi. Sistem *neuro-fuzzy*, merupakan kombinasi ANN dengan sistem *fuzzy*, biasanya memiliki keuntungan karena memungkinkan penerjemahan sistem akhir dengan mudah menjadi seperangkat aturan jika-maka (Fauziah, 2022). Penelitian dan penerapan strategi inferensi *neuro-fuzzy* memperjelas bahwa sistem hibrida saraf dan *fuzzy* bermanfaat dalam bidang-bidang seperti penerapan algoritma yang ada untuk jaringan saraf tiruan (JST), dan adaptasi langsung dari pengetahuan yang diartikulasikan sebagai seperangkat aturan linguistik *fuzzy*. Menurut Jang, sesuai dengan namanya, jaringan adaptif adalah struktur jaringan yang terdiri dari node dan tautan terarah, keseluruhan perilaku input-output ditentukan oleh nilai-nilai kumpulan parameter yang dapat dimodifikasi melalui jalur node node tersebut terhubung (Suhail et al., 2021).

2.3 *Support Vector Machine*

SVR merupakan penerapan *Support Vector Regression* (SVR) untuk kasus regresi. Dalam kasus regresi output berupa bilangan *real* atau *continue*. SVR merupakan metode yang dapat mengatasi *overfitting*, sehingga akan menghasilkan performansi yang bagus (Zulmawati et al., 2023). Model SVR sering digunakan untuk meminimalkan jumlah *square error*. Algoritme SVR adalah teori yang diadaptasi dari teori *machine learning* yang sudah digunakan untuk memecahkan masalah klasifikasi (Qadri, 2024).

2.4 *Root Mean Square Error*

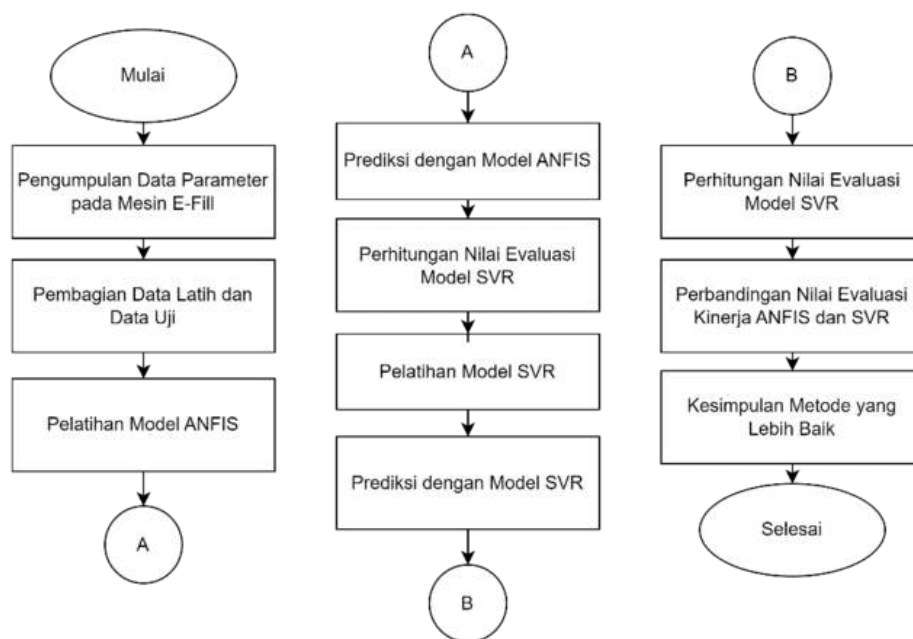
Metrik yang umum digunakan dalam statistik dan pembelajaran mesin untuk mengukur rata-rata besarnya kesalahan antara nilai yang diprediksi dengan nilai aktual adalah RMSE. RMSE sering digunakan untuk menilai akurasi model prediktif, seperti model regresi atau algoritma pembelajaran mesin.

3. Metode

Metode penelitian merupakan kerangka dasar langkah penyelesaian yang akan dilakukan untuk menyelesaikan penelitian. Dengan memberikan gambaran tentang sistem yang akan dibangun, penelitian ini akan memiliki kerangka kerja yang kuat.

3.1 Konsep Penelitian

Penelitian sebelumnya mengenai perbandingan metode *Adaptive NeuroFuzzy Inference System* (Anfis) dan *Support Vector Regression* hanya sebatas klasifikasi. Keterbaruan dari konsep penelitian ini akan membandingkan kinerja metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) dan *Support Vector Regression* (SVR) dalam memprediksi waktu maintenance yang optimal dalam mesin E-Efill. Penelitian ini berfokus pada data operasi mesin *E-FILL* selama beberapa waktu untuk melatih model ANFIS dan SVR agar dapat memprediksi kapan waktu maintenance yang tepat. Konsep penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



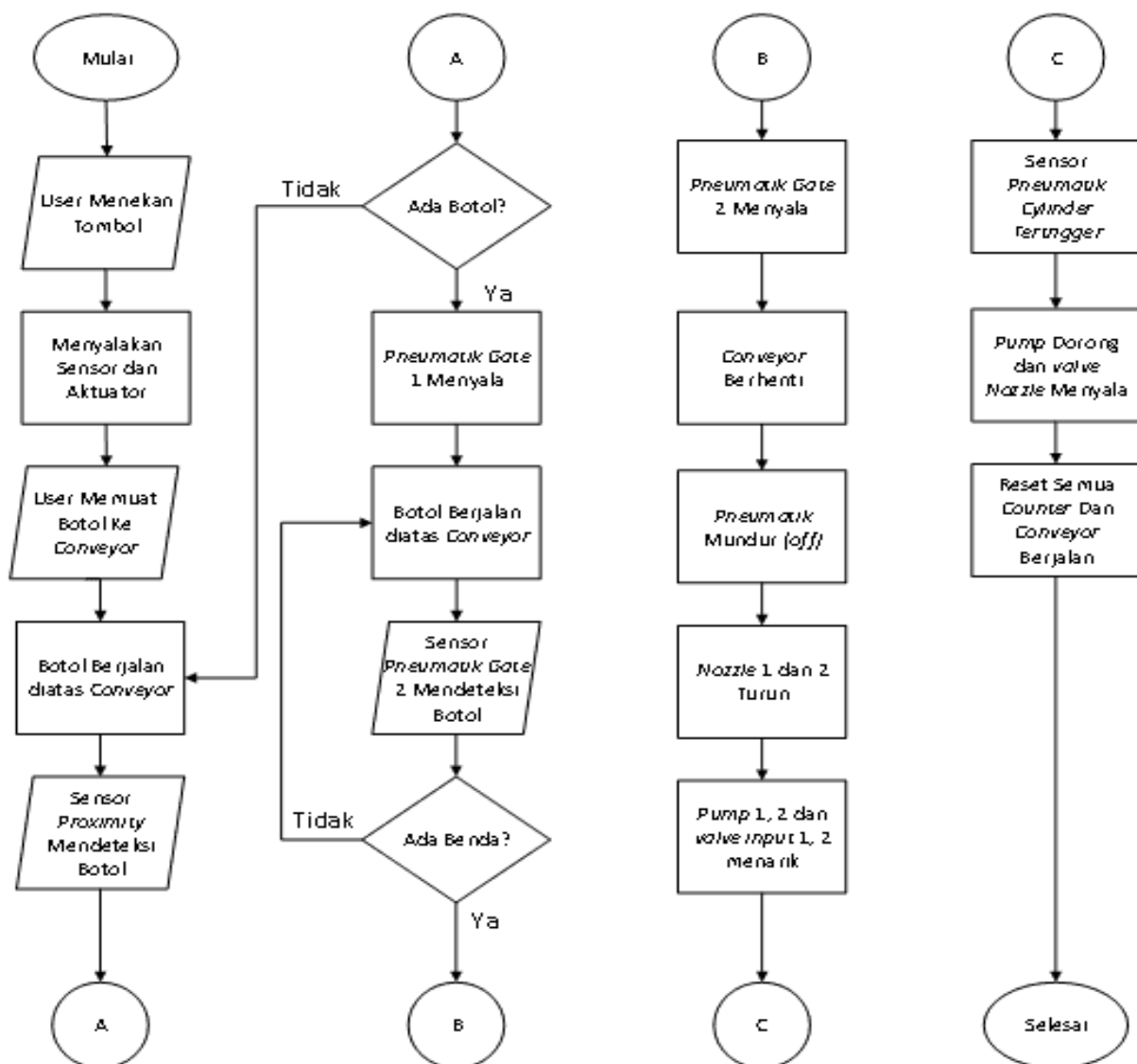
Gambar 1 Konsep Penelitian

3.2 Diagram Kerja Sistem

Diagram kerja sistem merupakan bagian yang akan menjelaskan proses kerja sistem tersebut. Dimulai dari awal hingga akhir proses. Berikut representasi dari diagram kerja sistem. Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa alur kerja sistem dimulai dari menekan tombol

start pada HMI kemudian sensor dan aktuator akan menyala. Kemudian botol akan ditaruh pada konveyor dan akan berjalan. Lalu sensor *proximity* akan mendeteksi botol. Jika tidak ada botol maka konveyor akan tetap berjalan dan jika *proximity* mendeteksi botol pertama maka *pneumatic gate* 1 akan menyala, jika sensor *proximity* mendeteksi botol yang kedua maka *pneumatic gate* 2 akan menyala dan bersamaan konveyor akan berhenti.

Lalu pneumatik mundur menyala bersamaan dengan nozzle 1 dan nozzle 2 turun. Kemudian *cylinder* pneumatik akan menarik cairan dan membuka *valve input* 1 dan *valve input* 2 sesuai dengan batas sensor *cylinder* pneumatik. Setelah *cylinder* pneumatik terisi selanjutnya *cylinder* pneumatik akan mendorong cairan sampai titik top bersamaan dengan terbukanya *valve output* 1 dan *valve input* 2 lalu mengirim air pada nozzle melalui selang cairan. Kemudian sistem akan reset secara otomatis dan konveyor kembali berjalan.



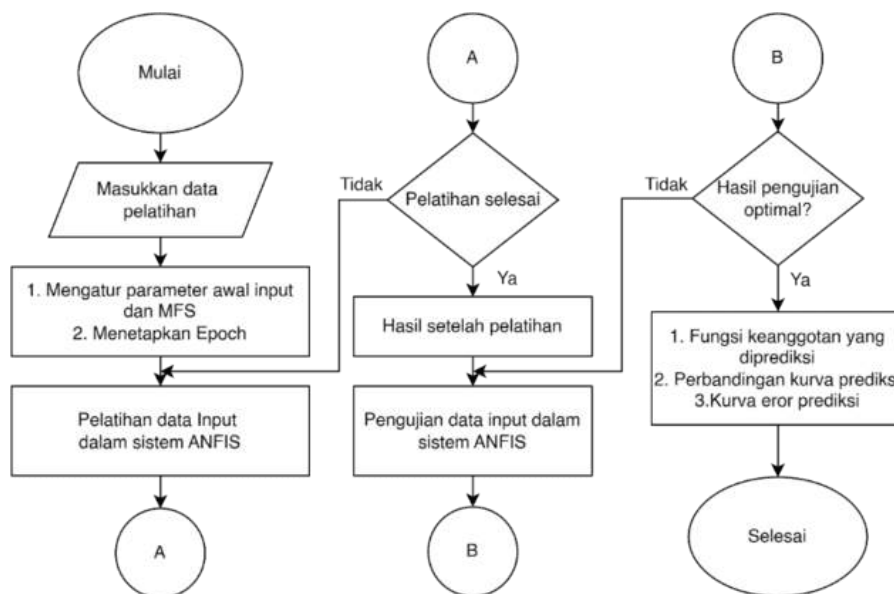
Gambar 2 Diagram Kerja System Mesin *E-FILL*

3.3 Diagram Alir Sistem ANFIS

Dalam penelitian ini, metode ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) digunakan untuk memprediksi waktu *maintenance* yang optimal pada mesin *e-fill*. ANFIS merupakan kombinasi metode logika *fuzzy* dan jaringan saraf tiruan yang bersifat adaptif. Adaptivitas pada metode ANFIS ditunjukkan dengan kemampuannya untuk belajar dan menyesuaikan parameter parameter model berdasarkan pola data latih. Pada penelitian ini, model ANFIS dilatih menggunakan data historis parameter operasional mesin *e-fill* seperti *performance*, *quality*, dan *availability*.

Dalam proses pelatihan, ANFIS akan menyesuaikan nilai parameter-parameternya seperti fungsi keanggotaan *fuzzy* (*membership function*) agar semakin akurat dalam memodelkan pola hubungan antara data *input* dan *output* berdasarkan data latih. Semakin banyak data latih dan *epoch* yang digunakan, semakin baik ANFIS dapat menyesuaikan parameternya untuk menghasilkan model prediksi yang optimal.

Dengan kemampuan adaptif ini, ANFIS dapat belajar dari data masa lalu untuk memprediksi waktu *maintenance* mesin *e-fill* di masa depan. Hasil prediksi ANFIS juga akan semakin akurat seiring dengan makin banyaknya data historis yang disajikan untuk pelatihan model. Kemampuan inilah yang menunjukkan sifat adaptif dari metode ANFIS dalam penelitian ini. Gambar 3.4 menunjukkan diagram alir prediksi ANFIS.

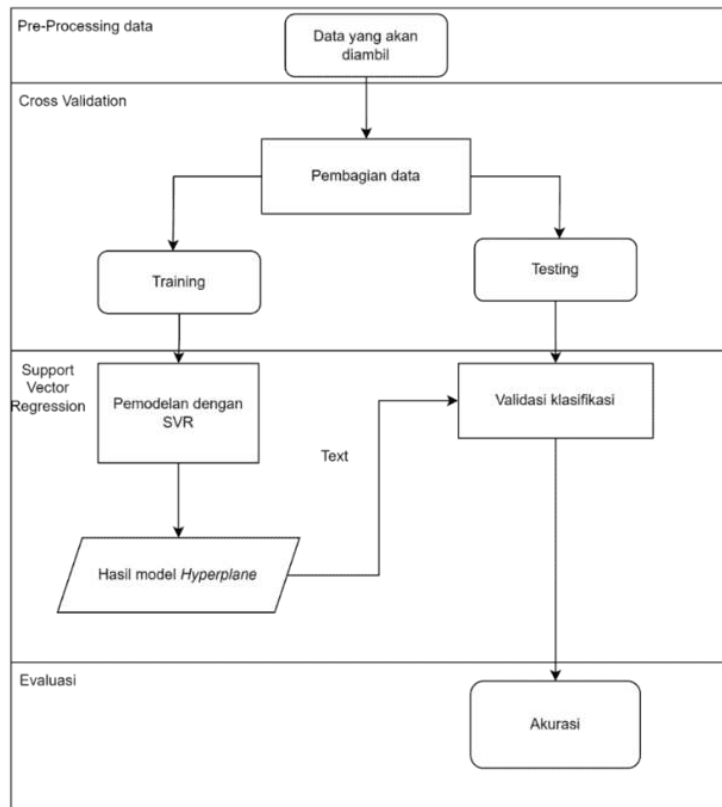


Gambar 3 Diagram Alir Sistem ANFIS

3.4 Diagram Alir Sistem SVR

Gambar 4 merupakan suatu diagram alir sistem dengan cara seluruhnya atau keseluruhan. Tahap pertama adalah preprocessing data, dan preprocessing data adalah sebuah proses yang dilakukan untuk mengubah data asli menjadi data yang lebih berkualitas dan lebih cocok untuk digunakan sebagai input yang baik untuk system. Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari proses kerja mesin *E-FILL*. Pada tahap *preprocessing* akan

dilakukan normalisasi data, data awal akan diubah menjadi bentuk yang dibutuhkan dan kemudian dikelompokkan untuk diolah. Tahap ini juga mencakup proses seleksi atau pemilihan data yang selanjutnya akan digunakan sebagai input pada pemrosesan data.



Gambar 4 Diagram Alir Sistem SVR

Selanjutnya, implementasi algoritma *Support Vector Regression* dan *cross validation*. *Cross validation*, juga dikenal sebagai estimasi rotasi, membagi data ke dalam dua kelompok, kelompok data *training* atau data latihan dan kelompok *Testing* atau data uji. Data *training* adalah data yang digunakan untuk mengajar atau melatih algoritma, sedangkan data tesiting adalah data yang digunakan untuk menguji atau menguji algoritma. Pada awalnya, data yang diterima akan diproses melalui pelatihan atau *training* data. Setelah selesai melalui proses pelatihan, data yang diuji akan diubah menjadi data pelatihan dan sebaliknya. Untuk mendapatkan model *hyperplane*, data pelatihan akan melalui proses pemodelan klasifikasi menggunakan *support vector regression*. Setelah itu, model ini akan diterapkan pada data pengujian. Terakhir, evaluasi dilakukan dengan penghitungan akurasi.

3.5 Perancangan Mesin *E-fill*

Berdasarkan Gambar 5 Plant sortir botol terdiri dari 2 sensor *photoelectric* untuk membedakan *good* atau *bad product* dan sebagai *trigger* untuk menyalakan *rejector*, Flow sensor untuk menentukan pengisian cairan kedalam botol, aktuator solenoid *type push pull* untuk *reject bad product*. Plant ini juga dilengkapi *push button* untuk mengontrol jalannya konveyor dan lamp indicator untuk indikasi dari konveyor. Untuk botol berwarna bening

diindikasikan sebagai *good product* dan botol berwarna hitam diindikasikan sebagai *bad product* ke botol.



Gambar 5 Mesin *e-fill*

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengambilan Data

Untuk pengambilan data pada mesin *e-fill* secara real-time setiap hari, mesin ini dilengkapi dengan sensor Photo Electric yang menghitung jumlah botol yang diproses. Sensor Photo Electric ini bekerja dengan mendeteksi setiap botol yang melewati titik tertentu di jalur produksi. Setiap kali botol melewati sensor, sinyal dikirim ke sistem pengumpulan data yang mencatat peristiwa tersebut.

RPM	Total Count	Good Count	Operating Time	Planned Production Time	Ideal Production Time	A	P	Q	OEE
2000	4	4	6.22	7	0.057	88.86	96.08	100	85.31
	4	4	6.22	7	0.057	88.86	96.08	100	85.31
	4	3	6.22	7	0.057	88.86	96.08	75	67.06
	4	3	6.22	7	0.057	88.86	96.08	75	67.06
	4	0	6.22	7	0.057	88.86	96.08	0	0
	4	0	6.22	7	0.057	88.86	96.08	0	0
2500	4	4	6	7	0.05	85.71	90	100	77.13
	4	4	6	7	0.05	85.71	90	100	77.13
	4	3	6	7	0.05	85.71	90	75	57.85
	4	3	6	7	0.05	85.71	90	75	57.85
	4	0	6	7	0.05	85.71	90	0	0
	4	0	6	7	0.05	85.71	90	0	0
3000	4	4	8	9	0.067	88.8	98.82	100	87.75
	4	4	8	9	0.067	88.8	98.82	100	87.75
	4	3	8	9	0.067	88.8	98.82	75	65.81
	4	3	8	9	0.067	88.8	98.82	75	65.81
	4	0	8	9	0.067	88.8	98.82	0	0

4	0	8	9	0.067	88.8	98.82	0	0
---	---	---	---	-------	------	-------	---	---

Tabel 1 Pengumpulan data per RPM

Berdasarkan tabel 1 penulis menggunakan rumus OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) sebagai perhitungan dari data yang telah diperoleh. Serta data setiap RPM diambil sebanyak 27 kali.

$$Ideal\ Production\ Time\ per\ botol = \frac{Operating\ time}{Total\ Count} \quad (1)$$

$$Availability = \frac{Operating\ time}{Planned\ Production\ Time} \quad (2)$$

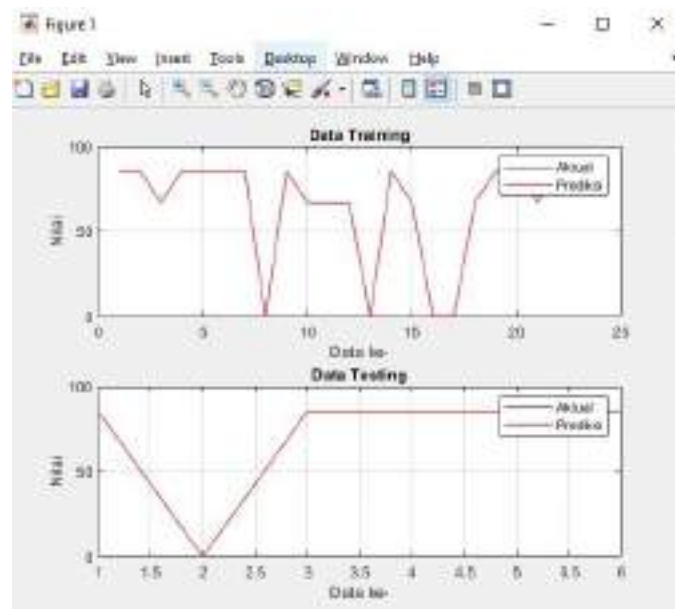
$$Performance = \frac{Ideal\ Production\ Time \times Total\ Count}{Operating\ Time} \quad (3)$$

$$Quality = \frac{Good\ Count}{Total\ Count} \quad (4)$$

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \quad (5)$$

4.2 Pemodelan ANFIS RPM 2000

Gambar 6 menunjukkan proses pelatihan ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) menggunakan MATLAB. Subplot pertama menampilkan hasil data pelatihan dengan garis biru untuk nilai aktual dan garis merah untuk nilai prediksi, sedangkan subplot kedua menunjukkan hasil data pengujian dengan garis biru untuk nilai aktual dan garis merah untuk nilai prediksi. RMSE untuk data pelatihan adalah 0.000003, yang menunjukkan bahwa model cukup baik dalam memprediksi data pelatihan, namun RMSE untuk data pengujian adalah 0.0001, menunjukkan kesalahan yang lebih besar pada data pengujian dibandingkan data pelatihan. Ini bisa menjadi indikasi adanya *overfitting*. Selain itu, juga ditampilkan jumlah data pelatihan dan pengujian serta persentase masing-masing dari total data. Gambar ini secara keseluruhan menunjukkan bagaimana ANFIS telah digunakan untuk memodelkan dan memprediksi data, dengan hasil pelatihan yang cukup baik tetapi kesalahan yang lebih besar pada data pengujian. Gambar 6 menunjukkan proses pelatihan ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*)

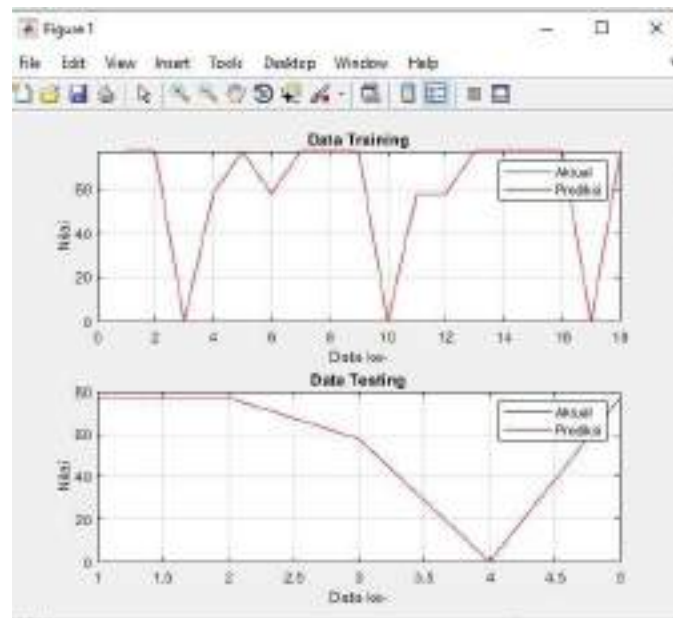


Gambar 6 Grafik Hasil Pengolahan pada matlab RPM 2000

Garis warna biru (nilai aktual) pada data *training* dan data *testing* tidak tampak dikarenakan hasil prediksi memiliki kesamaan nilai dengan aktualnya.

4.3 Pemodelan ANFIS RPM 2500

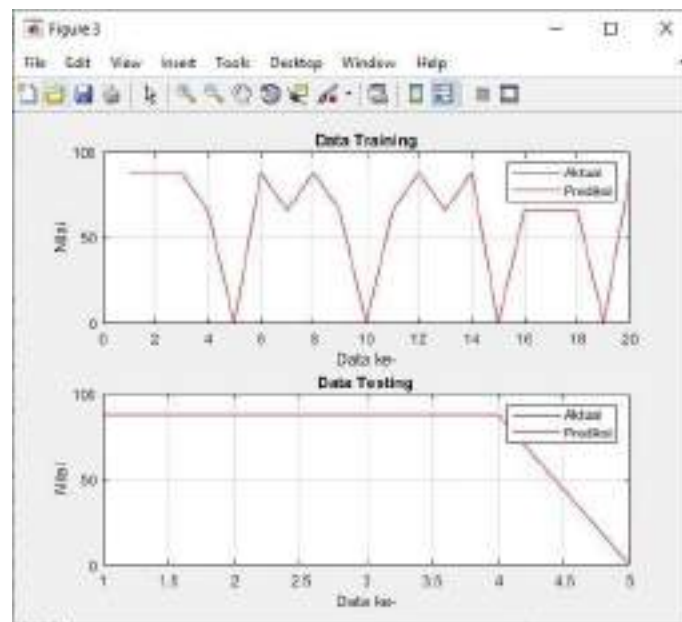
Pada gambar 7 terdapat dua plot. Plot pertama berjudul *Data Training* menunjukkan perbandingan antara data aktual (tidak ada garis yang terlihat) dan data prediksi (garis merah) selama proses *training*. Terlihat bahwa data prediksi mengalami fluktuasi yang cukup besar, tetapi cenderung mendekati nilai aktual di beberapa titik. Plot kedua, berjudul "*Data Testing*", memperlihatkan perbandingan antara data aktual (garis biru) dan data prediksi (garis merah) selama proses *Testing*. Di sini, terlihat bahwa data prediksi lebih stabil dan mendekati data aktual meskipun masih ada perbedaan di beberapa titik. Memberikan informasi lebih rinci tentang performa model prediksi. Nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) minimal selama *training* adalah 0.000006, menunjukkan bahwa model sangat akurat selama fase *training*. Namun, nilai RMSE selama *Testing* adalah 0.0001, yang berarti ada perbedaan yang signifikan antara prediksi dan nilai aktual pada data *Testing*.



Gambar 7 Grafik Hasil Pengolahan pada matlab RPM 2500

4.4 Pemodelan ANFIS RPM 3000

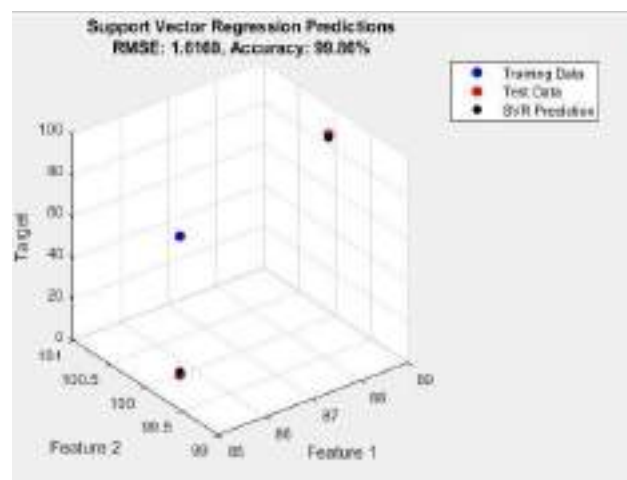
Gambar di atas menunjukkan dua plot hasil analisis model prediksi menggunakan ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*). Plot pertama, berjudul "Data Training", menunjukkan perbandingan antara data aktual (garis biru) dan data prediksi (garis merah) selama proses *training*. Terlihat bahwa data prediksi mengalami fluktuasi yang signifikan dan kadang-kadang sangat berbeda dengan data aktual. Plot kedua, berjudul "Data Testing", memperlihatkan perbandingan antara data aktual (garis biru) dan data prediksi (garis merah) selama proses *Testing*. Di sini, terlihat bahwa data prediksi juga mengalami fluktuasi, tetapi mendekati nilai aktual di beberapa titik. Gambar ini juga memberikan informasi lebih rinci tentang performa model prediksi. Nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) minimal selama *training* adalah 0.000006, menunjukkan bahwa model sangat akurat selama fase *training*. Nilai RMSE selama *Testing* adalah 0.0001, yang berarti prediksi model mendekati nilai aktual pada data *Testing* dengan akurasi yang tinggi. Total data yang digunakan adalah 20 untuk *training* (80.00%) dan 5 untuk *Testing* (20.00%).



Gambar 8 Grafik Hasil Pengolahan pada matlab RPM 3000

4.5 Pemodelan SVR RPM 2000

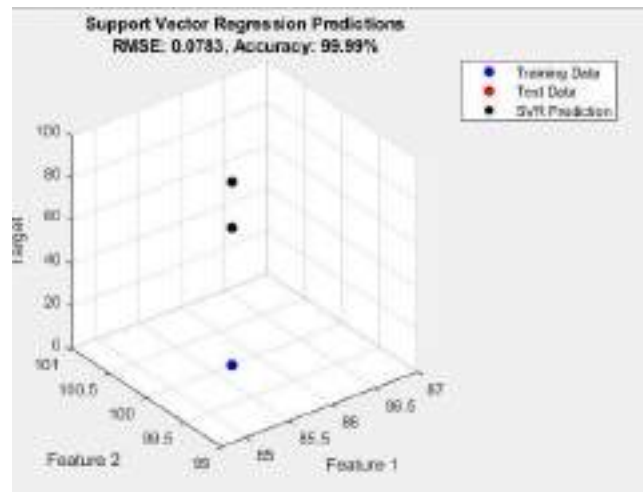
Gambar 9 adalah plot tiga dimensi yang menunjukkan hasil prediksi SVR dalam ruang fitur. Pada sumbu vertikal adalah target nilai, sedangkan dua sumbu horizontal adalah fitur 1 dan fitur 2. Titik-titik merah mewakili data uji, titik-titik biru mewakili data pelatihan, dan titik-titik hitam mewakili prediksi SVR. Teks di atas grafik menunjukkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 1.6160 dan akurasi prediksi sebesar 99.86%. Dari plot ini terlihat bahwa prediksi SVR (titik hitam) sangat dekat dengan data uji (titik merah), menunjukkan kemampuan model dalam memprediksi data yang tidak terlihat selama pelatihan dengan akurasi yang sangat tinggi.



Gambar 9 Hasil Pemodelan SVR RPM 2000

4.6 Pemodelan SVR RPM 2500

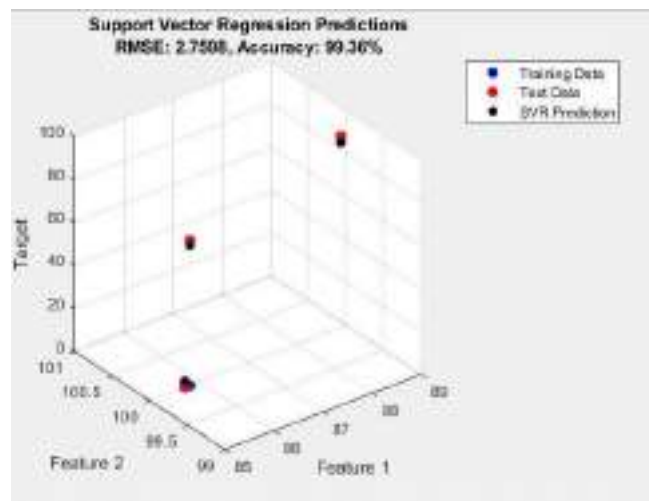
Gambar 10 adalah plot tiga dimensi yang menunjukkan hasil prediksi SVR dalam ruang fitur. Pada sumbu vertikal adalah target nilai, sedangkan dua sumbu horizontal adalah fitur 1 dan fitur 2. Titik-titik merah mewakili data uji, titik-titik biru mewakili data pelatihan, dan titik-titik hitam mewakili prediksi SVR. Teks di atas grafik menunjukkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 0.0783 dan akurasi prediksi sebesar 99.99%. Dari plot ini terlihat bahwa prediksi SVR (titik hitam) sangat dekat dengan data uji (titik merah), menunjukkan kemampuan model dalam memprediksi data yang tidak terlihat selama pelatihan dengan akurasi yang sangat tinggi.



Gambar 10 Hasil Pemodelan SVR RPM 2500

4.7 Pemodelan SVR RPM 3000

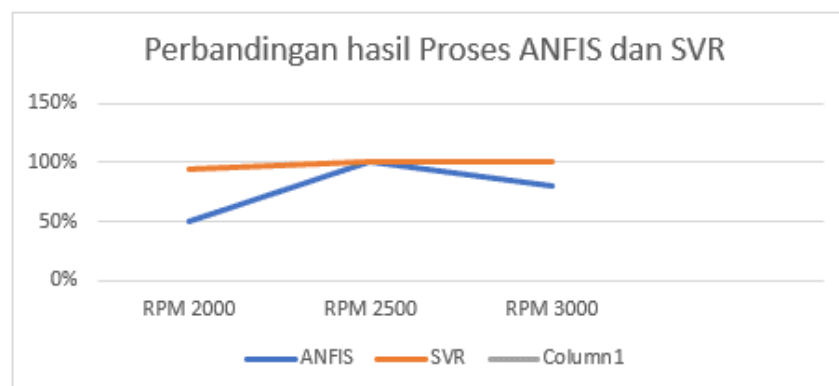
Gambar 11 adalah plot tiga dimensi, menunjukkan hasil prediksi SVR dalam ruang fitur. Sumbu vertikal adalah target nilai, sedangkan dua sumbu horizontal adalah fitur 1 dan fitur 2. Titik-titik merah mewakili data uji, titik-titik biru mewakili data pelatihan, titik-titik hitam mewakili prediksi SVR. Teks di atas grafik menunjukkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 2.7598 dan akurasi prediksi sebesar 99.26%. Dari plot ini terlihat bahwa prediksi SVR (titik hitam) sangat dekat dengan data uji (titik merah), menunjukkan kemampuan model dalam memprediksi data yang tidak terlihat selama pelatihan dengan akurasi tinggi.



Gambar 11 Hasil Pemodelan SVR RPM 3000

4.8 Hasil Perbandingan ANFIS dan SVR

Perbandingan antara metode ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) dan SVR (*Support Vector Regression*) menunjukkan perbedaan dalam pendekatan dan aplikasi. ANFIS menggabungkan kemampuan jaringan saraf tiruan dengan logika *fuzzy*, sehingga sangat baik dalam menangani data yang tidak pasti dan non-linear. Di sisi lain, SVR, yang berbasis pada teori kernel, unggul dalam menangani data berdimensi tinggi dan mengelola outlier dengan efektif. Kedua metode ini memiliki kekuatan dalam berbagai konteks aplikasi, tergantung pada karakteristik data dan kebutuhan analisis. ANFIS menawarkan fleksibilitas dalam pemodelan yang dapat belajar dari data, sementara SVR menawarkan kesederhanaan dalam implementasi dan efisiensi komputasi. Pilihan antara keduanya sering kali didasarkan pada kebutuhan spesifik dari proyek yang sedang dikerjakan. Gambar 12 merupakan perbandingan hasil pengolahan data ANFIS dan SVR.



Gambar 12 Perbandingan Hasil ANFIS dan SVR

Berdasarkan gambar 12 menunjukkan bahwa Metode *Support Vector Regression* (SVR) memiliki rata-rata Accuracy yang lebih tinggi yaitu 91,67% (rata-rata pengujian RPM 2000, RPM 2500, dan RPM 3000), dibandingkan dengan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference*

System (ANFIS) yang memiliki rata-rata Accuracy sebesar 68,33% (rata-rata pengujian RPM 2000, RPM 2500, dan RPM 3000).

4. Kesimpulan

Perancangan Prediksi *Maintenance* dengan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* dan *Support Vector Reggresion* telah dirancang. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa kedua metode dapat digunakan untuk memprediksi pemeliharaan mesin *e-fill*. Setelah dilakukan pengujian dengan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* dan *Support Vector Reggresion* terhadap beberapa data yang telah diambil akurasi tertinggi adalah 100% menggunakan metode *Support Vector Reggersion*, dengan mendapat hasil akurasi 100% sebanyak tiga kali saat pengolahan data. Dari hasil perhitungan perbandingan dapat disimpulkan bahwa metode *Support Vector Regression* (SVR) memiliki rata-rata Accuracy yang lebih tinggi, yaitu 91,67%, dibandingkan dengan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang memiliki rata-rata Accuracy sebesar 68,33%. Hal ini menunjukkan bahwa SVR lebih akurat dalam memprediksi waktu pemeliharaan pada mesin *e-fill* di berbagai tingkat RPM.

Ucapan terima kasih

Penulis ucapkan terimakasih atas dana hibah dari PPNS melalui skema B penelitian DIPA 2024 sebagai luaran wajib.

Daftar Pustaka

- Aprilia Hardiyanti, S., Shofiyah, Q., Teknik Sipil, J., Negeri Banyuwangi, P., & Raya Jember, J. K. (2020a). Prediksi Kasus Covid-19 di Indonesia Menggunakan Metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6 ISAS Publishing Series: Engineering and Science*, 6(1).
- Aprilia Hardiyanti, S., Shofiyah, Q., Teknik Sipil, J., Negeri Banyuwangi, P., & Raya Jember, J. K. (2020b). Prediksi Kasus Covid-19 di Indonesia Menggunakan Metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6 ISAS Publishing Series: Engineering and Science*, 6(1).
- Ari, A. S., & Budiyanto, U. (2023). Prediksi Jumlah Produksi Perakitan Komponen Menggunakan ANFIS Yang Dioptimasi Dengan Algoritma K-Means. *CogITo Smart Journal*, 9(2), 252–265. <https://doi.org/10.31154/cogito.v9i2.513.252-265>
- Bob Anthony, M. (2021). Analisis Penyebab Kerusakan Unit Pompa Pendingin AC dan Kompresor menggunakan Metode FMEA. *Jurnal Teknologi*, 11(1), 5–13. <https://doi.org/10.35134/jitekin.v11i1.24>
- Cahyono, R. E., Sugiono, J. P., & Tjandra, S. (2019). Analisis Kinerja Metode *Support Vector Regression* (SVR) dalam Memprediksi Indeks Harga Konsumen. *JTIM : Jurnal Teknologi Informasi Dan Multimedia*, 1(2), 106–116. <https://doi.org/10.35746/jtim.v1i2.22>
- Fauziah. (2022). *Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Untuk Memprediksi Kelulusan Mahasiswa* (Vol. 4, Issue 1).

- Patrick. (2023, August 8). *Mengenal Apa Itu Mesin Filling Beserta Fungsi Dan Jenisnya*. Tanindo.
- Qadri, L. (2024). *Prediksi Curah Hujan Dengan Menggunakan Algoritma Support Vector Regression* [Universitas Hasanuddin]. <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/32395/>
- Safira, L., Misdrum, M., Sani, D. A., Informatika, J., & Informasi, F. T. (2021). *Safira, Implementasi Sistem Pakar Untuk Mendiagnosa Penyakit Pada Perokok Aktif Dan Perokok Pasif Dengan Menggunakan Metode ANFIS 9 Implementasi Sistem Pakar Untuk Mendiagnosa Penyakit Pada Perokok Aktif Dan Perokok Pasif Dengan Menggunakan Metode ANFIS*.
- Sopiandi, I., & Putri Rahayu, D. (2023). Pembuatan Analisa Prediksi Harga Tembakau Pada Desa Mekarwangi Dan Darmawangsi Untuk Meningkatkan Pendapatan Masyarakat Menggunakan Algoritma C 4.5. *BERNAS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(3), 2207–2213. <https://doi.org/10.31949/jb.v4i3.5279>
- Suhail, M., Akhtar, I., Kirmani, S., & Jameel, M. (2021). Development of Progressive *Fuzzy Logic* and ANFIS Control for Energy Management of Plug-In Hybrid Electric Vehicle. *IEEE Access*, 9, 62219–62231. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3073862>
- Suprayogi, D., & Pardede, H. F. (2022). *Support Vector Regression* Dalam Prediksi Penurunan Jumlah Kasus Penderita Covid-19. *Journal of Information Technology and Computer Science*, 7(2), 63–70.
- Tao, Y., Zhenyu, L., Zhichao, H., Chunrong, R., Yuanyuan, W., Xin, H., Jie, W., Mengliang, L., Qiubai, D., Khan, K., Zhongyuan, L., Shuzhen, L., Feng, L., & Xiaoling, F. (2020). Mechanical and microstructure of magnesium potassium phosphate cement with a high concentration of Ni(II) and its leaching toxicity. *Construction and Building Materials*, 245, 118425. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118425>
- Zhu, T., Luo, W., Bu, C., & Ning, H. (2020). Making use of observable parameters in evolutionary dynamic optimization. *Information Sciences*, 512, 708–725. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.10.024>
- Zulmawati, W. S., Amalita, N., Syafriandi, S., & Salma, A. (2023). Bitcoin Price Prediction Using Support Vector Regression. *UNP Journal of Statistics and Data Science*, 1(5), 488–495. <https://doi.org/10.24036/ujsds/vol1-iss5/121>



Jurnal Teknologi Maritim Volume 7 No 2 Tahun 2024
21 Agustus 2024 / 10 Oktober 2024 / 14 Oktober 2024

Jurnal Teknologi Maritim

<http://jtm.ppns.ac.id>

Pemanfaatan Jam Tangan Pintar Komersial untuk Mengukur Getaran Tangan dalam Rangka Meningkatkan Keselamatan Pembuatan Kapal di Indonesia: Identifikasi Tantangan dan Peluang

Mochamad Yusuf Santoso^{1*}, Aulia Nadia Rachmat¹, Mades Darul Khairansyah¹, Joko Endrasmono², Renato Senna Satriano¹, Robie Kuncoro¹

¹Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri, Jl. Teknik Kimia, ITS, Sukolilo, 60111, Indonesia

²Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, , Jl. Teknik Kimia, ITS, Sukolilo, 60111, Indonesia

Abstrak. Paparan getaran tangan-lengan di tempat kerja merupakan masalah yang umum terjadi di industri pembuatan kapal, yang sering kali menyebabkan kondisi kesehatan yang melemahkan bagi para pekerja. Metode pengukuran paparan getaran lengan-tangan yang saat ini umum digunakan bisa mahal dan tidak praktis, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia. Tujuan dari studi ini adalah mengetahui kelayakan penggunaan jam tangan pintar yang tersedia secara komersial untuk mengukur dan memantau paparan getaran lengan-tangan di antara para pekerja pembuatan kapal di Indonesia. Kami melakukan eksperimen menggunakan Samsung Galaxy Watch 4, model jam tangan pintar populer yang tersedia di pasar Indonesia, untuk mengukur getaran yang dihasilkan selama tugas-tugas pembuatan kapal yang umum. Temuan kami menunjukkan potensi jam tangan pintar sebagai alat yang mudah diakses untuk memantau paparan getaran lengan-tangan. Hasil pengukuran untuk salah satu pekerjaan menunjukkan nilai deviasi standar sebesar 4,68%. Data yang dikumpulkan memberikan informasi tentang tingkat getaran yang dialami oleh para pekerja, yang berpotensi digunakan dalam pengendalian risiko bahaya. Selain itu, studi ini mengidentifikasi tantangan dan peluang yang terkait dengan penggunaan jam tangan pintar komersial untuk keselamatan dan kesehatan kerja, termasuk perlunya validasi yang ketat, pelatihan pengguna, dan integrasi dengan sistem keselamatan dan kesehatan kerja yang ada.

Katakunci: Getaran tangan dan lengan, Indonesia, jam tangan pintar, keselamatan kerja, pembuatan kapal

Abstract. Exposure to hand-arm vibration in the workplace is a common issue in the shipbuilding industry, often leading to debilitating health conditions for workers. The method of measuring hand-arm vibration exposure that is currently commonly used can be expensive and impractical, especially in developing countries like Indonesia. The aim of this study is to determine the feasibility of using commercially available smartwatches to measure and monitor hand-arm vibration exposure among shipbuilding workers in Indonesia. We conducted an experiment using the Samsung Galaxy Watch 4,

Email Korespondensi: yusuf.santoso@ppns.ac.id
doi: 10.35991/jtm.v7i2.16

a popular smartwatch model available in the Indonesian market, to measure the vibrations generated during common shipbuilding tasks. Our findings indicate the potential of smartwatches as accessible tools for monitoring hand-arm vibration exposure. The measurement results for one of the jobs show a standard deviation value of 4.68%. The collected data provides information about the vibration levels experienced by the workers, which could be used in hazard risk management. Additionally, this study identifies the challenges and opportunities associated with the use of commercial smartwatches for occupational safety and health, including the need for rigorous validation, user training, and integration with existing occupational safety and health systems.

Keywords: Hand-Arm Vibration, Indonesia, Occupational Safety, Shipbuilding, Smartwatch

1. Pendahuluan

Industri perkapalan di Indonesia memegang peranan penting dalam perekonomian nasional, memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pertumbuhan lapangan kerja dan Pendapatan Domestik Bruto (PDB) (Praharsi et al., 2020). Perkapalan merupakan komponen penting dari ekonomi global, tetapi juga menimbulkan risiko keselamatan yang signifikan bagi para pekerja. Perkapalan dan industri terkait konstruksi lainnya secara rutin memaparkan para pekerja pada berbagai risiko keselamatan, termasuk jatuh, tabrakan dengan peralatan, dan tingkat paparan getaran yang berbahaya (Safety and Health in Shipbuilding and Ship Repair, 2019). Paparan terhadap getaran, khususnya yang ditularkan melalui tangan dan lengan, dapat menyebabkan masalah kesehatan yang serius seperti *hand-arm vibration syndrome* (HAVS) dan gangguan muskuloskeletal lainnya (Krajnak, 2018).

Paparan getaran tangan-lengan yang berlebihan dapat menyebabkan HAVS, yang menyebabkan kerusakan ireversibel pada sistem neurologis, vaskular, dan muskuloskeletal. Pekerja di industri maritim, termasuk yang terlibat dalam pembuatan kapal, sangat rentan terhadap getaran tangan-lengan karena sifat pekerjaan mereka, yang sering kali memerlukan penggunaan perkakas listrik dan mesin (Forsell et al., 2017). Selain dampak pada tangan dan lengan, penelitian juga menunjukkan bahwa paparan getaran seluruh tubuh yang berkepanjangan, seperti yang dialami oleh operator kendaraan berat dan peralatan yang umum dalam konstruksi dan pengaturan maritim, dapat mengakibatkan berbagai efek kesehatan negatif. Strategi untuk mengurangi risiko ini sangat penting, karena cedera akibat getaran dapat melemahkan dan memiliki konsekuensi pribadi dan ekonomi yang signifikan (Awolusi et al., 2018; Forsell et al., 2017; Krajnak, 2018). Manajemen yang efektif terhadap waktu pemicu alat genggam dan pemantauan tingkat paparan sangat penting dalam mengurangi risiko yang terkait dengan HAV (Edwards et al., 2021).

Pengukuran paparan getaran tangan-lengan yang akurat sangat penting untuk mencegah HAVS dan memastikan keselamatan pekerja. Metode tradisional melibatkan pemasangan akselerometer langsung pada gagang alat untuk mengukur getaran. Akselerometer yang dipasang dengan tangan juga digunakan, tetapi akselerometer tersebut dapat merekam tingkat getaran yang lebih rendah dibandingkan dengan akselerometer yang dipasang pada alat karena adanya variasi dalam cara pekerja memegang alat (Clemm et al., 2021; Oh, 2022). Kemajuan terkini mencakup dosimeter getaran yang terintegrasi dengan adaptor tangan, yang mengukur besarnya getaran pada antarmuka tangan-gagang dan memberikan dosis paparan harian dengan gangguan minimal pada aktivitas pekerjaan (Oh et al., 2023). Namun,

perangkat khusus ini bisa mahal dan memerlukan pelatihan dan perawatan khusus (Krajnak, 2018).

Munculnya jam tangan pintar komersial yang terjangkau dengan sensor gerak terintegrasi memberikan peluang untuk mengatasi keterbatasan ini. Perangkat yang dapat dipakai di pasaran ini berpotensi mengukur getaran tangan dengan akurasi yang dapat diterima dengan biaya yang jauh lebih murah daripada alat pengukur getaran tradisional (Krajnak, 2018; Laput & Harrison, 2019). Hal ini dapat memungkinkan pemantauan paparan getaran yang lebih luas dan memfasilitasi penerapan langkah-langkah pengendalian yang efektif untuk melindungi Kesehatan pekerja. Selain itu, pasar jam tangan pintar Indonesia adalah yang terbesar di Asia Tenggara, dengan tingkat pertumbuhan tahunan yang diproyeksikan lebih dari 20% (Sekardhani & Song, 2022) - adopsi yang meluas ini menghadirkan jalan yang menjanjikan untuk memanfaatkan teknologi ini guna mengatasi risiko terkait getaran di industri pembuatan kapal lokal. Namun, penggunaan jam tangan pintar komersial untuk tujuan ini menimbulkan beberapa tantangan teknis dan praktis yang harus diatasi.

Penelitian ini akan mengevaluasi penggunaan jam tangan pintar komersial sebagai alternatif metode pengukuran getaran tradisional. Selain itu, penelitian ini akan mengeksplorasi peluang dan tantangan dalam mengadopsi teknologi ini untuk memantau paparan getaran di industri perkapalan Indonesia. Temuan penelitian ini akan berkontribusi pada pengembangan solusi yang mudah diakses dan praktis untuk memantau dan mengurangi risiko getaran tangan-lengan, yang pada akhirnya bertujuan untuk meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan pekerja di industri perkapalan.

2. Tinjauan Pustaka

Paparan getaran yang ditransmisikan oleh tangan merupakan masalah yang signifikan dalam industri pembuatan kapal (Jang et al., 2002; Pribadi & Shinoda, 2020). Paparan getaran merupakan bahaya pekerjaan yang terdokumentasi dengan baik di antara pekerja galangan kapal, yang sering menggunakan perkakas listrik dan mesin yang menghasilkan getaran tangan-lengan yang signifikan (Jang et al., 2002; Krajnak, 2018; Saeidnia et al., 2022). Para peneliti telah melakukan penilaian komprehensif terhadap tingkat paparan getaran di lingkungan pembuatan kapal, yang memberikan wawasan berharga tentang besarnya dan durasi getaran yang dialami oleh para pekerja. Satu studi mengukur paparan getaran pekerja galangan kapal yang menggunakan berbagai alat getar, mengukur hubungan dosis-respons antara paparan seumur hidup dan perkembangan HAVS (Jang et al., 2002). Para peneliti menemukan bahwa paparan getaran kumulatif, yang diukur dengan nilai dosis getaran, merupakan prediktor signifikan dari tingkat keparahan gejala yang disebabkan oleh getaran. Demikian pula, studi lain meneliti dampak paparan getaran terhadap kinerja manual dan ketangkasan pelaut, yang menunjukkan konsekuensi luas dari kecacatan akibat getaran. (Saeidnia et al., 2022). Temuan ini menggarisbawahi kebutuhan kritis akan pemantauan getaran dan strategi mitigasi yang efektif dalam industri pembuatan kapal untuk menjaga kesehatan dan produktivitas pekerja.

Pengukuran akurat paparan getaran tangan-lengan (HAV) sangat penting untuk menilai risiko dan mengembangkan langkah-langkah pengendalian yang tepat. Secara tradisional, hal ini dicapai dengan memasang akselerometer langsung pada gagang perkakas listrik untuk mengukur besarnya dan frekuensi getaran yang dialami pekerja selama penggunaan (Jang et al., 2002; Krajnak, 2018). Pendekatan ini, meskipun memberikan data yang akurat, dapat merepotkan dan dapat mengganggu pegangan alami dan pengoperasian perkakas. Metode alternatif melibatkan pemasangan akselerometer langsung ke tangan pekerja, yang dapat

menangkap getaran pada titik kontak. Namun, teknik ini memungkinkan adanya pengukuran di bawah tingkat getaran sebenarnya karena efek peredaman antarmuka perkakas tangan (Ainsa et al., 2011). Untuk mengatasi keterbatasan ini, para peneliti telah mengeksplorasi penggunaan dosimeter getaran yang terintegrasi dengan adaptor tangan, yang mengukur getaran pada antarmuka pegangan tangan dan memberikan dosis paparan harian dengan gangguan minimal pada aktivitas pekerjaan. Meskipun perangkat khusus ini menawarkan akurasi yang lebih baik, harganya mahal dan memerlukan pelatihan serta perawatan khusus, sehingga membatasi penerapannya secara luas (Dong et al., 2021; Pitts & Brereton, 2016). Hal ini khususnya menjadi masalah di wilayah berkembang seperti Indonesia, di mana akses ke instrumen pengukuran getaran canggih mungkin terbatas dan mahal (Prasasti & Hermawanto, 2020).

Jam tangan pintar komersial dapat digunakan untuk pemantauan getaran, khususnya dalam konteks pencegahan risiko pekerjaan. Jam tangan pintar komersial, seperti yang menggunakan sistem operasi Android Wear, dilengkapi dengan akselerometer *Micro-electro-mechanical system* (MEMS) yang dapat menangkap besarnya dan frekuensi percepatan. Sensor ini dapat digunakan untuk menganalisis getaran tangan-lengan dan aktivitas fisik yang terkait dengan pencegahan risiko pekerjaan (Sigcha et al., 2018). Beberapa penelitian telah mengeksplorasi kelayakan dan keakuratan penggunaan jam tangan pintar komersial untuk pengukuran getaran. Temuan menunjukkan bahwa perangkat ini dapat memberikan solusi praktis dan hemat biaya untuk penilaian getaran waktu nyata dalam berbagai pengaturan pekerjaan, termasuk yang melibatkan perkakas listrik dan mesin genggam (Clemm et al., 2021; Sigcha et al., 2018). Selain itu, integrasi aplikasi telepon pintar semakin meningkatkan potensi teknologi yang dapat dikenakan untuk memantau getaran tangan-lengan, menawarkan metode yang murah dan serbaguna untuk penilaian awal paparan getaran di berbagai lingkungan kerja, sehingga meningkatkan kesadaran tentang gangguan yang disebabkan oleh getaran dan pencegahannya (Dong et al., 2021).

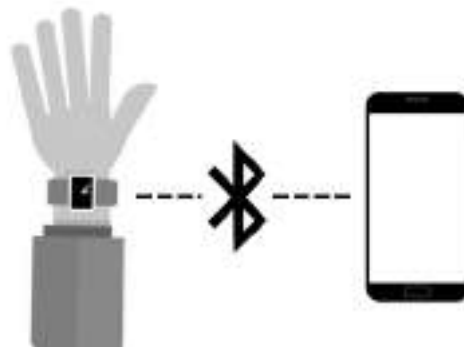
3. Metode

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan penggunaan jam tangan pintar komersial untuk mengukur paparan getaran tangan-lengan di industri pembuatan kapal. Studi ini melibatkan langkah-langkah berikut: menguji jam tangan pintar untuk pengukuran getaran tangan-lengan dan menganalisis peluang dan tantangan penggunaan jam tangan pintar untuk pemantauan getaran.

Model jam tangan pintar yang dipilih diuji di laboratorium untuk menilai kemampuannya dalam mengukur besaran getaran tangan-lengan. Gergaji tangan elektrik digunakan sebagai sumber getaran, dan jam tangan pintar dikenakan di tangan pekerja untuk menangkap data getaran. Jam tangan pintar berbasis android dipilih untuk pengujian, yaitu Samsung Galaxy Watch 4. Selain itu, aplikasi khusus untuk jam tangan pintar disiapkan untuk memungkinkan pengumpulan data getaran berkelanjutan, analisis, dan pembuatan laporan.



Gambar 1 Penggunaan gergaji listrik saat pengukuran getaran lengan tangan menggunakan jam tangan pintar



Gambar 2 Skema transmisi data getaran tangan-lengan dari *smartwatch* ke *smartphone*

Gambar 1 menunjukkan pengaturan umum untuk menguji jam tangan pintar di lingkungan laboratorium, sementara Gambar 2 menunjukkan skema transmisi data dari jam tangan ke perangkat *smartphone*. Pekerja mengenakan jam tangan pintar di tangan yang memegang sumber getaran, dan data ditransmisikan ke *smartphone* terdekat menggunakan koneksi Bluetooth. Telepon pintar tersebut menjadi *host* aplikasi khusus yang mengumpulkan data getaran. Data yang dikumpulkan kemudian dapat ditransfer ke komputer untuk analisis dan pelaporan lebih lanjut.

Data yang dikumpulkan dari jam tangan pintar adalah data akselerometer tri-aksial, yaitu arah sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z. Besarnya percepatan kemudian dihitung menggunakan Persamaan (1) dan dinormalisasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$ (Minh et al., 2021).

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (1)$$

dimana:

A = percepatan terukur (m/s^2)

A_x = percepatan terukur di arah sumbu-x (m/s^2)

A_y = percepatan terukur di arah sumbu-y (m/s^2)

A_z = percepatan terukur di arah sumbu-z (m/s^2)

Lebih lanjut, tinjauan literatur yang relevan dilakukan untuk mengidentifikasi potensi keuntungan dan kerugian dari penggunaan jam tangan pintar komersial untuk penilaian paparan getaran, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti biaya, skalabilitas, dan integrasi dengan kerangka kerja manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang ada. Hasil studi ini memberikan wawasan tentang kelayakan penggunaan jam tangan pintar komersial untuk pemantauan paparan getaran di industri pembuatan kapal, dengan implikasi untuk meningkatkan upaya pencegahan risiko kerja di wilayah berkembang dengan akses terbatas ke peralatan pengukuran getaran khusus.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil pengujian pengukuran getaran tangan lengan

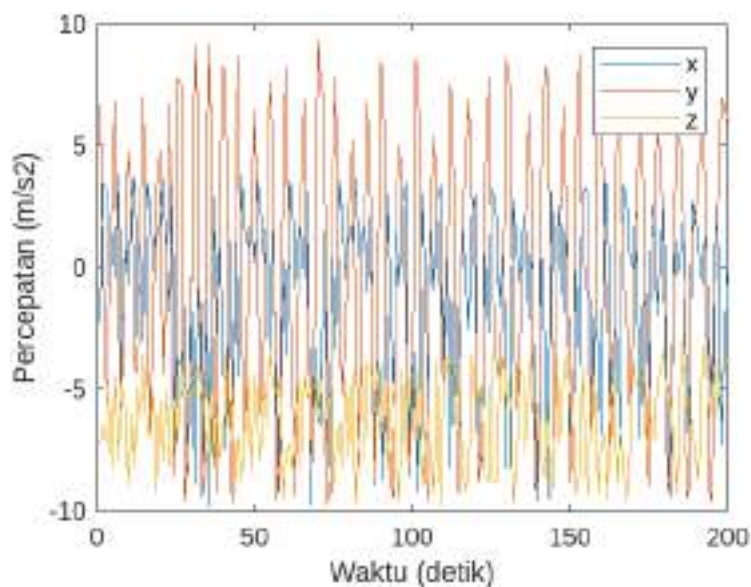
Sebagian besar jam tangan pintar berfokus pada pemantauan metrik kesehatan umum seperti detak jantung, langkah, dan pola tidur, daripada pengukuran khusus seperti paparan getaran (Sigcha et al., 2018). Jam tangan pintar yang dapat mengukur getaran tangan-lengan secara langsung adalah jam tangan pintar R-Link buatan Reactec. Perangkat ini dirancang untuk menilai dan mengelola risiko getaran tangan-lengan atau *Hand-arm vibration* (HAV) secara lebih efektif dengan menghitung dan menampilkan titik paparan risiko HAV secara real-time. Perangkat ini menggunakan besaran getaran alat yang telah ditentukan sebelumnya dan besaran getaran real-time yang dirasakan oleh pemakainya di pergelangan tangan, menyediakan tampilan ambang batas paparan yang dipersonalisasi dan peringatan multi-haptik untuk memberi tahu pemakainya tentang tingkat paparan mereka (Reactec Ltd, 2024). Namun, produk ini tidak tersedia secara komersial di pasar Indonesia.

Penelitian ini mengevaluasi tiga model jam tangan pintar yang tersedia secara komersial di pasar Indonesia. Tabel 1 menyajikan nama produk, sistem operasi, dan kemampuan pengukuran getaran. Dari ketiga model tersebut, perangkat Samsung dan Fitbit mampu mengukur getaran tangan-lengan. Namun, pengguna harus memasang aplikasi khusus pada jam tangan pintar dan telepon pintar untuk mengaktifkan fungsi pengukuran getaran. Jam tangan pintar Samsung, yang menjalankan Android Wear OS 4, ditemukan lebih unggul daripada perangkat Fitbit karena kemampuan penyesuaiannya yang lebih besar dan ketersediaan lebih banyak aplikasi yang dibuat pengembang untuk pengukuran getaran tangan-lengan. Sebaliknya, jam tangan pintar Redmi, yang menggunakan sistem operasi milik pabrikan, yang hanya diketahui oleh pengembang merek tersebut, tidak mendukung untuk digunakan dalam pengukuran getaran lengan.

Tabel 1 Perangkat jam tangan pintar yang dievaluasi

No	Perangkat	Sistem Operasi	Kemampuan untuk mengukur getaran tangan	Keterangan
1	Samsung Galaxy Watch 4	Android Wear OS 4	✓	Dengan aplikasi tambahan khusus
2	Fitbit Versa	Fitbit OS	✓	Dengan aplikasi tambahan khusus
3	Redmi Watch 3 Active	<i>Proprietary</i> OS	x	Sistem operasi tidak mendukung aplikasi tambahan

Oleh karena itu, dalam penelitian ini, Samsung Galaxy Watch 4 dikombinasikan dengan aplikasi khusus yang disediakan oleh Geospatial Technologies Research Group (Matey, 2024) diadaptasi untuk mengukur getaran tangan-lengan. Jam tangan pintar yang dipilih dapat melakukan pengukuran getaran tangan-lengan. Terdapat 10 pengukuran dengan masing-masing 200 data sampel. Gambar 3 menunjukkan salah satu data getaran yang direkam oleh jam tangan pintar saat tangan pekerja memegang gergaji tangan listrik. Sementara Tabel 2 memberikan hasil pengukuran yang dikumpulkan dari jam tangan pintar selama penggunaan gergaji tangan elektrik.



Gambar 3 Hasil pengukuran getaran tangan-lengan menggunakan jam tangan pintar

Tabel 2 Hasil percobaan pengukuran getaran tangan-lengan

Pengukuran ke-	Percepatan (m/s^2)
1	9,315269
2	9,563713
3	9,561372
4	10,02423
5	10,4344
6	10,38628
7	10,5737
8	10,62405
9	10,44997
10	10,10691

Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi jam tangan pintar tersebut mampu menangkap data percepatan triaksial dari akselerometer MEMS bawaan. Besarnya percepatan menurut Persamaan (1), yang merupakan salah satu parameter utama untuk penilaian getaran tangan-lengan, kemudian dapat dihitung. Dari 10 kali pengukuran, diperoleh amplitudo sebesar $20,98 m/s^2$, rata-rata $10,11 m/s^2$, dan deviasi standar $4,68\%$. Hasil tersebut menunjukkan penerapan jam tangan pintar sebagai alat penilaian paparan getaran yang baik, yang menunjukkan potensi penggunaannya dalam program pencegahan risiko kerja, terutama di wilayah dengan akses terbatas ke perangkat pengukuran getaran khusus. Hasil ini selaras dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa sistem wearable, termasuk jam

tangan pintar, dapat terus memantau paparan HAV dan menyediakan transmisi data dan peringatan secara real-time, sehingga meningkatkan keselamatan pekerja dan kepatuhan terhadap peraturan (Addabbo *et al.*, 2019; Sigcha *et al.*, 2018). Jam tangan pintar dapat mengukur HAV secara efektif tanpa memerlukan modifikasi pada perangkat atau lingkungan, sehingga praktis untuk aplikasi di dunia nyata (Laput *et al.*, 2016; Sigcha *et al.*, 2018).

Hasil studi menunjukkan potensi jam tangan pintar untuk digunakan sebagai alat yang hemat biaya dan mudah diakses untuk pemantauan paparan getaran, khususnya di wilayah berkembang dengan akses terbatas ke peralatan pengukuran khusus. Hal ini dapat berkontribusi pada program pencegahan risiko pekerjaan yang lebih kuat, yang memungkinkan identifikasi dan pengelolaan bahaya getaran tangan-lengan yang lebih baik dalam industri seperti pembuatan kapal. Namun, harus diakui juga bahwa akurasi dan presisi pengukuran getaran berbasis jam tangan pintar mungkin tidak setara dengan perangkat pengukuran getaran khusus, yang dapat menjadi perhatian untuk tujuan kepatuhan peraturan dan kompensasi pekerja. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi keterbatasan ini dan sepenuhnya membuka potensi jam tangan pintar sebagai alat penilaian paparan getaran yang andal dan tervalidasi (Sigcha *et al.*, 2018).

4.2 Tantangan penggunaan jam tangan pintar untuk pemantauan getaran

Meskipun jam tangan pintar menawarkan beberapa keuntungan, ada juga tantangan yang perlu diatasi saat menggunakannya untuk pemantauan getaran:

1. Akurasi dan Presisi: Jam tangan pintar mungkin tidak memberikan tingkat akurasi dan presisi yang sama seperti perangkat pengukur getaran khusus. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan akselerometer internal dan potensi gangguan lingkungan (Sigcha *et al.*, 2018);
2. Kalibrasi dan Penyesuaian: Memastikan akselerometer jam tangan pintar dikalibrasi dan disesuaikan dengan benar sangatlah penting. Hal ini melibatkan penghitungan faktor-faktor seperti suhu, kelembapan, dan variasi medan magnet, serta resolusi meter yang terbatas (Sigcha *et al.*, 2018);
3. Variasi Laju Pengambilan Sampel: Laju pengambilan sampel jam tangan pintar dapat menimbulkan kesalahan dari tremor anggota badan, yang memengaruhi keakuratan pengukuran getaran. Hal ini memerlukan pertimbangan dan koreksi yang cermat selama proses kalibrasi (Sigcha *et al.*, 2018);
4. Efek Lingkungan: Jam tangan pintar rentan terhadap faktor lingkungan seperti perubahan suhu dan kelembapan, yang dapat memengaruhi keakuratan pengukuran getaran. Selain itu, variasi medan magnet alat getar juga dapat memengaruhi hasil pembacaan (Sigcha *et al.*, 2018);
5. Biaya dan Keandalan: Meskipun jam tangan pintar hemat biaya, keandalannya dalam pemantauan getaran berkelanjutan menjadi perhatian. Jam tangan pintar mungkin tidak sehandal peralatan khusus, yang dapat menyebabkan hilangnya data atau ketidakakuratan seiring berjalannya waktu (Sigcha *et al.*, 2018);
6. Pelatihan dan Kepatuhan Pengguna: Memastikan bahwa pekerja menggunakan jam tangan pintar dengan benar dan konsisten merupakan suatu tantangan. Ini termasuk mendidik mereka tentang penggunaan perangkat yang tepat dan pentingnya pengumpulan data yang akurat (Ramezani *et al.*, 2023);
7. Integrasi dengan Sistem yang Ada: Jam tangan pintar perlu terintegrasi secara mulus dengan sistem K3 yang ada untuk menyediakan pemantauan yang komprehensif. Ini

termasuk kompatibilitas dengan perangkat yang dapat dikenakan dan sistem perangkat lunak lainnya (Hosseini *et al.*, 2023);

8. Interpretasi dan Validasi Data: Keakuratan dan keandalan algoritma yang digunakan dalam jam tangan pintar untuk pemantauan getaran sangatlah penting. Terdapat diskusi yang sedang berjalan tentang keandalan diagnosis jam tangan pintar, yang menekankan perlunya akurasi tinggi dalam mendeteksi perubahan status kesehatan (Hosseini *et al.*, 2023).

Mengatasi tantangan yang terkait dengan penggunaan jam tangan pintar untuk pemantauan getaran, seperti akurasi, kalibrasi, dampak lingkungan, dan integrasi dengan sistem yang ada, sangat penting untuk memastikan penggunaannya yang efektif dalam penerapan K3 di tempat kerja. Mengatasi keterbatasan ini akan membantu membuka potensi penuh jam tangan pintar sebagai alat yang andal, hemat biaya, dan mudah digunakan untuk penilaian dan pengelolaan paparan getaran berkelanjutan, yang pada akhirnya meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan pekerja. Lebih jauh lagi, kemajuan terkini dalam teknologi sensor dan analisis data telah menjelaskan perlunya mengatasi rintangan ini untuk sepenuhnya memanfaatkan kemampuan perangkat yang dapat dikenakan dalam aplikasi pemantauan kesehatan, memastikan bahwa perangkat tersebut memenuhi standar pengguna dan peraturan untuk akurasi dan keandalan.

4.3 Peluang penggunaan jam tangan pintar untuk pemantauan getaran

Jam tangan pintar menawarkan berbagai peluang untuk meningkatkan pemantauan getaran, khususnya dalam penerapan K3 di tempat kerja. Berikut adalah beberapa keuntungan utama yang menjadikannya alat yang menjanjikan untuk aplikasi ini:

1. Pemantauan *Real-Time*: Jam tangan pintar dapat terus memantau paparan getaran secara *real-time*, memberikan umpan balik langsung kepada pekerja. Hal ini penting untuk mencegah sindrom HAVS dan masalah kesehatan kerja lainnya (Zeng *et al.*, 2021);
2. Hemat Biaya: Memanfaatkan jam tangan pintar untuk memantau getaran lebih hemat biaya daripada metode tradisional, yang sering kali memerlukan peralatan mahal. Hal ini menjadikannya solusi yang lebih mudah diakses untuk banyak tempat kerja (Zeng *et al.*, 2021);
3. Kemudahan Penggunaan: Jam tangan pintar mudah digunakan, sehingga hanya memerlukan sedikit pelatihan bagi pekerja. Kemudahan penggunaan ini memastikan bahwa proses pemantauan tidak memberatkan, sehingga mendorong penggunaan yang konsisten dan pengumpulan data yang akurat (Zeng *et al.*, 2021);
4. Integrasi dengan Teknologi yang Ada: Jam tangan pintar dapat terintegrasi dengan sistem pelacakan kebugaran yang ada, memanfaatkan teknologi yang sama untuk menghitung durasi paparan dan tingkat getaran tangan-lengan. Kesamaan pendekatan ini mengurangi kebutuhan akan perangkat keras dan pelatihan tambahan (Zeng *et al.*, 2021);
5. Keselamatan yang Meningkat: Jam tangan pintar dapat memberi tahu pekerja saat mereka telah melampaui batas getaran yang aman, membantu mencegah masalah kesehatan jangka panjang. Selain itu, jam tangan pintar dapat memberi tahu pengawas

atau kontak darurat jika terjadi kecelakaan, meningkatkan keselamatan kerja secara keseluruhan di lokasi konstruksi (Nnaji *et al.*, 2021);

6. Pemantauan Kesehatan Komprehensif: Selain pemantauan getaran, jam tangan pintar dapat melacak indikator kesehatan lainnya seperti detak jantung, tingkat stres, dan aktivitas fisik. Pemantauan komprehensif ini membantu mengelola kesejahteraan pekerja secara lebih efektif (Nnaji *et al.*, 2021).

Peluang-peluang ini menyoroti potensi jam tangan pintar untuk merevolusi K3 dengan menyediakan solusi pemantauan getaran yang terus-menerus, akurat, dan mudah digunakan. Jam tangan pintar dapat memungkinkan pemantauan getaran secara *real-time*, hemat biaya, dan mudah diakses, memberdayakan pekerja dan pengusaha untuk secara proaktif mengelola paparan dan mencegah masalah kesehatan jangka panjang seperti sindrom getaran tangan-lengan. Integrasi jam tangan pintar dengan teknologi yang ada dan kemampuannya untuk menyediakan pemantauan kesehatan yang komprehensif semakin meningkatkan nilainya sebagai alat serbaguna untuk keselamatan dan kesejahteraan kerja.

5. Kesimpulan

Studi ini mengeksplorasi potensi penggunaan jam tangan pintar komersial, seperti Samsung Galaxy Watch 4, untuk mengukur getaran tangan-lengan dalam lingkungan kerja. Meskipun jam tangan pintar menawarkan keuntungan seperti efektivitas biaya dan kemudahan penggunaan, implementasi aktualnya menunjukkan keterbatasan dalam akurasi, penanganan data, dan penerapan di dunia nyata, yang saat ini membatasi kegunaannya dalam konteks kesehatan kerja. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi keterbatasan ini dan sepenuhnya membuka potensi jam tangan pintar sebagai alat penilaian paparan getaran. Untuk tujuan ini, studi mendatang harus berfokus pada peningkatan presisi dan keandalan sensor jam tangan pintar, pengembangan algoritma canggih untuk interpretasi data yang akurat, dan memastikan integrasi yang lancar dengan sistem keselamatan dan kesehatan kerja yang ada.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini didanai oleh hibah dari Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Temuan penelitian menunjukkan bahwa pemahaman yang menyeluruh tentang kendala teknis dan potensi peningkatan sangat penting untuk mengoptimalkan efektivitas jam tangan pintar dalam aplikasi kesehatan kerja, sehingga memerlukan penelitian berkelanjutan dalam domain yang terus berkembang ini. Apresiasi juga diberikan kepada UJI - Kelompok Penelitian Teknologi Geospasial karena menyediakan aplikasi jam tangan pintar dan telepon pintar yang digunakan untuk pengukuran getaran.

Daftar Pustaka

- Addabbo, T., Fort, A., Landi, E., Moretti, R., Mugnaini, M., Parri, L., & Vignoli, V. (2019). A wearable Low-cost Measurement System for Estimation of Human Exposure to Vibrations. *2019 IEEE 5th International Forum on Research and Technology for Society and Industry (RTSI)*, 442–446. <https://doi.org/10.1109/RTSI.2019.8895535>
- Ainsa, I., Gonzalez, D., Lizaranzu, M., & Bernad, C. (2011). Experimental evaluation of uncertainty in hand–arm vibration measurements. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *41*(2), 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.01.002>

- Awolusi, I., Marks, E., & Hallowell, M. (2018). Wearable technology for personalized construction safety monitoring and trending: Review of applicable devices. *Automation in Construction*, 85, 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.010>
- Clemm, T., Nordby, K.-C., Lunde, L.-K., Ulvestad, B., & Bråtveit, M. (2021). Hand-Arm Vibration Exposure in Rock Drill Workers: A Comparison between Measurements with Hand-Attached and Tool-Attached Accelerometers. *Annals of Work Exposures and Health*, 65(9), 1123–1132. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxab051>
- Dong, R., Wu, J., Xu, X., Welcome, D., & Krajnak, K. (2021). A Review of Hand–Arm Vibration Studies Conducted by US NIOSH since 2000. *Vibration*, 4(2), 482–528. <https://doi.org/10.3390/vibration4020030>
- Edwards, D. J., Martek, I., Ejohwomu, O., Aigbavboa, C., & Hosseini, M. R. (2021). Hand-arm vibration management: an operational health and safety strategy framework. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 39(5), 811–830. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-09-2020-0079>
- Forsell, K., Eriksson, H., Järholm, B., Lundh, M., Andersson, E., & Nilsson, R. (2017). Work environment and safety climate in the Swedish merchant fleet. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 90(2), 161–168. <https://doi.org/10.1007/s00420-016-1180-0>
- Hosseini, M. M., Hosseini, S. T. M., Karim, Q., Shahriar, H., & Tabar, S. S. S. (2023). Smartwatches in healthcare medicine: assistance and monitoring; a scoping review. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 23(1), 248. <https://doi.org/10.1186/s12911-023-02350-w>
- Jang, J.-Y., Kim, S., Park, S. K., Roh, J., Lee, T.-Y., & Youn, J. T. (2002). Quantitative Exposure Assessment for Shipyard Workers Exposed to Hand-Transmitted Vibration From a Variety of Vibration Tools. *AIHA Journal*, 63(3), 305–310. <https://doi.org/10.1080/15428110208984718>
- Krajnak, K. (2018). Health effects associated with occupational exposure to hand-arm or whole body vibration. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 21(5), 320–334. <https://doi.org/10.1080/10937404.2018.1557576>
- Laput, G., & Harrison, C. (2019). Sensing Fine-Grained Hand Activity with Smartwatches. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–13. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300568>
- Laput, G., Xiao, R., & Harrison, C. (2016). ViBand. *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, 321–333. <https://doi.org/10.1145/2984511.2984582>
- Matey, M. (2024, February 6). *WearOS Sensors*. <https://github.com/GeoTecINIT>. <https://github.com/GeoTecINIT/WearOSSensors>
- Minh, N. C., Dao, T. H., Tran, D. N., Huy, N. Q., Thu, N. T., & Tran, D. T. (2021). Evaluation of Smartphone and Smartwatch Accelerometer Data in Activity Classification. *2021 8th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS)*, 33–38. <https://doi.org/10.1109/NICS54270.2021.9701528>
- Nnaji, C., Awolusi, I., Park, J., & Albert, A. (2021). Wearable Sensing Devices: Towards the Development of a Personalized System for Construction Safety and Health Risk Mitigation. *Sensors*, 21(3), 682. <https://doi.org/10.3390/s21030682>
- Oh, J. (2022). Evaluation of hand-arm vibration (HAV) exposure levels among grounds maintenance workers: An observational human exposure measurement study. *Health Science Reports*, 5(4). <https://doi.org/10.1002/hsr2.731>
- Oh, J., Chen, N., & Boyd, C. (2023). Laboratory evaluation of occupational exposure to hand-arm vibration (HAV) during grounds maintenance equipment operations. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 30(2), 384–389. <https://doi.org/10.26444/aaem/162719>
- Pitts, P., & Brereton, P. (2016). The Development and Use of Tools to Support Workplace Hand-Arm Vibration Exposure Evaluation. *Acoustics Australia*, 44(1), 113–120. <https://doi.org/10.1007/s40857-016-0043-x>

- Praharsi, Y., Jami'in, M. A., Suhardjito, G., & Wee, H.-M. (2020). Modeling of an Industrial Ecosystem at Traditional Shipyards in Indonesia for the Sustainability of the Material Supply Chain. *2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IEEM45057.2020.9309750>
- Prasasti, N. R., & Hermawanto, D. (2020). A Proposed Method to Find Exciter's Maximum Acceleration Magnitude on Vibration Meter Calibration System. *Instrumentasi*, *44*(2), 103. <https://doi.org/10.31153/instrumentasi.v44i2.206>
- Pribadi, T. W., & Shinoda, T. (2020). Hand Motion Recognition of Shipyard Welder Using 9-DOF Inertial Measurement Unit and Multi Layer Perceptron Approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *557*(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/557/1/012009>
- Ramezani, R., Cao, M., Earthperson, A., & Naeim, A. (2023). Developing a Smartwatch-Based Healthcare Application: Notes to Consider. *Sensors*, *23*(15), 6652. <https://doi.org/10.3390/s23156652>
- Reactec Ltd. (2024). *Managing Workplace Hand-arm Vibration*. R-Link - HAVS. <https://www.reactec.com/products/r-link/havs/>
- Saeidnia, H., Esmaili, R., Babamiri, M., Pourtaghi, F., Hassanipour, S., & Pourtaghi, G. (2022). Effect of the level of manual performance disability caused by exposure to vibration among sailors working on sailing speed vessels. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *23*(1), 515. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05448-w>
- Safety and Health in Shipbuilding and Ship Repair, ILO Code of Practice (2019).
- Sekardhani, M., & Song, S. (2022). What Explains Smartwatch Adoption? A comparative study of South Korea and Indonesia. *Asia Marketing Journal*, *24*(2). <https://doi.org/10.53728/2765-6500.1590>
- Sigcha, L., Pavón, I., Arezes, P., Costa, N., De Arcas, G., & López, J. M. (2018). Occupational Risk Prevention through Smartwatches: Precision and Uncertainty Effects of the Built-In Accelerometer. *Sensors*, *18*(11), 3805. <https://doi.org/10.3390/s18113805>
- Zeng, Y., Wang, C., Chen, C.-C., Xiong, W.-P., Liu, Z., Huang, Y.-C., & Shen, C. (2021). Smart Device Monitoring System Based on Multi-type Inertial Sensor Machine Learning. *Sensors and Materials*, *33*(2), 693. <https://doi.org/10.18494/SAM.2021.3037>



Analisis Pengaruh Variasi *Filler* dan Kuat Arus Pengelasan *Dissimilar SM490YA* dengan *Cast Steel* terhadap Ketangguhan

Moh. Thoriq Wahyudi¹, Leonandra Eka V.¹, Wiwik Dwi Pratiwi^{2*}

¹Jurusan Teknik Bangunan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, ITS, Sukolilo, 60111, Indonesia

²Program Studi Magister Teknik Terapan Teknik Keselamatan dan Resiko Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, ITS, Sukolilo, 60111, Indonesia

Abstrak. *Dissimilar material welding* adalah proses penyambungan dua jenis logam yang berbeda. Penelitian ini mengkaji kegagalan sambungan berupa retak atau patah yang diduga disebabkan oleh penggunaan kuat arus yang tidak sesuai dan *filler metal* dengan kekuatan tarik yang lebih rendah daripada material dasar. Dua jenis *filler metal*, yaitu ER70S-6 dan ER80S-G, serta tiga variasi kuat arus, yaitu 100A, 175A, dan 250A, digunakan dalam penelitian ini. Uji yang dilakukan meliputi uji ketangguhan. Hasil penelitian menunjukkan nilai ketangguhan tertinggi sebesar 2,31 J/mm² pada daerah *weld metal* dengan filler ER80S-G dan arus 100A, serta nilai ketangguhan terendah sebesar 0,84 J/mm² pada daerah HAZ *Cast Steel* dengan filler ER70S-6 dan arus 250A. Dari hasil uji ketangguhan didapatkan kesimpulan bahwa dengan menggunakan filler ER80S-G menghasilkan nilai ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan ER70S-6 serta dengan semakin tinggi kuat arus yang digunakan maka nilai ketangguhan akan semakin menurun.

Katakunci: *Dissimilar Material Welding, Filler Metal, Kuat arus, Ketangguhan*

Abstract. *Dissimilar material welding is the process of joining two different types of metals. This study examines joint failures in the form of cracks or breaks that are thought to be caused by the use of inappropriate current strength and filler metal with lower tensile strength than the base material. Two types of filler metal, ER70S-6 and ER80S-G, and three variations of current strength, 100A, 175A and 250A, were used in this study. The tests conducted included toughness, hardness, and microstructure analysis. The results showed the highest toughness value of 2.31 J/mm² in the weld metal area with ER80S-G filler and 100A current, and the lowest toughness value of 0.84 J/mm² in the HAZ area of Cast Steel with ER70S-6 filler and 250A current. From the results of the toughness test, it is concluded that using ER80S-G filler produces a higher toughness value than ER70S-6 and the higher the current strength used, the toughness value will decrease.*

Keywords: *Dissimilar Material Welding, Filler Metal, Current Strength, Hardness*

Pendahuluan

Selama proses fabrikasi konstruksi *chassis truck* terdapat sebuah sambungan *fillet weld* yang menyambungkan hanger dengan sasis dan sambungan ini memiliki peranan penting karena menopang beban statis maupun dinamis yang tersebar ke seluruh struktur baja. Risiko kegagalan dalam proses pengelasan bisa mengakibatkan konsentrasi tegangan yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktural seperti penurunan kualitas pengelasan yang bisa menghasilkan cacat yang fatal seperti retak maupun patahnya sambungan. Oleh karena itu, setelah proses pengelasan selesai, perlu dilakukan inspeksi untuk memeriksa apakah ada cacat yang timbul setelah proses pengelasan.

Dalam studi kasus ini, ditemukan bahwa pengelasan yang terjadi dilakukan tanpa adanya parameter yang mengontrol serta pemilihan elektroda yang tidak sesuai. Pemilihan *filler metal* harus sesuai, agar pengelasan yang dihasilkan memiliki kualitas yang di harapkan. Salah satu syarat *filler metal* yang sesuai yaitu harus memiliki kekuatan tarik lebih besar atau minimal sama dengan base metal yang akan dilas. (AWS D1.1, 2020). Penggunaan arus pengelasan yang tinggi juga dapat berkontribusi dalam menyebabkan bentuk cacat las seperti kontur pada manik las menjadi tidak teratur dan cekung, terbentuknya lubang, serta hasil percikan las yang terlalu banyak. Penggunaan kuat arus yang terlalu kecil juga dapat menimbulkan cacat las berupa kontur manik las cembung dan peleburan yang kurang baik. Laju pelelehan yang berasal dari elektroda sangat bergantung besar kuat arus pengelasan, sehingga kontrol terhadap laju pelelehan dan kuat arus pengelasan tidak dapat dilakukan secara terpisah (Society, 2011).

Oleh karena itu, penentuan parameter las berupa kuat arus dan pemilihan elektroda yang tepat diperlukan untuk mengantisipasi adanya kegagalan sambungan las tersebut. Kuat arus memiliki pengaruh terhadap laju pelelehan elektroda, kedalaman penetrasi pada daerah las dan *base metal* (Lincoln, 1994).

Kuat arus las merupakan parameter yang dapat mempengaruhi penembusan (penetrasi) dan dan kecepatan pencairan. Semakin tinggi kuat arus las maka semakin besar penembusan dan kecepatan pencairan (Wirjosumarto dan Okumura, 2000) .Pada sebuah tempat pembuatan konstruksi transportasi berupa truk ditemukan ada sebuah permasalahan berupa terjadinya retak pada daerah *weld metal*, permasalahan retak yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Crack Pada Sambungan Hanger

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan adanya pemilihan *filler metal* yang sesuai atau sama dengan nilai kuat tarik material sehingga dapat mencegah retak serta penggunaan kuat arus yang sesuai agar dapat mengurangi terjadinya cacat pada hasil las. Maka dari itu, dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan variasi menggunakan variabel *filler metal* dan kuat arus untuk mengetahui sifat mekanis berupa ketangguhan melalui proses uji impak pada hasil proses pengelasan GMAW yang menggunakan material HSLA SM490YA dan *Hanger* truk yang berbahan dasar *Cast Steel*.

2. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yang mencakup studi literatur dan lapangan, pengumpulan data dan persiapan spesimen, proses pengelasan yang berjumlah enam spesimen, pembuatan spesimen uji, pengujian ketangguhan, analisis data, serta pembahasan dan kesimpulan. Untuk mempermudah para pembaca jurnal mengenali kodifikasi spesimen, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kodifikasi Spesimen Uji

<i>Filler Metal</i>	Kuat Arus (Ampere)	Kode	Posisi
ER70S-6	100	70A	1G
	175	70B	
	250	70C	
ER80S-G	100	80A	
	175	80B	
	250	80C	

Dalam penelitian ini, digunakan plat baja SM490YA dan *Cast Steel* dengan ketebalan 12 mm sebanyak 6 *joint*. Proses pengelasan dilakukan dengan mesin las GMAW dan *filler metal* yang digunakan adalah ER70S-6 dan ER80S-G dengan diameter 1.0 mm. Gas pelindung menggunakan CO₂ dengan kadar sebanyak 100%. Baja memiliki kemampuan pengerasan (*hardenability*) yang bervariasi, memungkinkan penyesuaian dengan sifat mekanik yang diinginkan (Troxell, 1998). Baja cor atau baja tuang adalah bahan yang serbaguna. Baja jenis ini memiliki berbagai macam sifat.

Dikarenakan sifatnya yang beragam baja cor dapat digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kemampuan las, ketahanan abrasi, kekuatan tinggi, ketangguhan, suhu tinggi dan ketahanan korosi merupakan hal penting. (Blair, 1990). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya terkait kegunaan baja cor, pada penelitian ini baja cor digunakan sebagai bahan dasar pada *spare part* berbentuk *hanger* dari merek YORK. Pada *manual book* untuk merek York yang berjudul “*YTE Suspension: Installation & Suspension*” menjelaskan bahwa jenis baja cor yang digunakan untuk pembuatan *hanger* truk ini merupakan baja cor BS3100:A2.

Pada standar BS3100:1991 menjelaskan bahwa BS3100:A2 termasuk ke dalam jenis *low alloy steel casting*. *Low alloy steel casting* merupakan baja cor atau baja tuang yang sering digunakan dikarenakan memiliki sifat yang mudah di tempa serta di las. Baja jenis ini sering digunakan untuk bagian pada gerbong kereta api, pompa dan katup, kendaraan berat seperti truk, konstruksi dan peralatan pada industri pertambangan, dan peralatan pada mesin pembangkit listrik. Penggunaan baja cor sebagai bahan dasar pembuatan *hanger* truk merupakan contoh bahwa baja cor merupakan material yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan penggunaan dan memiliki daya tahan yang tinggi sehingga cocok digunakan untuk

kegiatan industri maupun kegiatan transportasi yang berat. Baja cor yang digunakan pada sektor industri dan transportasi berat dituntut untuk memiliki sifat mekanis yang baik seperti keuletan, ketangguhan, dan sifat mampu yang baik agar mampu bertahan dengan kondisi lingkungan kerja yang sangat berat. Selain memiliki daya tahan tinggi, *low alloy steel casting* juga memiliki keunggulan lain yaitu berupa biaya yang terjangkau sehingga memudahkan perusahaan manufaktur transportasi kendaraan dan pemesan untuk mendapatkan suatu *spare part* berkualitas tinggi dengan harga yang terjangkau. Sifat mekanis dan komposisi BS3100:A2 dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3 berikut.

Tabel 2 Sifat Mekanik BS3100:A2

Yield Point (MPa) Min.	Tensile Strength (MPa) Min.	Elongation (%) Min.
260	490	18

Sumber: BS3100, 1991

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
0.35	0.60	1.0	0.050	0.050

Tabel 3 Komposisi Kimia BS3100:A2

Sumber: BS3100, 1991

Selain baja cor, material yang digunakan pada penelitian adalah baja karbon adalah salah satu bahan yang sering digunakan dalam pengelasan konstruksi dan penelitian eksperimental karena kemampuannya yang mudah dibentuk dan memiliki sifat las yang baik. Klasifikasi dan sifat baja karbon bergantung pada kadar karbon yang ada dalam material tersebut. Baja karbon rendah memiliki kadar karbon di bawah 0,30%, sedangkan baja karbon menengah memiliki kadar karbon antara 0,30% hingga 0,45%, dan baja karbon tinggi memiliki kadar karbon antara 0,45% hingga 1,70%. Semakin tinggi kadar karbon, kekuatan dan kekerasan material akan meningkat, tetapi elastisitasnya akan menurun.

Dalam penelitian ini, jenis baja karbon yang digunakan adalah SM490YA, yang mematuhi standar JIS G3106. Jenis baja karbon ini memiliki sifat las yang baik karena termasuk dalam kategori HSLA (*High Strength Low Alloy*) atau memiliki campuran karbon yang rendah. Baja ini sering digunakan dalam pembuatan konstruksi, karena memiliki kekuatan dan kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan baja karbon umumnya. Dalam penelitian ini, SM490YA digunakan untuk konstruksi sasis truk dan *dobler*. Sifat mekanis dan komposisi SM490YA dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5 berikut.

Tabel 4 Sifat Mekanik SM490YA

Yield Point (MPa) Min.	Tensile Strength (MPa) Min.	Elongation (%) Min.
365	490	19

Sumber: G3106:2004

Tabel 5 Komposisi Kimia (maks.) SM490YA

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
0.18	0.241	1.16	0.024	0.0087

Sumber: Gunung Raja paksi, 2023

Pada penelitian ini, proses las menggunakan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) dengan sambungan *V-groove butt joint* dalam posisi pengelasan 1G. Proses pengelasan menggunakan *shielding gas* CO₂ dengan tingkat aliran sebesar 10-15 L/min. Pemilihan prosedur proses las harus secara tepat sehingga menghasilkan kualitas sambungan yang baik.

Salah satu variabel yang perlu diperhatikan dalam proses las adalah kesesuaian arus las dengan elektroda yang digunakan, rekomendasi penggunaan kuat arus berdasarkan elektroda yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Penggunaan Kuat Arus Berdasarkan Diameter Elektroda

Las MIG	
Diameter Kawat Las (mm)	Kuat Arus (Amp.)
0,8	10 – 100
1,0	70 – 180
1,2	110 – 230
1,6	150 – 330
2,4	250 – 500

Sumber: Wiryosumarto dan Okumura, 2000

America Welding Society (AWS) D1.1:2020 menjelaskan bahwa *filler metal* merupakan paduan yang digunakan untuk menyambungkan material pada saat proses las, *brazing*, ataupun saat penyolderan. *Filler metal* yang tepat adalah yang memiliki kekuatan tarik melebihi nilai kuat tarik pada material yang dilas, pada latar belakang telah dijelaskan bahwa penggunaan *filler metal* di lapangan tidak memenuhi syarat dikarenakan memiliki nilai kuat tarik yang lebih rendah dibandingkan material yang digunakan. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja cor yang berasal dari *spare part* truk berbentuk hanger yang memiliki jenis yaitu baja cor karbon rendah tipe BS3100:A2. Sementara baja karbon yang digunakan adalah SM490YA. Perbedaan nilai kuat tarik antara *filler metal* ER70S-6, baja cor, dan SM490YA dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Penggunaan Nilai Kuat Tarik

AWS Class	<i>Tensile Strength, min</i>	<i>Elongation min.</i> (%)
	MPa	
ER70S-6	480	22
Baja Cor merek YORK (BS3100:A2)	490	18
SM490YA	490	19 – 21

Salah satu syarat *filler metal* yang sesuai yaitu harus memiliki kekuatan tarik lebih besar atau minimal sama dengan base metal yang akan dilas. Apabila menggunakan *filler metal* yang memiliki kekuatan tarik dibawah kekuatan material, maka dapat menyebabkan menurunnya kekuatan sambungan sehingga dapat menyebabkan sambungan mengalami

crack yang dapat berujung pada patahnya suatu sambungan pengelasan. Dapat dilihat pada Tabel 6 diatas bahwa nilai kuat tarik *filler metal* yang digunakan pada proses pengelasan dilapangan dibawah nilai kuat tarik material, maka dari itu pada penelitian ini penulis menggunakan *filler metal* dengan kelas yang lebih tinggi untuk meningkatkan kualitas sambungan. Pada penelitian ini penulis menggunakan kawat las ER80S-G sebagai pembanding ER70S-6. Data *mechanical properties* ER70S-6 dan ER80S-G dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Sifat Mekanik *Filler metal ER70S-6 dan ER80S-G*

AWS Class	<i>Tensile Strength,</i> <i>min</i>	<i>Elongation min.</i> (%)
	MPa	
ER70S-6	480	22
ER80S-G	550	<i>Not Specified</i>

Sumber: AWS A5.18, 2005 dan AWS A5.28, 2005

3. Metode

Proses yang dilakukan dalam proses pengelasan GMAW pada penelitian ini adalah :

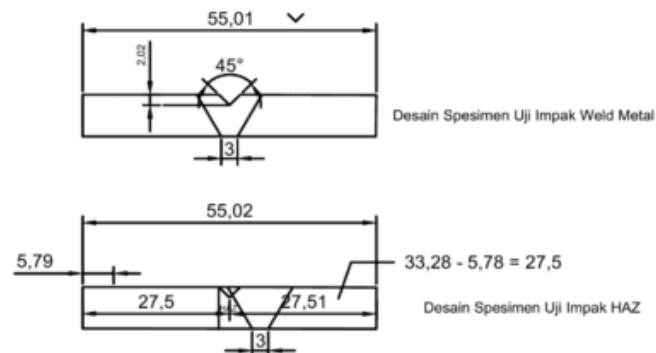
1. Menyiapkan material untuk pembuatan spesimen pengujian. Material yang digunakan adalah *cast steel hanger*, dipotong dengan ukuran 150x238 mm sejumlah 3 buah dan SM490YA ukuran 200x250 sejumlah 3 buah.
2. Kemudian melakukan proses gerinda untuk menghaluskan dan mempersiapkan material sebelum dilakukan proses pengelasan.
3. Melakukan pembersihan dan pemberian tanda pada material menggunakan *marker* agar spesimen yang akan di las tidak tertukar.
4. Melakukan persiapan alat untuk proses las GMAW.
5. Melakukan *joint fit up* sebelum melakukan proses pengelasan material.
6. Melaksanakan proses pengelasan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan dapat dilihat pada Tabel 1.
7. Setelah proses pengelasan telah selesai dilaksanakan maka melakukan pembersihan pada material yang telah di las.

Adapun Parameter pengelasan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Parameter pengelasan

Spesimen	Amp (A)	Voltage (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (J/mm)
70A	96-119	21-28	110-187	898-1709
70B	165-177	22-25	145-160	1394-1747
70C	242-257	23-26	173-252	1561-2292
80A	91-115	19-24	94-167	808-1700
80B	165-185	19-22	134-167	1245-1831
80C	241-253	26-27	228-351	1103-1808

Pada tabel diatas terlihat penggunaan kuat arus 100A, 175A, dan 250A memberikan pengaruh terhadap masukan panas. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan kuat arus saat proses las perlu dikontrol agar menghasilkan kualitas hasil las baik dan menghindari adanya cacat pengelasan yang tidak diinginkan. Pengujian untuk mengetahui ketangguhan sambungan maka dilakukan pengujian impak dengan metode *charpy V-notch* (CVN) adalah teknik yang sering digunakan. Pada uji impak digunakan spesimen uji bertakik yang akan dihantam dengan sebuah pendulum. Pada teknik *izod*, spesimen dijepit pada satu ujung hingga posisi takik berada didekat penjepit. Pendulum diayunkan dari ketinggian tertentu yang akan menghantam ujung spesimen yang tidak dijepit dari bagian depan takik. Pada metode *charpy*, spesimen uji diletakkan dengan posisi mendatar yang kedua ujungnya ditahan, pendulum akan memukul spesimen uji dari belakang takik. Pengujian impak dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengujian Impak

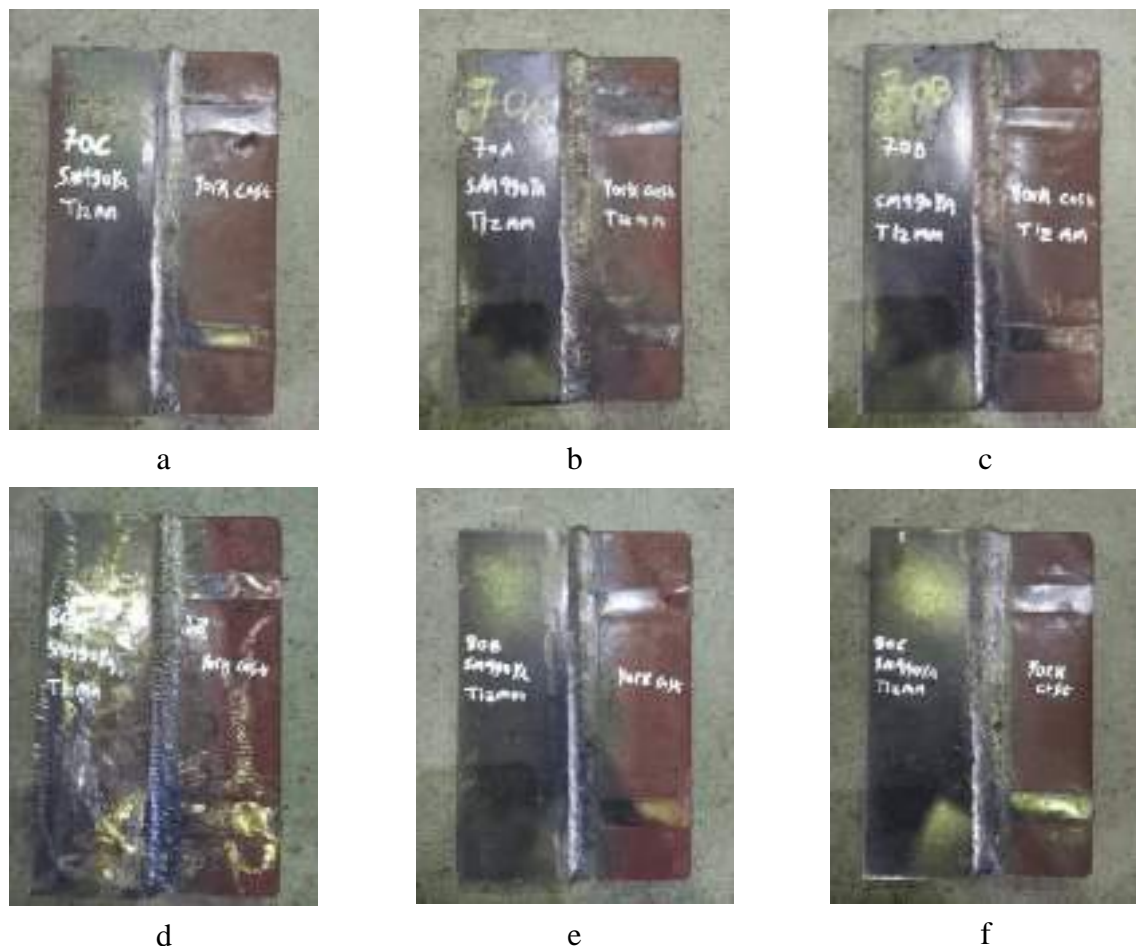
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian

3.1.1. Hasil Uji Visual

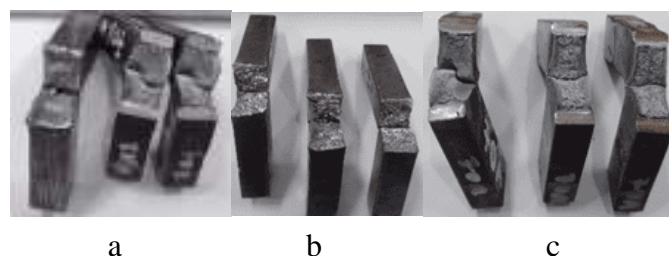
Pada penelitian ini dilakukan pengujian visual pada setiap sambungan setelah proses pengelasan selesai dilakukan. Hasil pengujian visual dari masing-masing sambungan dapat dilihat pada Gambar 3.

Analisis Pengaruh Variasi Filler dan Kuat Arus Pengelasan Dissimilar SM490YA dengan Cast Steel terhadap Ketangguhan dan Struktur Mikro

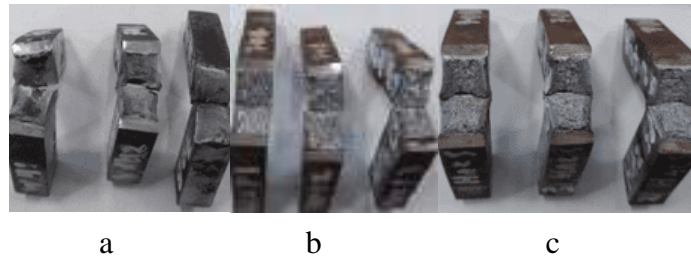


Gambar 3. Hasil Pengujian Visual

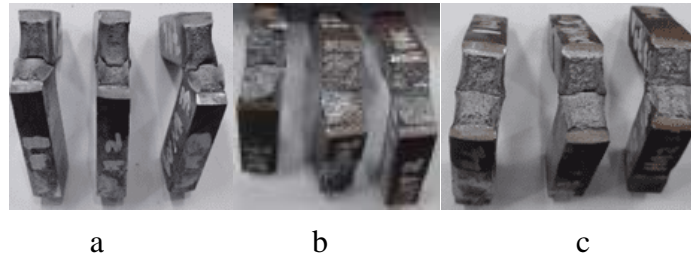
Pengujian impak dilakukan dengan metode *charpy v-notch*. Spesimen impak diambil dari daerah *weld metal* sejumlah 3 spesimen pada setiap sambungan, lalu 3 spesimen pada daerah HAZ SM490YA, dan 3 spesimen HAZ *cast steel*. Pada setiap daerah sambungan diberi 3 kali pengambilan uji impak bertujuan agar bisa mendapatkan data uji impak lebih banyak serta nilai rata-rata yang lebih baik. Pengujian impak dilakukan pada suhu ruangan (27,5°C). Hasil pengujian patahan impak dapat dilihat pada Gambar 4-9.



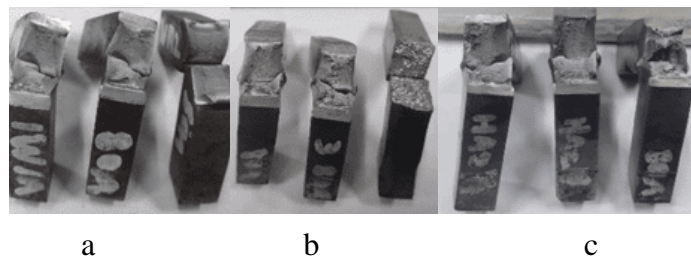
Gambar 4. Patahan spesimen hasil uji impak kodifikasi 70A. (a.) *weld metal*, (b) HAZ *cast steel*, (c) HAZ SM490YA



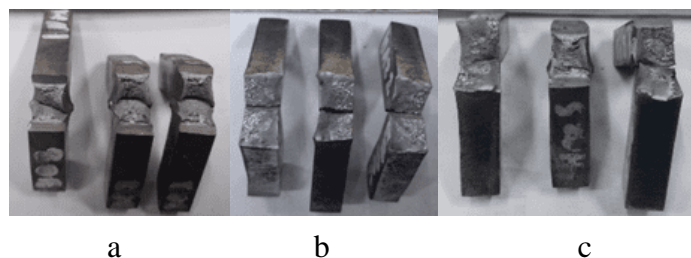
Gambar 5. patahan spesimen hasil uji impak kodifikasi 70B. (a.) *weld metal*, (b) *HAZ cast steel*, (c) *HAZ SM490YA*



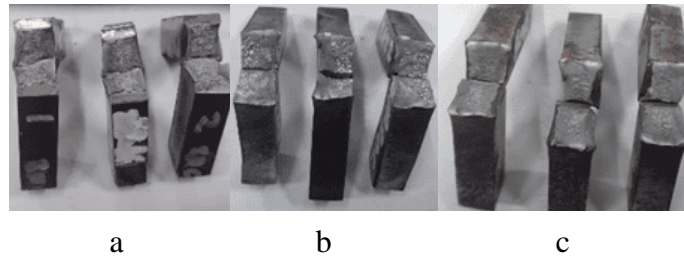
Gambar 6. patahan spesimen hasil uji impak kodifikasi 70C. (a.) *weld metal*, (b) *HAZ cast steel*, (c) *HAZ SM490YA*



Gambar 7. patahan spesimen hasil uji impak kodifikasi 80A. (a.) *weld metal*, (b) *HAZ cast steel*, (c) *HAZ SM490YA*



Gambar 8. patahan spesimen hasil uji impak kodifikasi 80B. (a.) *weld metal*, (b) *HAZ cast steel*, (c) *HAZ SM490YA*



Gambar 9. patahan spesimen hasil uji impact kodifikasi 80C. (a.) *weld metal*, (b) *HAZ cast steel*, (c) *HAZ SM490YA*.

3.1.2. Hasil Uji Impact

Selanjutnya setelah melakukan pencatatan hasil uji impact beserta dokumentasi patahan, dilakukan perhitungan *E teorit*, *impact strength* beserta rata ratanya. Adapun data-data perhitungan uji impact dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Perhitungan Uji Impact

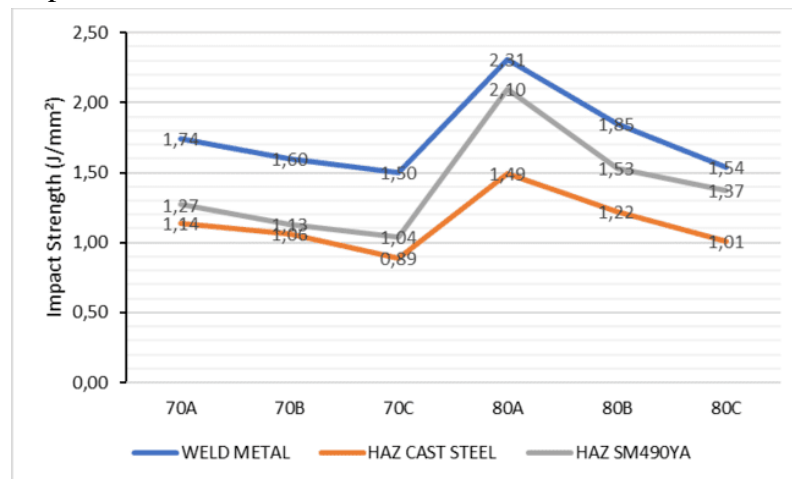
<i>N0</i>	<i>Spesimen</i>	<i>Type of Notch</i>	<i>Location of Notch</i>	<i>Temp (°C)</i>	<i>Angle β(°)</i>	<i>E impact (J)</i>	<i>E Theorit. (J)</i>	<i>Strength (J/mm²)</i>	<i>Rata-rata (J/mm²)</i>
70A	WM1	V	<i>Weld</i>	27,5	66	104	104,14	1,75	1,74
	WM2	V	<i>Weld</i>	27,5	64	107	106,58	1,80	
	WM3	V	<i>Weld</i>	27,5	70	99	99,14	1,68	
	HAZ CS1	V	<i>HAZ</i>	27,5	92	70,5	70,04	1,15	1,14
	HAZ CS2	V	<i>HAZ</i>	27,5	93	69	68,70	1,14	
	HAZ CS3	V	<i>HAZ</i>	27,5	93	69	68,70	1,12	
	HAZ SM1	V	<i>HAZ</i>	27,5	86	78	78,12	1,29	1,27
	HAZ SM2	V	<i>HAZ</i>	27,5	87	77	76,78	1,28	
HAZ SM3	V	<i>HAZ</i>	27,5	88	75	75,43	1,24		
70B	WM1	V	<i>Weld</i>	27,5	69	99,8	100,40	1,68	1,60
	WM2	V	<i>Weld</i>	27,5	73	94,2	95,31	1,57	
	WM3	V	<i>Weld</i>	27,5	75	93	92,72	1,54	
	HAZ CS1	V	<i>HAZ</i>	27,5	97	63,2	63,33	1,04	1,06
	HAZ CS2	V	<i>HAZ</i>	27,5	96	64	64,67	1,05	
	HAZ CS3	V	<i>HAZ</i>	27,5	93	68	68,70	1,10	
	HAZ SM1	V	<i>HAZ</i>	27,5	92	70	70,04	1,16	1,13
	HAZ SM2	V	<i>HAZ</i>	27,5	92	69	70,04	1,12	
	HAZ SM3	V	<i>HAZ</i>	27,5	93	68	68,70	1,12	

Analisis Pengaruh Variasi Filler dan Kuat Arus Pengelasan Dissimilar SM490YA dengan Cast Steel terhadap Ketangguhan dan Struktur Mikro

70C	WM1	V	Weld	27,5	82	83,2	83,48	1,39	1,50
	WM2	V	Weld	27,5	77	89,5	90,10	1,46	
	WM3	V	Weld	27,5	82	83	83,48	1,36	
	HAZ CS1	V	HAZ	27,5	105	52	52,75	0,84	0,89
	HAZ CS2	V	HAZ	27,5	101	58	58,00	0,96	
	HAZ CS3	V	HAZ	27,5	104	54	54,06	0,87	
	HAZ SM1	V	HAZ	27,5	96	65	64,67	1,03	1,04
	HAZ SM2	V	HAZ	27,5	96	64,2	64,67	1,04	
	HAZ SM3	V	HAZ	27,5	96	64,5	68,70	1,05	
80A	WM1	V	Weld	27,5	9	149	148,98	2,45	2,31
	WM2	V	Weld	27,5	37	134,8	134,39	2,23	
	WM3	V	Weld	27,5	37	134,9	134,39	2,25	
	HAZ CS1	V	HAZ	27,5	74	93,2	94,01	1,53	1,49
	HAZ CS2	V	HAZ	27,5	79	87	87,47	1,43	
	HAZ CS3	V	HAZ	27,5	77	89	90,10	1,51	
	HAZ SM1	V	HAZ	27,5	43	129	129,20	2,14	2,10
	HAZ SM2	V	HAZ	27,5	42	130	130,11	2,14	
	HAZ SM3	V	HAZ	27,5	50	122	122,36	2,01	
80B	WM1	V	Weld	27,5	60	110,8	11,34	1,82	1,85
	WM2	V	Weld	27,5	56	116	115,91	1,88	
	WM3	V	Weld	27,5	58	113	113,65	1,84	
	HAZ CS1	V	HAZ	27,5	86	78	78,12	1,29	1,22
	HAZ CS2	V	HAZ	27,5	91	71	71,39	1,16	
	HAZ CS3	V	HAZ	27,5	90	72,9	72,74	1,21	
	HAZ SM1	V	HAZ	27,5	72	96	96,59	1,58	1,53
	HAZ SM2	V	HAZ	27,5	74	94	94,01	1,55	
	HAZ SM3	V	HAZ	27,5	76	91	91,41	1,47	
80C	WM1	V	Weld	27,5	75	92	92,72	1,54	1,54
	WM2	V	Weld	27,5	72	96,8	96,59	1,58	
	WM3	V	Weld	27,5	75	92	92,72	1,49	
	HAZ CS1	V	HAZ	27,5	97	63,5	63,33	1,02	
	HAZ CS2	V	HAZ	27,5	100	59	59,33	0,99	

	HAZ CS3	V	HAZ	27,5	98	62	61,99	1,03	1,01
	HAZ SM1	V	HAZ	27,5	80	86,2	86,14	1,38	1,37
	HAZ SM2	V	HAZ	27,5	82	83	83,48	1,37	
	HAZ SM3	V	HAZ	27,5	83	81,5	82,14	1,35	

Selanjutnya, adapun grafik *impact strength* dari hasil pengujian ketangguhan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Nilai Hasil Uji Impak

Berdasarkan grafik pada Gambar 10 pemaparan data hasil uji impak spesimen kode “70” dan “80” yang telah disampaikan, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan rata rata nilai uji impak pada setiap spesimen. Dalam hal ini, spesimen *weld metal* memiliki nilai rata rata uji impak terbesar, lalu diikuti oleh rata rata nilai uji impak HAZ SM490YA serta spesimen yang memiliki rata rata nilai uji impak yang terendah adalah spesimen HAZ *cast steel*. Pada Gambar 4-9 terlihat bahwa patahan pada semua spesimen daerah weld metal menunjukkan bahwa hasil patahan berupa patahan ulet (*ductile*), pada daerah HAZ SM490YA menunjukkan bahwa patahan di daerah ini bersifat dominan ulet, sementara pada hasil uji impak di daerah HAZ *cast steel* terlihat bahwa patahan yang terjadi bersifat getas (*brittle*). Grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan meningkatnya kuat arus maka nilai ketangguhan sambungan las semakin menurun. Pada grafik tersebut terlihat penurunan nilai ketangguhan pada setiap spesimen (daerah) dengan semakin meningkatnya kuat arus.

Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah arus Busur listrik (*Ampere*) makin tinggi hasil uji impaknya, begitu juga sebaliknya semakin tinggi arus busur listrik (*Ampere*) semakin rendah hasil uji impaknya (Bilal, 2021). Penurunan nilai hasil uji impak seiring dengan peningkatan kuat arus pengelasan pada proses pengelasan material. Hal ini sejalan dengan penelitian (Budi Priyono et al, 2021). Masuknya panas yang meningkat seiring dengan kuat arus yang digunakan saat pengelasan dapat menurunkan nilai ketangguhan pada material. Hal ini sejalan dengan penelitian (Huda Kholif, 2021) menyatakan masuknya panas yang meningkat, dapat menurunkan keuletan sehingga nilai ketangguhan akan semakin rendah, sehingga dari hasil penelitian didapatkan nilai ketangguhan menurun seiring dengan peningkatan kuat arus yang digunakan dalam pengelasan.

Jadi semakin tinggi arus yang digunakan maka nilai ketangguhan yang diperoleh semakin rendah (Agung Cahyo Saputro, 2024) Pengaruh panas semakin meningkat sesuai dengan kuat arus yang diterima oleh material hasil las dapat menurunkan nilai kekuatan impak, hal ini sejalan dengan penelitian (Erika Efendi, 2022) menyatakan dengan pengaruh panas yang semakin meningkat seiring besarnya kuat arus yang diterima oleh material hasil las maka berpengaruh pada struktur material yang dilas sehingga membuat ketangguhan berbeda setiap spesimen nya. Dilihat dari hasil yang ditemukan bahwa baja karbon yang dilas dengan arus yang lebih rendah maka hasil impaknya lebih besar dan baja karbon yang diberi arus pengelasan yang lebih besar terjadi penurunan nilai impaknya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan terhadap hasil perbandingan *filler metal* dan kuat arus pada pengelasan GMAW *dissimilar material* SM490YA dengan *Cast Steel* terhadap ketangguhan dapat ditarik kesimpulan yaitu spesimen dengan kuat arus 100A menghasilkan nilai uji impak yang terbesar, hal ini disebabkan karena memiliki masukan panas las yang paling rendah sehingga menghasilkan sifat mekanis yang paling tangguh dibandingkan kuat arus 175A dan 250A. Nilai uji impak yang dihasilkan dari spesimen pada daerah weld metal lebih besar dibandingkan pada daerah HAZ, hal ini terjadi karena laju pendinginan pada daerah weld metal lebih cepat dibandingkan pada daerah HAZ. Semakin lambat laju pendinginan maka ketangguhan akan semakin menurun dan begitu pula sebaliknya. Dari hasil uji ketangguhan didapatkan kesimpulan bahwa dengan menggunakan filler ER80S-G menghasilkan nilai ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan ER70S-6 serta dengan semakin tinggi kuat arus yang digunakan maka nilai ketangguhan akan semakin menurun.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas dukungan dana DIPA PPNS tahun 2024 yang telah berkontribusi dan membantu untuk menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- A5.18, A. (2005). *Specification for Carbon Steel Electrodes and Rod for Gas Shielding Arc Welding*.
- Bilal, N. (2021). Pengaruh Variasi Arus Busur Listrik Pengelasan Gmaw Terhadap Kekuatan Impak Pada Baja Karbon Rendah. *Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung*, 1-38.
- Budi Priyono, Irzal, Hendri Nurdin dan Primawati. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Metal Inert Gas (Mig) Terhadap Ketangguhan Material Sambungan Las Pada Baja St 37. *VOMEX*. 3(3), 8-14.
- Callister Jr, & William, D. (2017). *Materials Science and Engineering an Introduction 10 th Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Company, T. L. (1994). *The Procedure Handbook of Arc Welding 13th Edition*. Cleaveland.
- Company, T. L. (n.d.). *GMAW : Product and Procedure Selection*. Cleveland: USA.
- D1.1D1.M, A. (2020). *Structural Code-Steel*. Danvers: American Welding Society.
- E18-15, A. S. (n.d.). *A For Rockwell Hardness Of Metallic Materials*. America.
- Erika Afandi. (2022). Analisa Pengaruh Kuat Arus Pengelasan Smaw Terhadap kekuatan Uji

- Impak Pada Sambungan baja Karbon St 42. VOMEK. 4(1), 58-64.
- ESAB. (2020). *Welding Filler Metal Handbook*. Asia-Pasific.
- Electric, M. (2018). *Guidllines for GMAW*. USA: Miller Electric Mfg.
- Equipment, Y. T. (2008). *Suspension : Installation & Maintenance*. Singapore.
- G3106, J. (2004). *IS Handbook Ferrous Materials & Metallurgy I*. Japan: Japanese Standards Associations.
- Glownia, J. (2017). *Metallurgy and Technology of Steel Castings*. Poland: AGH-University of Science and Technology, Cracow.
- Hultquist, G., & Leygraf, C. (1980). Materials Science and Eng. *Materials Science and Engineering: A*, 42(1), 181.
- Malcolm, B., & Thomas, L. (1995). *Steel Casting Handbook Sixth Edition*. Steel Founders Society of America and ASM Internasional.
- M. Munir, ST., M., M. Thoriq Wahyudi, ST., M., Hendri Budi Kurniyanto, S.ST., M., & Dika Anggara, S.ST., M. (2019). *Modul Praktik DT NDT* (Issue April). <http://eprints.stikes-aisyiyah.ac.id/773/1/28>. Modul Praktik Komunitas.pdf
- Mohamat, S. A., Ibrahim, I. A., Amir, A., & Ghalib, A. (2012). The effect of flux core arc welding (FCAW) processes on different parameters. *Procedia Engineering*, 41, 1497-1501
- Mimmi, H. (2015). *Feasibility Study for a Cast Steel Guidline*. Master of Science Thesis Stockhlom.
- Prahastho, N. A. (2019). *Pengaruh ampere dan diameter elektroda kawat ER70S-G KC26 pada Gas Metal Arc Welding (GMAW) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan las JIS G3101 SS400 sebagai aplikasi arm excavator di PT. X* (Skripsi Sarjana, Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya).
- Padli , F., Riswanda, & Harlian, K. (2021). Pengaruh Variasi terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las GMAW Material Tidak Sejenis ASS 304L dengan AISI 1015. *Politeknik Negeri Bandung*, 1-6.
- Suharno, S., & Estriyanto, Y. (2018). Pengaruh Variasi Besar Sudut Kampuh V Tunggal Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Kekuatan Tarik Material Baja SS400 Dengan Metode Pengelasan SMAW. *NOZEL Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 1(4), 301-311.
- Rahman, H. K., & Sunyoto. (2021). Pengaruh arus SMAW terhadap kekuatan tarik dan dampak baja konstruksi IWF JIS G3101 SS400. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 6(1), 35-45.
- Saputro, A. C. (2024.). Analisis variasi arus pengelasan MIG pada baja ST 37 terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan. S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Society, I. W. (2011). *Handbook Teknologi Pengelasan*. Asosiasi Pengelasan Indonesia.
- Steel, K. (2014). *Kobelco Welding Handbook*. Kobe Steel LTD.
- Welding, H. (2019). *Hyundai Welding Consumable*. Seoul: Hyundai Welding CO LTD.
- Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam. Cetakan kedelapan*. Jakarta: Pradnya Paramita.



Analisis Kuat Arus *Dissimilar Welding* Terhadap Metalografi, Nilai Kekerasan dan Uji Torsi Proses *Arc Stud Welding* Pada Produk Hopper

Moh. Syaiful Amri^{1*}, Mukhlis¹, Bachtiar¹, Muhammad Ari¹, Faiz Hamzah¹, Alvalo Toto Wibowo¹, Annas Dwi Isworo¹, Irgi Firmansyah¹

¹*Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, ITS, Sukolilo, 60111, Indonesia*

Abstrak. Industri manufaktur memainkan peran penting dalam meningkatkan perekonomian nasional. Salah satu metode penyambungan logam yang saat ini digunakan adalah pengelasan arc stud welding. Pengelasan stud sendiri digunakan untuk pengelasan baut yang berguna untuk menyambung bagian pada suatu konstruksi baja. Penelitian ini dilakukan dengan variasi parameter kuat arus 200A, 400A, dan 600A dengan waktu pengelasan 1 detik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan parameter terbaik untuk mengetahui kedalaman penetrasi, heat affected zone dan zona fusi sambungan pengelasan pada material A36, tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan parameter yang ideal. Hasil pengujian makro menunjukkan bahwa tidak ada cacat seperti retak pada dasar logam, HAZ atau weld metal, atau cacat lainnya seperti persyaratan penerimaan ASME sec. IX. Selain itu, karena tidak ada masukan panas yang maksimal pada area dasar logam A36 dan SS 304, hasil pengujian mikro tidak menunjukkan perubahan yang cukup signifikan. Pada pengujian hardness daerah weld metal memperoleh nilai tertinggi, dengan nilai rata-rata terendah 192,85 HVN pada spesimen stud 1, dan nilai rata-rata tertinggi pada spesimen stud 3 adalah 201,59 HVN. Pada pengujian torsi menunjukan bahwa variasi kuat arus dan waktu pengelasan mempengaruhi besar nilainya uji torsi, pada spesimen 9 menunjukan mencapai kekuatan hingga 80 Nm.

Katakunci: Arc Stud Weld, kuat arus, Metalografi, Nilai kekerasan, Uji Torsi.

Abstract. The manufacturing industry plays an important role in improving the national economy. One of the metal joining methods currently used is arc stud welding. Stud welding is used for welding bolts which are useful for connecting parts in a steel construction. This research was conducted with variations in current strength parameters of 200A, 400A, and 600A with welding times of 1 second. The purpose of this research is to find the best parameters to determine the depth of penetration, heat affected zone and fusion zone of welding joints in A36 material, the purpose of this research is to find the ideal parameters. Macro testing results show that there are no defects such as cracks in the base metal, HAZ or weld metal, or other defects such as ASME sec. IX acceptance requirements. In addition, since there was no maximum heat input in the base metal areas of A36 and SS 304, the micro test results did not show significant changes. In the hardness test, the weld metal region obtained the highest value, with the lowest average value of 192.85 HVN in stud 1 specimen, and the highest average value in stud 3 specimen was 201,59 HVN. The torque test shows that variations in current strength and welding time affect the value of the torque test, in specimen 3 shows reaching a strength of up to 80 Nm.

Keywords: Arc Stud Welding, Current Strength, Hardness Test, Metalography test, Torque Test

Pendahuluan

Pada suatu Perusahaan yang bergerak dalam bidang *fabrication, engineering, pembangunan pabrik yang mencakup (civil, structure, piping, metal duct, dan instrument)*, serta pekerjaan *commissioning* mendapatkan proyek pembangunan *hopper*. Dimana dalam pembangunannya, ada beberapa metode pengelasan yang dipakai untuk penyambungan logam salah satunya adalah *Arc Stud Welding (ASW)*. *Arc Stud Welding* sendiri digunakan untuk pengelasan baut pondasi yang berguna untuk menyambung bagian suatu konstruksi baja. *Arc Stud Welding* sendiri terbagi menjadi dua macam yaitu *Capasitor Discharge Stud Welding* dan *Arc Stud Welding*. Proses Pengelasan ini tidak menggunakan bahan tambahan atau elektroda. Pengelasan berdasarkan klasifikasi cara kerja dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekanan dan pematrian. Pengelasan tekanan adalah salah satu cara dimana kedua benda kerja yang akan disambung itu dipanaskan dengan menggunakan las stud jenis *Arc Stud Welding*. Proses pengelasan *Arc Stud Welding* sendiri melibatkan penggunaan busur listrik untuk menyambungkan pengikat ke logam dasar (Mezher, 2022). Prosesnya hanya sepersekian detik.

Pada proyek pembangunan *hopper* tersebut menggunakan material baja A36. Pada standart ASTM, A36 menetapkan spesifikasi untuk baja karbon struktural yang digunakan dalam struktur terpasang, dibaut, dan dilas untuk jembatan, konstruksi serta bagian baja karbon. Untuk baut yang di las di baja A36 menggunakan material stainless steel type 304, yang merupakan material yang berbeda dengan material hoppernya, sehingga ada sambungan las dissimilar. Hasil dari pengelasan *Arc Stud Welding* setelah dilakukan visual test ditemukan beberapa hasil pengelasan yang tidak fusi diakibatkan oleh arus pengelasan yang tidak sesuai dapat mempengaruhi kualitas hasil pengelasan (Khotasa, 2016).

Pada penelitian ini, peneliti melakukan Analisis kuat arus terhadap sambungan dissimilar pada pengelasan *stud welding* terhadap struktur makro, mikro, nilai kekerasan dan kuat torsi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Arc Stud Welding

Arc Stud Welding (ASW) adalah prosedur perakitan yang secara konsisten digunakan untuk melebur dan menyambung stud ke lembaran atau plat dengan berbagai logam dan ketebalan, di mana panas dipindahkan antara *stud* dan pelat (Mezher, 2022). *Arc welding stud* melibatkan prinsip - prinsip dasar yang sama dan aspek metalurgi sebagai prosedur las busur lainnya. *stud* di masukkan ke *hand gun* atau pistol las dengan jarak yang pendek dari logam dasar dan memulai busur listrik yang dikendalikan dari sumber listrik yang akhirnya mencair. *Ferrule* keramik yang berisi logam cair di dorong otomatis dan las berkualitas tinggi fusi telah di dapat. *Arc stud welding* umumnya digunakan untuk mengelas *stud* yang diameter yang lebih besar untuk logam dasar tebal. *Arc stud welding* memiliki banyak model atau desain. Baja ringan, *stainless steel*, dan aluminium adalah bahan berlaku untuk pengelasan *arc stud welding*.

2.2 Kuat Arus

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu

rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi - rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi. Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan (Khotasa, 2016). Penggunaan variasi arus yang berbeda pada proses pengelasan menghasilkan sifat mekanik yang berbeda- beda (Caron, 2016). Pengaruh dari kuat arus juga berpengaruh pada kualitas pengelasan, kuat arus yang tepat memastikan bahwa logam pengisi dan logam dasar mencair dengan baik, membentuk sambungan yang kuat dan berkualitas. Arus yang terlalu rendah bisa menyebabkan pengelasan yang tidak merata, sedangkan arus yang terlalu tinggi bisa mengakibatkan *overheat* dan kerusakan. Dampak dari kuat arus yang tepat juga mempengaruhi karakteristik pengelasan seperti penampilan, penetrasi, dan kecepatan pengelasan. Menjaga kuat arus pada tingkat yang sesuai adalah kunci untuk proses pengelasan yang efektif dan aman.

3. Metode

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa metode pengelasan *arc stud welding* sebagai metode pengelasan dengan menggunakan material A36 dan *stud bolt* SS 304. Adapun variasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menggunakan kuat arus dan waktu pengelasan.

Komposisi kimia pada material A36 dan SS 304 seperti ditunjukkan pada tabel 1 dan 2 berikut:

Tabel 1. Komposisi kimia material A36

No	Unsur Paduan	Komposisi
1	<i>Carbon</i>	0.25
2	<i>manganese</i>	1.20
3	<i>Phosphorus</i>	0.40
4	<i>Sulfur</i>	0.05
5	<i>Silicon</i>	0.04
6	<i>Cuprun</i>	0.2

Tabel 2. Komposisi kimia material SS 304

No	Unsur Paduan	Komposisi
1	<i>Carbon</i>	0.030
2	<i>Nickel</i>	8.0
3	<i>Chromium</i>	17.5
4	<i>Silicon</i>	0.75
5	<i>Manganese</i>	2.00
6	<i>phosporus</i>	0.045
7	<i>Sulfur</i>	0.030

Proses pengelasan menggunakan mesin las *arc stud welding*, dengan ketebalan material A36 10 mm. jenis sambungan pengelasan yang digunakan adalah *T joint*. Data *actual* proses pengelasan *arc stud welding*, ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Parameter Pengelasan




Marking Material	Proses Pengelasan	Ampere (A)	Welding time
STUD 1	Stud Welding	200 A	1s
STUD 2	Stud Welding	400 A	1s
STUD 3	Stud Welding	600 A	1s

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Visual Inspection

Beberapa hal yang diperhatikan pada saat dilakukan uji visual meliputi *crack*, *incomplete fusion*, *overlap*, *undercut*, dan *porosity* yang terjadi pada spesimen las. Berikut hasil uji dari spesimen dengan menggunakan metode pengelasan *arc stud welding* dengan variasi arus dan waktu pengelasan. Dari beberapa hasil uji visual, permukaan las dapat dilihat bahwa tidak adanya cacat yang terlihat. Berikut data tabel dan dokumentasi saat dilakukan uji visual dapat dilihat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Hasil *Visual Inspection*



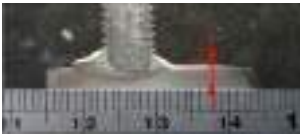
Variasi	Dokumentasi Visual
<p><i>Ampere</i> 200</p> <p><i>Welding time</i> 1.00s</p>	
<p><i>Ampere</i> 400</p> <p><i>Welding time</i> 1.00s</p>	
<p><i>Ampere</i> 600</p> <p><i>Welding time</i> 1.00s</p>	

Dari hasil *visual inspection* tidak ditemukannya cacat pengelasan pada permukaan las.

3.2 Macro Test

Macroscopic examination ini didefinisikan sebagai pengujian yang dapat dilakukan dengan mata telanjang atau dengan alat bantu pembesaran yang relatif rendah (kurang dari x50) yang dapat dilakukan dengan proses etsa. Pegujian makro dilakukan untuk mengetahui pengaruh kuat arus dan variasi Welding Time pada pengelasan Stud Welding terhadap kedalaman penetrasi setelah dilakukan pengelasan. Berikut foto makro pada setiap specimen dapat dilihat pada Tabel 5 berikut untuk proses pengelasan Stud Welding.

Tabel 5. Hasil pengujian Makro

No	Kode	Variasi Pengelasan	Hasil Makro	Kedalaman Penetrasi
1	STUD 1	200 A 1 DETIK		0,52 mm
2	STUD 2	400 A 1 DETIK		0,81 mm
3	STUD 3	600 A 1 DETIK		0,95 mm

Dari hasil pengujian makro diatas, dapat dianalisis bahwa pengaruh kuat arus dan waktu pengelasan memiliki dampak terhadap kedalaman penetrasi yang disebabkan dari pengelasan *Stud*. *Acceptence criteria* yang tercantum pada ASME sec. IX diantaranya adalah tidak terdapat retakan pada daerah HAZ. Dari hasil pengujian makro diatas dapat disimpulkan bahwa seluruh *specimen* dinyatakan diterima menurut *acceptence criteria* pada (ASME Section IX, 2023).

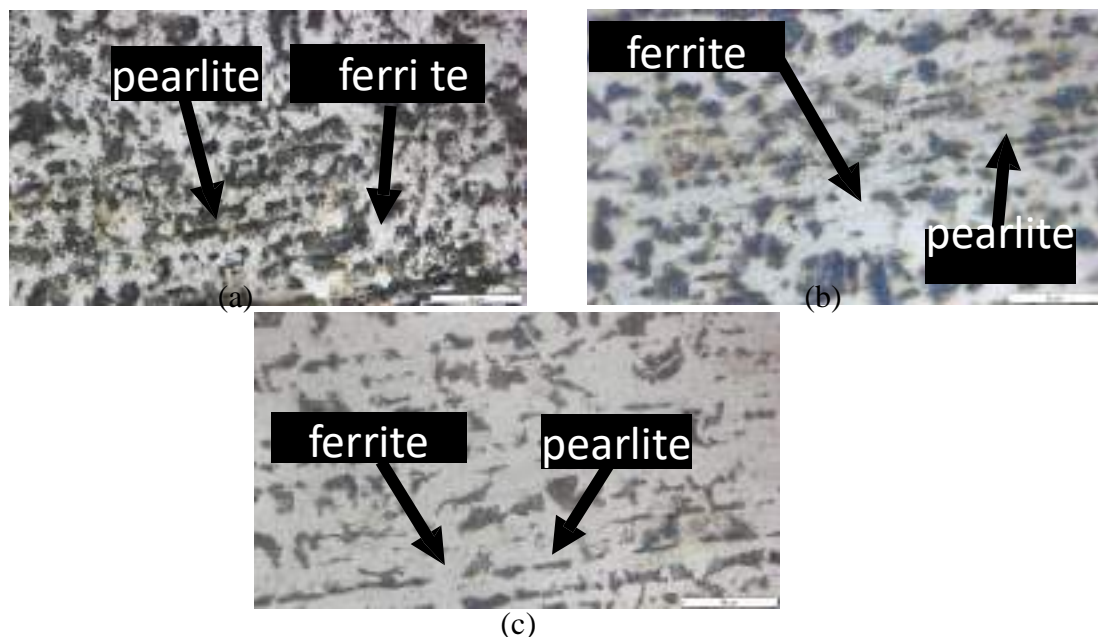
Dengan tidak adanya indikasi cacat, dapat disimpulkan bahwa parameter pengelasan yang diterapkan telah berhasil menghasilkan sambungan las yang solid dan bebas dari kerusakan struktural. Hasil ini menguatkan bahwa metode pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan standar yang berlaku dan dapat diandalkan untuk menghasilkan sambungan las berkualitas tinggi. Kedalaman penetrasi paling rendah didapatkan pada *stud 1* variasi kuat arus 200 mendapatkan nilai sebesar 0,52 mm. Nilai kedalaman penetrasi paling tinggi didapatkan pada *stud 3* dengan variasi kuat arus 600 yaitu 0.95 mm. Pengaruh dari kuat arus berdampak pada kedalaman penetrasi, dengan semakin bertambahnya kuat arus maka semakin dalam juga penetrasi yang dihasilkan.

3.3. Mikro Tes

3.3.1 Base Metal A36

Terdapat dua fasa pada struktur mikro baja karbon, yaitu *pearlite* dan *ferrite*. *Pearlite* didefinisikan sebagai daerah yang gelap pada struktur mikro. Fasa *pearlite* terdapat di

sepanjang batas butir *ferrite*. Semakin lama waktu pengelasan sehingga masukan panas yang tinggi memberikan laju pendinginan yang rendah, sehingga *ferrite* dan *pearlite* akan membentuk ikatan semakin besar dan kasar yang dapat menghasilkan kekerasan yang menurun pada hasil pengelasan (Kaçar, 2018).

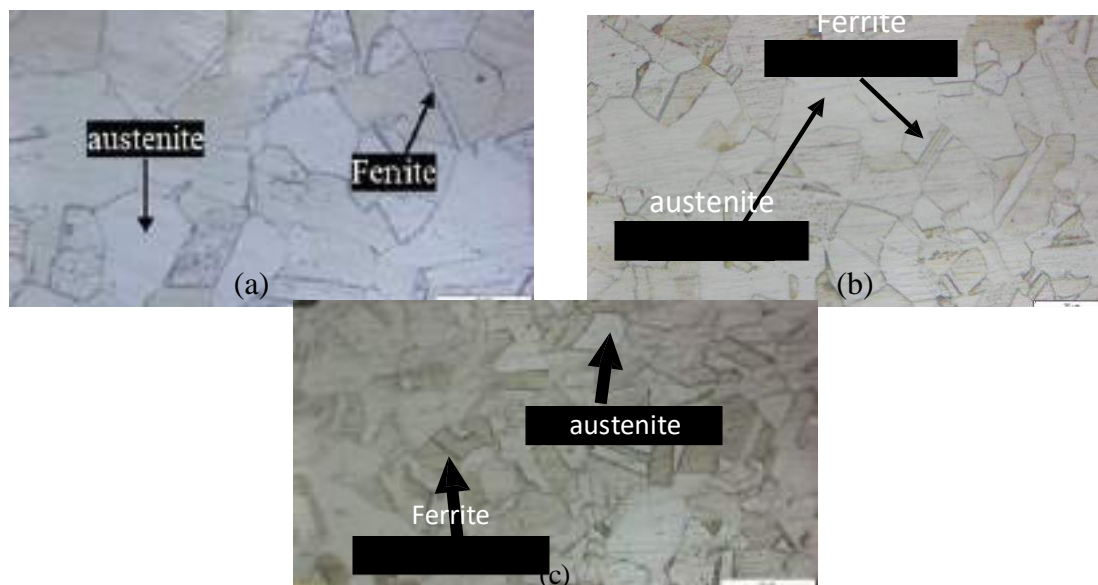


Gambar 1. Hasil Pengujian Mikro *Base Metal* A36 (a) kuat arus 200 (b) kuat arua 400 (c) kuat arus 600

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa struktur mikro pada base metal baja karbon A36 bahwa fasa yang terdapat pada daerah base metal A36 tersebut terdapat fasa *pearlite* dan *ferrite*. Hal tersebut karena pada material baja karbon A36 tidak diberikan perlakuan khusus yang dapat merubah fasa pada mikro struktur baja karbon A36. Pada hasil struktur mikro daerah *base metal* terdiri dari fasa *ferrite* dan *perlite* dimana fasa *ferrite* bentuk butirnya pipih berwarna terang dan memiliki keuletan yang baik, sedangkan fasa *pearlite* bentuk butirnya berwarna gelap dan memiliki sifat yang cukup keras tetapi getas (Nurcholis, 2022). Fasa *ferrite* merupakan larutan padat dari atom murni yang mempunyai sel - sel kubus dan memiliki sifat yang lebih lunak, sedangkan *pearlite* juga tersusun oleh lapisan-lapisan halus dan memiliki sifat yang lebih kuat dan keras dari pada *ferrite* (Winardi, 2020).

3.3.2. *Base Metal* SS 304

Struktur mikro pada daerah *base metal* SS 304 pada spesimen dengan menggunakan perbesaran 500x yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini:

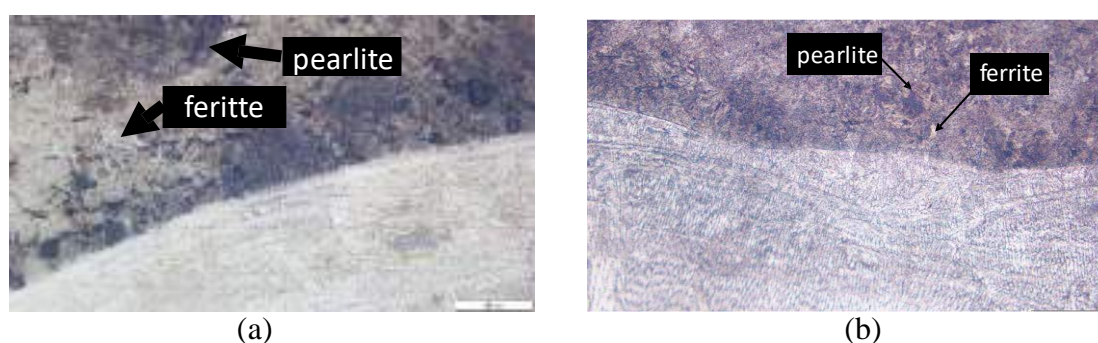


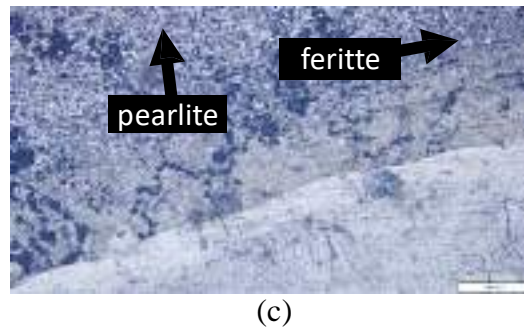
Gambar 2. Hasil Pengujian Mikro *Base Metal* SS 304 (a) kuat arus 200 (b) kuat 400 (c) kuat 600

Pada struktur mikro *base metal austenitic stainless steel* terdapat fasa *austenite* dan *ferrite*. Unsur pembentuk fasa *austenite* pada material *stainless steel 304* diantaranya adalah karbon, mangan, nikel, dan nitrogen dimana fasa *austenite* pada struktur mikro pada Gambar 2 di atas berwarna terang. *Ferrite* pada *austenitic* terbentuk dari unsur kromium dan silikon. dimana fasa *ferrite* terlihat berwarna gelap dimana kandungan *ferrite* kurang dari 2% dari kandungan fasa yang ada (Lippold). Dapat diketahui pada daerah *base metal* tidak mengalami perubahan struktur mikro pada variasi arus dan waktu pengelasan dikarenakan tidak terpengaruh oleh masukan panas yang berlebih. Tidak di temukan perbedaan fasa yang signifikan pada variasi kuat arus maupun variasi waktu pengelasan, karena pada area *base metal* SS 304 ini terpengaruh panas akibat pengelasan tetapi tidak sampai melewati suhu kritis sehingga tidak terjadi fenomena perubahan fasa di area ini (Suleimanov, 2018).

3.3.3 HAZ A36

Struktur mikro pada daerah HAZ pada material A36 dengan variasi arus dapat ditunjukkan pada Gambar 3 dengan menggunakan perbesaran sebesar 200x pada berikut ini:





Gambar 3. Hasil Pengujian Mikro HAZ A36 (a) kuat arus 200 (b) kuat 400 (c) kuat 600

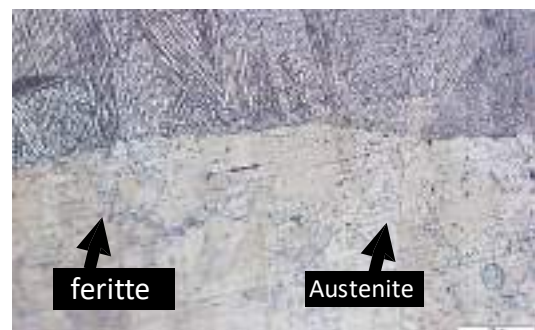
Pada daerah HAZ material A36 terlihat bahwa Area HAZ pada material di dominasi oleh fase *pearlite* dan *ferrite*. Hal ini disebabkan oleh proses pengelasan dimana area HAZ menerima masukan panas atau kenaikan temperatur yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan area base metal dengan laju pendinginan yang cepat. Fasa *ferrite*, yang dikenal memiliki sifat lunak dan tangguh, adalah fasa yang dominan pada baja karbon rendah. Ini terutama terbentuk dalam kondisi pendinginan lambat, di mana difusi karbon dapat terjadi secara efektif. Sebaliknya, *pearlite* adalah struktur *lamelar* yang terdiri dari lapisan *ferrite* dan *sementit* yang berbeda, yang memberikan kombinasi kekuatan dan ketangguhan. Pembentukannya terjadi pada tingkat pendinginan yang memungkinkan karbon untuk menyebar dan mengendap bersama *ferrite* sebagai *sementit*. Komposisi kimia material, laju pendinginan, dan parameter pengelasan yang digunakan, seperti panas input dan kecepatan pengelasan, sangat memengaruhi kehadiran fase-fase ini di HAZ.

3.3.4 HAZ SS 304

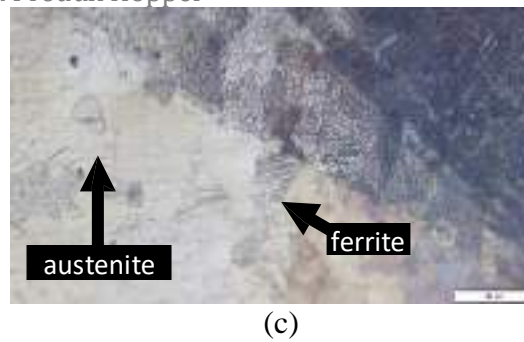
Berikut adalah hasil dari pengujian struktur mikro pada daerah HAZ *austenitic stainless steel*. Gambar 4 menunjukkan struktur mikro dari setiap variasi dan fasa pada struktur mikro HAZ *austenitic stainless steel*. Pada spesimen di bawah terlihat hanya terdapat fasa *austenite* dan *ferrite* yang merupakan fasa paling umum pada material tipe *austenitic stainless steel*. Tidak adanya perbedaan struktur mikro pada daerah HAZ yang berbeda dikarenakan hanya terpengaruh panas pada dari proses pengelasan.



(a)



(b)

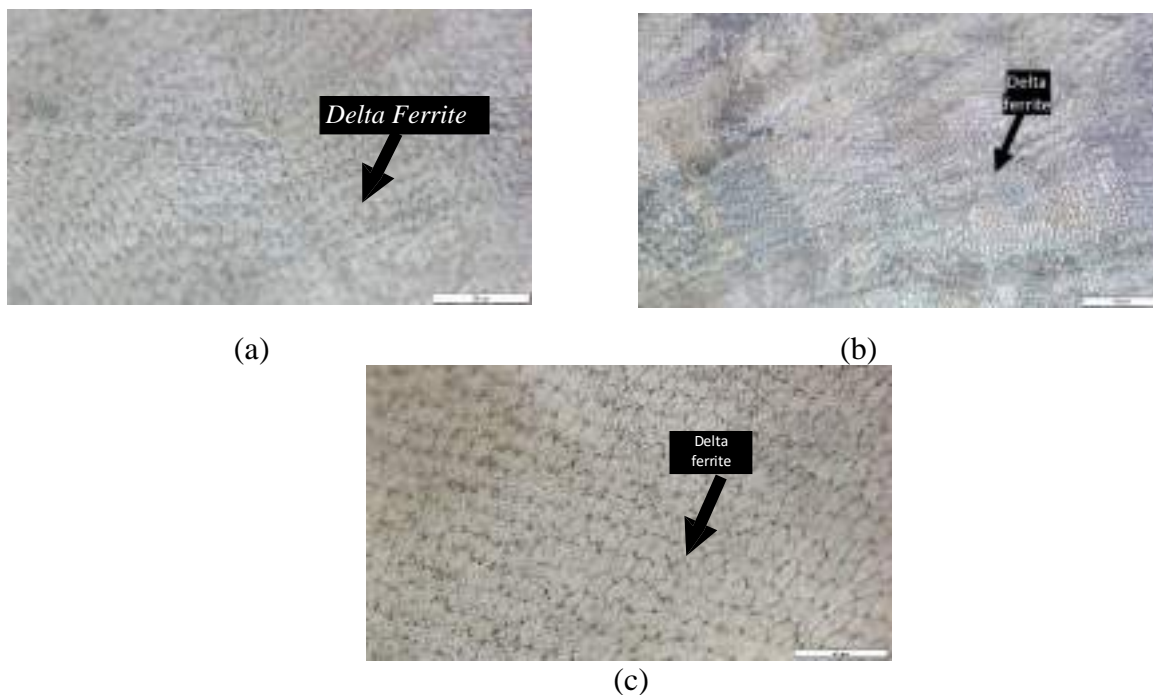


Gambar 4. Hasil Pengujian Mikro HAZ SS 304 (a) kuat arus 200 (b) kuat 400 (c) kuat 600

Dari hasil pengamatan mikro di daerah HAZ SS 304 ini dapat dilihat fasa yang terbentuk adalah fasa *Austenite* dan *ferrite*. Fasa *austenite* dan *ferrite* yang merupakan fasa paling umum ditemukan pada material tipe *austenite stainless steel*. Tidak ditemukan perbedaan yang signifikan pada daerah HAZ *stainless steel* disebabkan oleh daerah ini hanya terpengaruh panas dari proses pengelasan.

3.3.5 *Weld Metal*

Hasil pengamatan struktur mikro pada daerah *weld metal* dengan variasi arus menggunakan perbesaran 500x dapat ditunjukkan dengan Gambar 5 berikut.



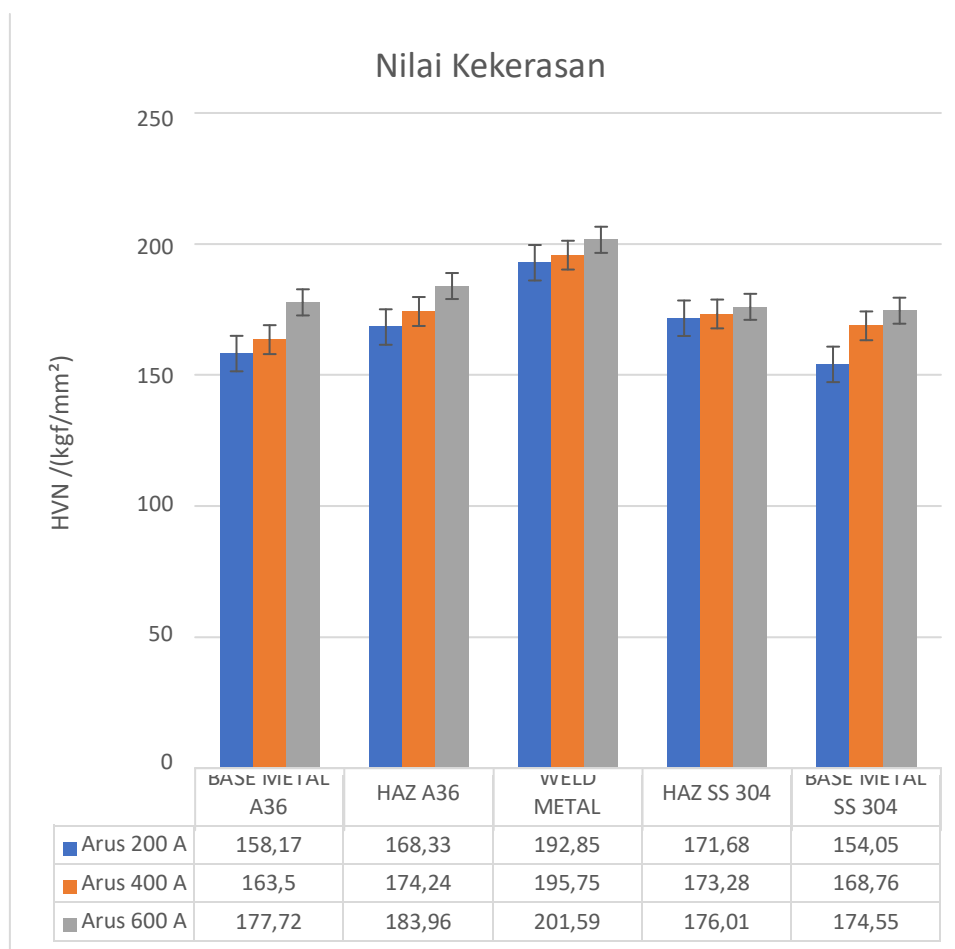
Gambar 5. Hasil Pengujian Mikro *Weld Metal* (a) kuat arus 200 (b) kuat arus 400 (c) kuat arus 600

Dari hasil dokumentasi di atas untuk pengujian mikro pada daerah *weld metal* untuk variasi kuat arus dan waktu pengelasan dapat diamati terdapat satu jenis fasa yang terbentuk di daerah *weld metal*. *Delta ferrite* adalah fasa yang terbentuk pada daerah *weld metal* yang

berwarna lebih gelap. Pada dasarnya delta ferrite terbentuk karena terjadi peningkatan rasio Cr_{eq}/Ni_{eq} pada daerah weld metal (Ghasemi, 2018). Keberadaan fasa berupa *delta ferrite* pada daerah logam las baja tahan karat jenis *austenitic* menjadi sangat penting, sebab terlalu banyak *delta ferrite* akan cenderung mengurangi keuletan tetapi memiliki nilai kekerasan yang tinggi, serta ketahanan korosi dari sebuah sambungan las, sedangkan terlalu sedikit *delta ferrite* dapat menyebabkan retak pematatan (Kou., 2003).

3.3. Hardness Test

Spesimen yang di uji menggunakan metode pengujian kekerasan vickers dengan pembebanan sebesar 2 kgf/mm² dan 10 detik dwell time yang digunakan. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 6. Grafik nilai *hardness test*.

Nilai kekerasan pada area *weld metal* dengan nilai terendah pada variasi kuat arus 200 A, sedangkan nilai tertinggi pada variasi arus 600 A. Pada daerah *weld metal* yang memiliki nilai tertinggi disebabkan karena adanya fasa *delta ferrite* yang memiliki sifat kekuatan yang tinggi, sehingga kuat arus yang semakin tinggi akan mempengaruhi nilai kekerasan yang semakin tinggi juga. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang ditampilkan pada grafik, terlihat bahwa perbedaan nilai kekerasan untuk setiap variasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan dari setiap variasi hampir sama, dengan hanya sedikit perubahan atau variasi di antara nilai - nilai tersebut.

3.4 Uji Torsi

Dalam pengujian ini, *sleeve*, *washer*, dan *nut* dengan ukuran yang sesuai pada *bolt*. *Nut* dikencangkan dengan kunci torsi terhadap *washer* pada *sleeve* dengan menerapkan beban yang telah di tentukan sesuai dengan kekuatan pada *bolt* itu sendiri.

Tabel 7. Nilai Torsi

NO	KODE	NILAI TORSI (Nm)
1	<i>STUD 1</i>	50
2	<i>STUD 2</i>	60
3	<i>STUD 3</i>	80

Pada ASME sec. IX untuk memenuhi uji torsi, masing - masing dari pengelasan *stud* harus dilakukan torsi yang diperlukan sebesar 10.8 Nm untuk material *stud bolt* SS 304 diameter M8. Berdasarkan hasil pada Tabel 7 hasil dari nilai torsi untuk semua variasi lebih besar dari nilai yang telah di tentukan pada (ASME Section IX, 2023). Dapat disimpulkan bahwa parameter pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini telah berhasil mencapai kekuatan serta melebihi spesifikasi minimum yang telah ditetapkan.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian makro pada variasi pengaruh kuat arus dan waktu pengelasan menunjukkan tidak adanya cacat seperti retak pada base metal, HAZ maupun *weld metal* dan cacat lain seperti *acceptence criteria* pada ASME sec. IX. Dari hasil pengujian makro pada variasi pengaruh kuat arus memperlihatkan adanya perbedaan kedalaman penetrasi pada setiap spesimen. Variasi *stud 1* memiliki hasil kedalaman penetrasi terendah dengan nilai 0,52 mm dan didapatkan hasil optimal pada variasi *stud 3* dengan variasi kuat arus 600 A mendapatkan nilai 1,04 mm. Hasil dari pengujian mikro pada variasi kuat arus pada daerah *base metal* tidak adanya perubahan yang cukup signifikan karena pada daerah *base metal* A36 dan SS 304 tidak terjadi masukan panas yang maksimal, fasa yang ditemukan pada daerah *base metal* adalah fasa *ferrite*, fasa *pearlite* dan fasa *austenite*. Sedangkan pada daerah *weld metal* terbentuk fasa *delta ferrite* dikarenakan peningkatan rasio Cr_{eq}/Ni_{eq} .

Pada pengujian hardness dengan variasi kuat arus pada daerah weld metal mendapatkan nilai dengan rata-rata terendah 192, 85 HVN pada spesimen stud 1 dengan variasi kuat arus 200, sedangkan didapatkan nilai tertinggi pada daerah weld metal terdapat pada spesimen stud 3 variasi kuat arus 600 dengan nilai rata-rata 201,59 HVN. Hasil dari pengujian torsi pada variasi kuat arus menunjukkan bahwa variasi kuat arus mempengaruhi besarnya nilai uji torsi. Di buktikan dengan adanya peningkatan nilai uji torsi yang selaras dengan peningkatan variasi kuat arus. Hasil dari peningkatan di setiap spesimen stud 1 variasi kuat arus 200 mulai dari 50 Nm hingga 80 Nm pada stud 3 dengan variasi kuat arus 600.

Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah membiayai penelitian ini, sehingga penelitian ini terselesaikan dengan maksimal. Semoga penelitian ini bisa bermanfaat bagi industri dan PPNS terutama di bidang proses *Stud Welding*.

Daftar Pustaka

- ASME Section IX. (2023). *"QUALIFICATION STANDARD FOR WELDING, BRAZING, AND FUSING PROCEDURES; WELDERS; BRAZERS; AND WELDING, BRAZING, AND FUSING OPERATORS"*. New York.
- Caron, J. &. (2016). 濟無No Title No Title No Title. 1–23.
- Ghasemi, R. B.-N. (2018). Effect of delta ferrite on the mechanical properties of dissimilar ferritic-austenitic stainless steel welds. *Archives of Metallurgy and Materials*, 63(1), 437–443. <https://doi.org/10.24425/118958>.
- Kaçar, R. E. (2018). Effects of welding methods on the mechanical properties of joining dissimilar steel couple. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(1). <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.406797>.
- Khotasa, S. (2016). Analisa Pengaruh Variasi Arus Dan Bentuk Kampuh Pada Pengelasan Smaw Terhadap Kekuatan Impact Sambungan Butt Joint Pada Plat Baja A36. . *Departemen Teknik Kelautan FTK ITS*.
- Kou. (2003). Welding Metallurgy. In *Indian Welding Journal*, (Vol. 4, Issue 3). <https://doi.org/10.22486/iwj.v4i3.150243>.
- Lippold, J. C. (n.d.). *AND WELDABILITY OF STAINLESS STEELS* .
- Mezher, M. T. (2022). Modelling and Experimental Study of Dissimilar Arc Stud Welding of AISI 304L to AISI 316L Stainless Steel. . *International Journal of Integrated Engineering*, 14(6), 88–101. <https://doi.org/10.30880/iji>.
- Nurcholis, I. P. (2022). Analisis komparasi kekerasan dan struktur mikro lasan dissimilar material pada berbagai posisi pengelasan di industri fabrikasi. *Journal of Welding Technology*, 4(1), 1–8.
- Suleimanov, R. I. (2018). Studying heat-affected zone deformations of electric arc welding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 327(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/3/032053>.
- Winardi, Y. F. (2020). Pengaruh Elektroda Pengelasan Pada Baja AISI 1045 Dan SS 202 Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 8(2), 86. <https://doi.org/10.23887/jptm.v8i2.27772>.



Jurnal Teknologi Maritim Volume 7 No. 2 Tahun 2024
12 September 2024 / 14 Oktober 2024 / 14 Oktober 2024

Jurnal Teknologi Maritim

<http://jtm.ppns.ac.id>

Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, *Preheat*, dan *Interpass* Pada Pengelasan GMAW *Dissimilar* Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro

Nadhifatul Kamilah¹, M. Miftachul Munir¹, Imah Luluk Kusminah¹

¹D4 Teknik Pengelasan, Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Keputih Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

Abstrak. Sebuah perusahaan konstruksi memproduksi *side dump trailer* yang digunakan untuk mengangkut batu bara. Trailer ini mengalami kegagalan berupa retakan pada sambungan las di bagian lantainya. Sambungan las tersebut menggunakan material berbeda, yaitu baja Bisalloy 400 dan SM490YA. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kegagalan tersebut dan memperbaikinya dengan mengkombinasikan elektroda, *preheat*, dan *interpass* guna meningkatkan sifat mekanis dan metalografi pada material baja Bisalloy 400 dan SM490YA. Pengujian tekuk dan makro dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dan metalografinya. Hasil pengujian tekuk menunjukkan bahwa hanya dua dari enam spesimen yang memenuhi kriteria keberterimaan, sementara empat lainnya memiliki diskontinuitas terbuka yang melebihi batas 3 mm. Analisis Makro menunjukkan kualitas hasil las pada setiap spesimen yang diuji. Penampang logam las pada variasi arus 80A menunjukkan adanya *slag*, namun semua hasil pengelasan tidak menunjukkan *incomplete fusion*.

Katakunci: *Bisalloy 400, Buffer Layer, Interpass, Preheat, SM490YA*

Abstract. A construction company produces *side dump trailers* used to transport coal. The trailer experienced a failure in the form of cracks in the welded joints on its floor. The welded joints used different materials, namely Bisalloy 400 and SM490YA steel. This study aims to analyze the failure and repair it by combining electrodes, *preheat*, and *interpass* temperatures to improve the mechanical and metallographic properties of Bisalloy 400 and SM490YA steel materials. Bending and macro tests were carried out to determine their mechanical and metallographic properties. The results of the bending test showed that only two of the six specimens met the acceptance criteria, while the other four had open discontinuities exceeding the 3 mm limit. Macro test analysis showed the quality of the weld results on each specimen tested. The cross-section of the weld metal at a current variation of 80A showed the presence of *slag*, but all welding results did not show *incomplete fusion*.

Keywords: *Bisalloy 400, Buffer Layer, Interpass, Preheat, SM490YA*

Email Korespondensi: nadhifatulkamilah@student.ppns.ac.id
doi: 10.35991/jtm.v7i2.38

1. Pendahuluan

Masalah yang terjadi adalah adanya cacat pada sambungan las berupa retak dingin (*cold crack*) pada bagian lantai *side dump trailer* yang merupakan sambungan *dissimilar material* antara baja Bisalloy 400 dan SM490YA (Rowe et al., 1999). Penelitian ini mengeksplorasi variasi *preheat*, *interpass*, dan kombinasi elektroda yang digunakan pada pengelasan material yang berbeda tersebut serta menentukan parameter pengelasan untuk mengatasi masalah yang muncul. Selain itu, terdapat kendala karena tidak adanya kualifikasi pengelasan dan metode persiapan yang dijadikan acuan dalam proses konstruksi *side dump trailer*.

Pada kasus sebelumnya, proses pengelasan yang digunakan adalah GMAW dengan *filler metal* ER70S-6. Namun, karena kekuatan tarik *filler metal* tersebut lebih rendah dari *base metal*, *filler metal* tersebut diganti dengan ER80S-G. Pemilihan *filler metal* ER80S-G didasarkan pada kekuatannya yang lebih tinggi dibandingkan *base metal* (*OK AristoRod 13.16*, 2023). Baja Bisalloy 400 memiliki kandungan *carbon equivalent* (CE) sebesar 0,499%, lebih tinggi dari 0,4%, sehingga memerlukan perlakuan khusus untuk meningkatkan *weldability*. Sebaliknya, SM490YA memiliki kandungan CE lebih rendah, yaitu 0,37% (Sadek, 2015). Perbedaan signifikan dalam CE ini memerlukan penggunaan *buffer layer* sebagai lapisan pelindung yang ditempatkan antara dua material yang berbeda. *Buffer layer* membantu menyerap dan mendistribusikan tegangan akibat perbedaan sifat termal, seperti laju pendinginan dan pengembangan termal, yang dapat menyebabkan tegangan sisa.

Penggunaan *buffer layer* juga membantu mengurangi perbedaan komposisi kimia secara bertahap antara dua material, menciptakan sambungan las yang lebih homogen, dan mengurangi risiko retak dan *incomplete fusion*. Dengan memahami struktur komposisi kimia, dapat diketahui pengaruh pemilihan kombinasi elektroda ER80S-G dan E309L serta perubahan sifat mekanis dan metalografi yang disebabkan oleh *preheat* dan *interpass*.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Material SM490YA

Material SM490YA termasuk dalam kategori baja *High Strength Low Alloy* (HSLA), yang memiliki tingkat kekuatan dan kekerasan lebih tinggi daripada baja karbon, tetapi tetap memiliki kemampuan las (*weldability*) yang baik. Secara umum, SM490YA lebih fokus pada sifat mekanik daripada komposisi kimianya. Baja ini diproduksi dalam keadaan *as-hot rolled*, dengan kekuatan luluh berkisar antara 290-550 MPa dan kekuatan tarik berkisar antara 415-700 Mpa (*JIS-G-3106.Pdf*, 1995). Berikut merupakan batasan sifat mekanik, *mechanical properties* dan *chemical composition* dari SM490YA yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 hingga 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Batasan Sifat Mekanik

Designation	Yield P. (N/mm ²)				Tensile S. (N/mm ²)	Elongation (%)
	Thickness of steel product (mm)					
	16 or under	16-40	40-75	75-100	100 or under	
SM 490 YA	365 Min.	355 Min.	335 Min.	325 Min.	490 to 610	19-21

Sumber : (JIS-G-3106.Pdf, 1995)

Tabel 2. 2 Sifat Mekanik SM490YA

Yield Point (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
413	543	27

Sumber : (Posco, 2021)

Tabel 2. 3 Komposisi Kimia SM490YA

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)
0.1593	0.321	1.39	0.0098

Sumber : (Posco, 2021)

2.2 Baja Bisalloy 400

Baja Bisalloy 400 harus memiliki tingkat kekerasan yang tinggi dan daya tahan terhadap abrasi yang baik agar sesuai untuk proses *quenching & tempering* (Q&T) dalam aplikasi kendaraan alat berat. Untuk memastikan sifat-sifat tersebut, komposisi kimia dan proses perlakuan panas harus diatur dengan hati-hati. Baja ini dirancang untuk memberikan kinerja *impact* optimal sambil mempertahankan sifat fabrikasi dan kemampuan las yang lebih baik. Dengan kandungan unsur paduan yang rendah, Bisalloy 400 dapat dilas dengan mudah menggunakan proses pengelasan konvensional dan kawat las dengan kadar hidrogen rendah. Meskipun pembentukan dingin bisa dilakukan pada semua ketebalan, perlu diperhatikan bahwa ini dapat menyebabkan peningkatan kekuatan, dan kemampuan mesin tekuk harus diperhitungkan. Harus dihindari pemanasan di atas 250°C, karena dapat mempengaruhi sifat mekaniknya (Gooch et al., 2007). Rekomendasi *preheat* dan *interpass temperature* yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2. 4 Rekomendasi *Preheat* dan *Interpass Temperature*

Bisalloy Abrasion Resistant Grades	Maximum Thickness in Joint (mm)			
	Minimum Preheat	<13	≥13<25	≥25<25
320	50	75	125	150
400	50	75	125	150
450	Nil***			
500	100	150	150	**
Maximum Interpass (All Grades)	150	175	200	220

Sumber : (Bissalloy 400.Pdf, 2013)

2.3 Filler Metal ER80S-G

ER80S-G adalah jenis kawat las yang digunakan dalam *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) atau lebih dikenal sebagai pengelasan MIG. Kawat las ER80S-G digunakan untuk pengelasan baja paduan rendah dan material serupa lainnya. ER80S-G digunakan dalam berbagai aplikasi industri yang memerlukan kekuatan tarik tinggi dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang keras. Kawat las ER80S-G biasanya digunakan dengan gas pelindung argon atau campuran argon dan karbon dioksida (*OK AristoRod 13.16*, 2023). Pengaturan gas pelindung dan parameter pengelasan lainnya harus disesuaikan untuk memastikan kualitas sambungan las yang baik didukung oleh sifat mekanik yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2. 5 Sifat Mekanik *Filler Metal* ER80S-G

Spesification AWS	Mechanical Properties of Deposited Metals			
	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongation %	Impact Value J (°C)
ER80S-G	625	540	26	142 (0)

Sumber : (Si, 2023)

2.4 Buffer Layer

Lapisan *buffer* merujuk pada tambahan lapisan atau zona pada sambungan las. Tujuan dari penambahan lapisan ini adalah untuk mengurangi risiko cacat atau ketidakcocokan antara logam dasar dan logam pengelas, juga membantu mengatur kondisi termal selama proses pengelasan. Fungsinya sebagai pemisah (*buffer*) menghasilkan dua fasa keras antara logam dasar.

2.5 Interpass temperature

Interpass temperature merujuk pada suhu material tepat sebelum lapisan atau langkah berikutnya dalam pengelasan dengan beberapa langkah. Secara umum, suhu *interpass* minimal yang ditetapkan seringkali sejalan dengan suhu *preheat*, tetapi hal ini tidak dianggap atau diperlukan sesuai dengan definisi (Funderburk, 1998).

Efek dari *interpass temperature* pada *multiple pass welding* dengan material HSLA memberikan hasil penjelasan antara lain :

1. Kenaikan suhu antar *pass* menyebabkan berkurangnya kekuatan dan kekerasan di wilayah logam las serta memperbesar ukuran butir (*grain size*).
2. Dalam eksperimen yang dilakukan, *interpass temperature* menghasilkan rentang sekitar 130°C. Variasi kenaikan dan penurunan *interpass temperature* dapat menyebabkan penurunan ketangguhan (*impact toughness*).
3. Penggunaan *welding multiple pass* dalam siklus termal dapat meningkatkan dekomposisi struktur M-A yang terbentuk, dengan diharapkan memberikan dampak positif pada sifat ketangguhan.

2.6 *Preheat*

Menurut *American Welding Society* (AWS), *preheat* didefinisikan sebagai pemberian panas pada logam yang akan dilas dengan tujuan mencapai dan menjaga suhu *preheat*. *Preheat temperature* adalah suhu dari logam dasar di sekitar area yang akan dilas sebelum proses pengelasan dimulai. Pada pengelasan *multipass*, yang juga dikenal sebagai *interpass temperature* (suhu antar *pass* atau celah), *preheat* merujuk pada suhu yang diterapkan sesaat sebelum memulai pengelasan pada *pass* (celah) berikutnya. Media yang digunakan untuk *preheating* dapat berupa gas burner, nyala *oxy-gas*, selimut listrik, pemanasan induksi, atau pemanasan di dalam *furnace* (*American Welding Society*, 2020). Tujuan dari *preheating* :

- a. Memperlambat laju pendinginan pada logam las dan logam dasar sehingga menghasilkan struktur logam lebih ulet yang memiliki ketahanan terhadap retak yang lebih besar.
- b. Memungkinkan hidrogen dapat terdifusi keluar sehingga mengurangi potensi retak.
- c. Mengurangi tegangan sisa dalam logam las dan pada daerah *HAZ*.
- d. Mengurangi resiko patah getas dan meningkatkan ketangguhan logam las.

Kecepatan proses pendinginan setelah melakukan pengelasan dipengaruhi oleh suhu pemanasan awal, di mana semakin tinggi suhu tersebut akan mengakibatkan waktu pendinginan yang lebih lama dan mengurangi kekerasan mikrostruktur.

3. Metode

Dalam penelitian ini, proses pengelasan dilakukan pada material baja Bisalloy 400 yang disambung dengan baja HSLA SM490YA berukuran 400x250x20 mm. Pengelasan dilakukan menggunakan metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) dengan variasi parameter suhu *preheat* dan *interpass* serta kombinasi elektroda yang berbeda. Total spesimen uji yang dihasilkan adalah sebanyak 6 spesimen. Berikut adalah spesimen beserta pembagian parameter pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Parameter Pengelasan

No.	Filler Metal	<i>Preheat</i>	<i>Interpass</i>	Posisi
1.	ER80S-G	30°C	250°C	1G
2.		75°C	175°C	
3.		75°C	250°C	
4.	ER80S-G + E309L	30°C	250°C	
5.		75°C	175°C	
6.		75°C	250°C	

Material disambung menggunakan tipe sambungan *single V groove* dengan sudut 60°. *Filler metal* yang digunakan adalah ER80S-G, sedangkan untuk *buffer layer* digunakan *filler metal* E309L. Setelah proses pengelasan selesai, *coupon test* dipotong sesuai dengan *code* AWS D1.1 dan dijadikan spesimen untuk pengujian. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian tekuk dan pengujian makro.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil dan Pembahasan Pengujian Tekuk

Uji tekuk dilakukan untuk menilai kualitas material secara visual. Dalam pengujian ini, terdapat 4 spesimen uji tarik yang dibentuk *side bend* untuk setiap variasi. Setelah spesimen ditekuk, permukaan cembunginya harus diperiksa untuk memastikan tidak ada retak atau cacat permukaan lainnya. Jika spesimen mengalami patah (*fracture*) saat ditekuk, maka dianggap gagal (*rejected*). Namun, jika tidak patah, maka kriteria keberterimaan didasarkan pada jumlah, ukuran retak, atau cacat permukaan lain yang terlihat, yang harus sesuai dengan standar yang berlaku.

4.1.1 Pengujian tekuk pada spesimen variasi 80A

Hasil pengamatan dan pemeriksaan uji tekuk pada spesimen yang mengalami *open discontinuity* untuk proses pengelasan GMAW dengan variasi arus 80A, *preheat* 30°C, dan *interpass* 250°C menunjukkan adanya indikasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.1 dan Tabel 4.1 di bawah ini.



Gambar 4. 1 Hasil Pengamatan Uji Tekuk 80A

Tabel 4. 1 Hasil Uji Tekuk 80A

Specimen Stamp	Result		Remark
	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	
B1	Open Discontinuity	2,65	Accepted
B2	-	-	Accepted
B3	-	-	Accepted
B4	-	-	Accepted

Hasil uji tekuk pada variasi 80A memenuhi kriteria keberterimaan. Pada spesimen 80A, ditemukan diskontinuitas terbuka sepanjang 2,65 mm pada spesimen dengan tanda B1. Diskontinuitas terbuka ini masih berada di bawah batas yang ditetapkan oleh *code*, yaitu 3 mm.

4.1.2 Pengujian tekuk pada spesimen variasi 80B

Hasil pengamatan dan pemeriksaan uji tekuk pada spesimen yang mengalami *open discontinuity* untuk proses pengelasan GMAW pada variasi spesimen 80B, dengan *preheat* 75°C dan *interpass* 175°C, menunjukkan adanya indikasi yang ditampilkan pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.2 di bawah ini.



Gambar 4. 2 Hasil Pengamatan Uji Tekuk 80B

Tabel 4. 2 Hasil Uji Tekuk 80B

<i>Specimen Stamp</i>	<i>Result</i>		<i>Remark</i>
	<i>Type of Discontinuity</i>	<i>Size of Discontinuity (mm)</i>	
B1	<i>Open Discontinuity</i>	3,35	<i>Reject</i>
B2	<i>Open Discontinuity</i>	0,6	<i>Accepted</i>
B3	<i>Open Discontinuity</i>	3,5	<i>Reject</i>
B4	<i>Open Discontinuity</i>	1,8	<i>Accepted</i>

Hasil uji tekuk pada variasi 80B tidak memenuhi kriteria keberterimaan. Semua spesimen dengan *code* 80B menunjukkan adanya diskontinuitas terbuka. Pada spesimen dengan *code* B1, terdapat diskontinuitas terbuka sebesar 3,35 mm, dan pada spesimen dengan *code* B4 sebesar 3,5 mm, keduanya melebihi batas yang ditetapkan oleh standar, yaitu 3 mm.

4.1.3 Pengujian tekuk pada spesimen variasi 80C

Berdasarkan pengamatan dan pemeriksaan hasil uji tekuk, serta spesimen yang mengalami *open discontinuity* pada proses pengelasan GMAW dengan variasi *preheat* 75°C dan *interpass* 250°C pada spesimen 80C, ditemukan beberapa indikasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.3 berikut ini.



Gambar 4. 3 Hasil Pengamatan Uji Tekuk 80C

Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, *Preheat*, dan *Interpass* Pada Pengelasan GMAW *Dissimilar* Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro

Tabel 4. 3 Hasil Uji Tekuk 80C

Specimen Stamp	Result		Remark
	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	
B1	Open Discontinuity	1,3	Accepted
B2	Open Discontinuity	6,75	Reject
B3	Open Discontinuity	0,9	Accepted
B4	Open Discontinuity	2,9	Accepted

Hasil uji tekuk pada variasi 80C tidak memenuhi kriteria keberterimaan. Semua spesimen dengan label 80C menunjukkan adanya diskontinuitas terbuka. Pada spesimen berlabel B2, ditemukan diskontinuitas terbuka sebesar 6,75 mm, yang melebihi batas yang ditetapkan oleh standar yaitu 3 mm.

4.1.4 Pengujian tekuk pada spesimen variasi BFA

Hasil pengamatan dan pemeriksaan terhadap uji tekuk serta spesimen yang mengalami diskontinuitas terbuka pada proses pengelasan GMAW + SMAW dengan variasi spesimen BFA, yaitu *preheat* 30°C dan *interpass* 250°C, menunjukkan adanya indikasi yang ditampilkan pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.4 di bawah ini.



Gambar 4. 4 Hasil Pengamatan Uji Tekuk BFA

Tabel 4. 4 Hasil Uji Tekuk BFA

Specimen Stamp	Result		Remark
	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	
B1	Open Discontinuity	6,75	Reject
B2	Open Discontinuity	8,15	Reject
B3	Open Discontinuity	19,55	Reject
B4	Open Discontinuity	11,75	Reject

Hasil uji tekuk dari variasi BFA tidak memenuhi kriteria keberterimaan. Semua spesimen dari kelompok BFA menunjukkan adanya diskontinuitas terbuka. Pada spesimen B1, ditemukan diskontinuitas terbuka sebesar 6,75 mm; pada spesimen B2 sebesar 8,15 mm; spesimen B3 memiliki diskontinuitas terbuka sebesar 19,55 mm; dan spesimen B4 sebesar 11,75 mm. Seluruh nilai ini melebihi batas yang ditetapkan oleh *code*, yaitu 3 mm.

4.1.5 Pengujian tekuk pada spesimen variasi BFB

Hasil pengamatan dan pemeriksaan dari uji tekuk serta spesimen yang mengalami *open discontinuity* pada proses pengelasan GMAW + SMAW dengan variasi spesimen BFB yaitu *preheat* 75°C dan *interpass* 175°C menunjukkan adanya indikasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.5 dan Tabel 4.5 di bawah ini.

Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, *Preheat*, dan *Interpass* Pada Pengelasan GMAW *Dissimilar* Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro



Gambar 4. 5 Hasil Pengamatan Uji Tekuk BFB

Tabel 4. 5 Hasil Uji Tekuk BFB

Specimen Stamp	Result		Remark
	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	
B1	Open Discontinuity	15,8	Reject
B2	Open Discontinuity	5,25	Reject
B3	Open Discontinuity	12,9	Reject
B4	Open Discontinuity	13	Reject

Hasil pengujian tekuk untuk variasi BFB tidak memenuhi kriteria keberterimaan. Semua spesimen dari stamp BFA menunjukkan adanya diskontinuitas terbuka. Pada spesimen stamp B1 ditemukan diskontinuitas terbuka sebesar 15,8 mm, pada spesimen stamp B2 sebesar 5,25 mm, pada spesimen stamp B3 sebesar 12,9 mm, dan pada spesimen stamp B4 sebesar 13 mm, semuanya melebihi batas maksimum yang ditetapkan dalam *code*, yaitu 3 mm.

4.1.6 Pengujian tekuk pada spesimen variasi BFC

Hasil pengamatan dan pemeriksaan dari pengujian tekuk serta spesimen yang menunjukkan *open discontinuity* pada proses pengelasan GMAW + SMAW dengan variasi spesimen BFC, yaitu *preheat* 75°C dan *interpass* 250°C, menunjukkan indikasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.6 di bawah ini.



Gambar 4. 6 Hasil Pengamatan Uji Tekuk BFC

Tabel 4. 6 Hasil Uji Tekuk BFC

Specimen Stamp	Result		Remark
	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	
B1	-	-	Accepted
B2	Open Discontinuity	2,55	Accepted
B3	-	-	Accepted
B4	-	-	Accepted

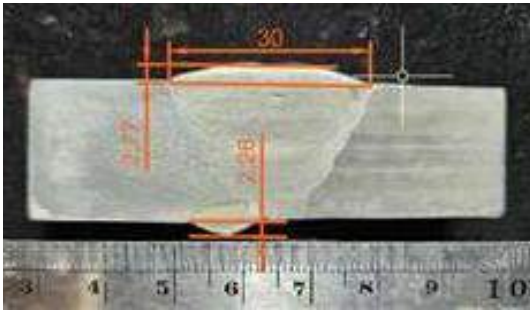
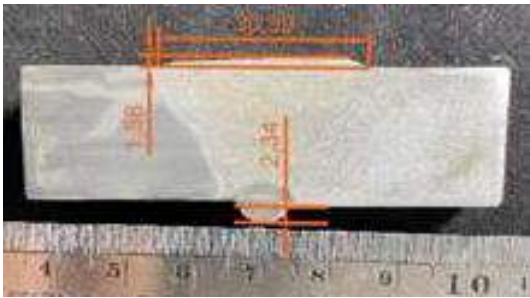
Hasil pengujian tekuk pada variasi BFC memenuhi kriteria keberterimaan. Pada spesimen BFC, terdapat diskontinuitas terbuka sepanjang 2,55 mm pada spesimen stamp B2, yang tidak melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh *code*, yaitu 3 mm.

Hasil uji tekuk pada 6 spesimen variasi menunjukkan bahwa hanya 2 spesimen yang memenuhi kriteria keberterimaan, yaitu spesimen 80A dan BFC. Spesimen 80A memiliki *open discontinuity* sepanjang 2,65 mm, sementara spesimen BFC memiliki *open discontinuity* sepanjang 2,55 mm. Empat spesimen lainnya, yaitu 80B, 80C, BFA, dan BFB, mengalami kegagalan karena *open discontinuity* yang melebihi batas yang ditetapkan oleh *code*. Dengan demikian, dari 6 spesimen yang diuji, hanya 2 spesimen yang memenuhi kriteria keberterimaan.

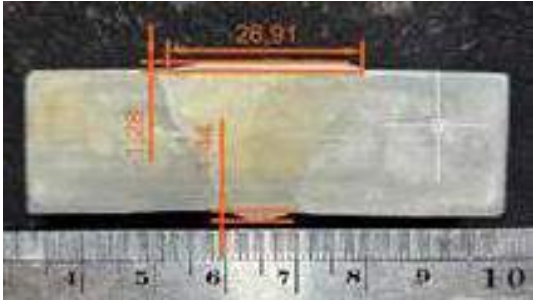
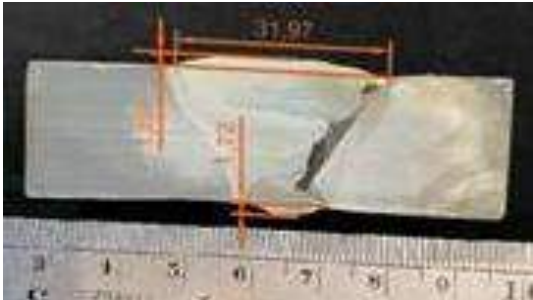
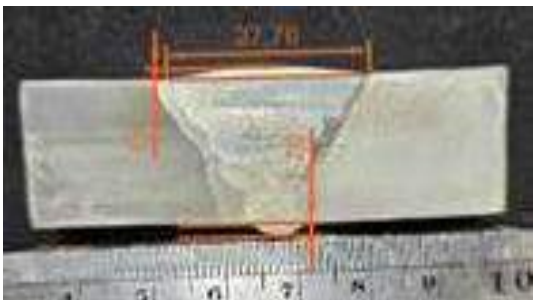
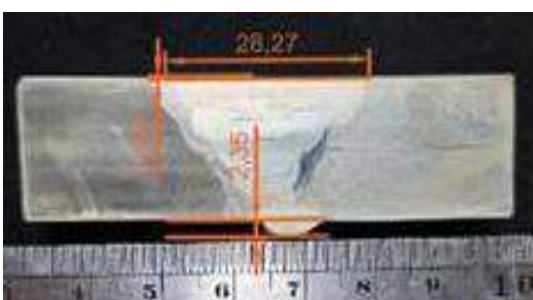
4.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian Makro

Pengujian makro etsa bertujuan untuk mengevaluasi kualitas hasil las pada setiap spesimen yang diteliti. Pengujian ini dilakukan untuk memeriksa kondisi deposit setiap lapisan, sejauh mana logam las bercampur dengan *base metal*, dan tingkat fusi antara setiap lapisan. Setelah spesimen diolesi dengan cairan etsa, foto makro diambil dengan fokus pada area *weld metal*, *HAZ*, dan *fusion line*. Berikut adalah hasil dari pengujian makro etsa untuk setiap spesimen.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Makro

Specimen Marking	Hasil Pengamatan	Weld Metal Dimension
ER80S-G <i>Preheat</i> 30°C <i>Interpass</i> 250°C		W = 30 mm C = 2,77 mm R = 2,26 mm
ER80S-G <i>Preheat</i> 75°C <i>Interpass</i> 175°C		W = 30,39 mm C = 1,58 mm R = 2,34 mm

Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, *Preheat*, dan *Interpass* Pada Pengelasan GMAW *Dissimilar* Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro

Specimen Marking	Hasil Pengamatan	Weld Metal Dimension
ER80S-G <i>Preheat</i> 75°C <i>Interpass</i> 250°C		W = 26,91 mm C = 1,28 mm R = 1,44 mm
ER80S-G + E309L <i>Preheat</i> 30°C <i>Interpass</i> 250°C		W = 31,97 mm C = 1,89 mm R = 1,72 mm
ER80S-G + E309L <i>Preheat</i> 75°C <i>Interpass</i> 175°C		W = 27,76 mm C = 1,4 mm R = 1,76 mm
ER80S-G + E309L <i>Preheat</i> 75°C <i>Interpass</i> 250°C		W = 28,27 mm C = 0,49 mm R = 2,35 mm

Tabel 4.7 di atas memperlihatkan potongan melintang yang menunjukkan penampang logam las pada variasi 80A, di mana terdapat *slag*. Selain itu, foto makro yang ditampilkan menunjukkan bahwa semua hasil pengelasan tidak mengalami *incomplete fusion*.

5. Kesimpulan

Analisis perbandingan kombinasi elektroda, *preheat*, dan *interpass* berdasarkan uji tekuk menunjukkan bahwa dari 6 variasi spesimen yang diuji, hanya 2 spesimen yang memenuhi kriteria keberterimaan, yaitu spesimen dengan variasi 80A dan BFC. Sedangkan 4 spesimen lainnya, yaitu 80B, 80C, BFA, dan BFB, tidak memenuhi kriteria keberterimaan karena terdapat diskontinuitas terbuka yang melebihi batas kode yang ditetapkan, dengan panjang lebih dari 3 mm. Selanjutnya, analisis perbandingan kombinasi elektroda, *preheat*, dan *interpass* terhadap uji metalografi menunjukkan bahwa hasil pengujian makro memperlihatkan perbedaan dalam kedalaman penetrasi pada setiap spesimen. Selain itu, pada variasi arus 80A, ditemukan adanya *slag*.

6. Ucapan terima kasih

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu peneliti dalam melakukan pengerjaan tugas akhir ini, seperti dosen pembimbing, PT. Korindo Heavy Industry, dan terkhusus juga untuk Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

7. Daftar Pustaka

- American Welding Society. (2020). *Structural Welding Code- Steel ANSI/AWS D1.1-2020*.
https://www.academia.edu/42330911/AWS_D1.1_Ed.2020_bissalloy_400.pdf (pp. 1–3). (2013). Bisalloy Steels.
- Funderburk, R. S. (1998). The Importance of *Interpass* Temperature. *Key Concepts in Welding Engineering*, XV, 2.
- Gooch, W. A., Showalter, D. D., Burkins, M. S., Thorn, V., Cimpoeru, S. J., & Barnett, R. (2007). Ballistic Testing of Australian Bisalloy Steel for Armor Applications. *23rd International Symposium on Ballistics, September 2000*, 1181–1188.
http://ciar.org/ttk/mbt/papers/isb2007/paper.x.isb2007.TB17.ballistic_testing_of_australian_bisalloy_steel_for_armor_applications.gooch_showalter_burkins_thorn_cimpoeru_barnett.2007.pdf
- JIS-G-3106.pdf (Patent No. 2). (1995).
- OK AristoRod 13.16. (2023).
- Posco, K. (2021). *Mill Test Certificate Sertifikat Pengujian Pabrik Mill Test Certificate Sertifikat Pengujian Pabrik*.
- Rowe, M. D., Nelson, T. W., & Lippold, J. C. (1999). Hydrogen-induced cracking along the fusion boundary of dissimilar metal welds. *Welding Journal (Miami, Fla)*, 78(2).
- Sadek, A. (2015). *Dissimilar Materials Weldability Concepts*. EWI.
- Si, C. (2023). Product Data Sheet Product Data Sheet DEPMPO. In *Radiation Curing*.



Penanganan Sampah Laut di Indonesia : Sebuah Tinjauan

Izzul Fikry^{1*}, Riko Satrya Fajar Jaelani Putra², Prativi Khilyatul Auliya¹, Hayy Nur
Abdillah¹, Nanda Dwi Wuryaningrum¹, Ayu Nindyapuspa³

¹ *Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Surabaya, 60111, Indonesia*

² *Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Surabaya, 60111, Indonesia*

³ *Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Surabaya, 60111, Indonesia*

Abstrak. Indonesia menghasilkan 37,811,293.71 ton sampah per tahun, dimana 14,163,963.52 ton sampah yang tidak terkelola. Dari data tersebut terlihat bahwa Indonesia masih mengalami masalah dalam pengelolaan sampah. Sampah yang tidak terkelola riskan untuk terbawa oleh arus sungai yang bermuara ke laut. Tentunya tidak hanya sampah darat, sampah laut juga wajib untuk ditanggulangi. Sampah laut bisa berasal dari aktivitas di darat maupun di laut. Sampah laut terdiri dari tiga kategori, yakni sampah laut makro, meso, dan mikro. Sampah laut terdiri dari paling besar plastik 44%, kaca dan keramik 15%, kain 12%, karet 9%, busa plastik 3%, kayu 3%, logam 3%, kertas dan kardus 1%, dan bahan lainnya 10%. Paper ini merupakan ulasan naratif tentang bagaimana penanggulangan sampah laut di Indonesia dengan tujuan utama mengetahui langkah apa saja yang telah dilakukan oleh pemerintah Indonesia melalui kebijakannya. Beberapa cara telah dilakukan oleh pemerintah Indonesia untuk menanggulangi sampah laut. Pada tahun 2018 pemerintah Indonesia menerbitkan peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 83 tahun 2018, tentang penanganan sampah laut. Selain itu Pemerintah Indonesia juga membentuk National Plan of Action (NPOA) dan membuka diri bagi investor asing untuk berinvestasi pada rencana aksi tersebut, khususnya pada penanganan sampah plastik di lautan. Selain membentuk tim khusus dan aturan penunjangnya, kompleksnya masalah sampah laut juga harus diselesaikan dengan penelitian terpadu tentang sampah laut, dan juga melakukan perubahan dalam mental dan juga pola pikir sumber daya manusia Indonesia.

Katakunci: Pencemaran, Pantai Indonesia, Sampah laut

Abstract. Indonesia produces 33,113,277.69 tons of waste per year, in which 13,455,925.41 tons are unmanaged waste. From these data, it can be seen that Indonesia is still experiencing problems in waste management. Unmanaged waste is at risk of being carried away by river currents that lead to the sea., Not only land-based waste, marine debris must also be addressed. Marine debris could possibly come from activities on land or at sea. Marine debris consists of three categories; macro, meso and micro marine debris. Marine waste consists mostly of plastic 44%, glass and ceramics 15%, cloth 12%, rubber 9%, plastic foam 3%, wood 3%, metal 3%, paper and cardboard 1%, and other materials 10%. This paper is a narrative review of how marine waste is managed in Indonesia, with the main objective of finding out what steps have been taken by the Indonesian government through its policies. Several methods have been done by the Indonesian government to deal with marine debris. In 2018, the Indonesian government issued Presidential regulation number 83 of 2018, concerning the handling of marine debris. Besides that, Indonesian government also formed National Plan of Action (NPOA) and opened itself to foreign investors to invest on that action plan, especially

Email Korespondensi: izzulfikry@ppns.ac.id

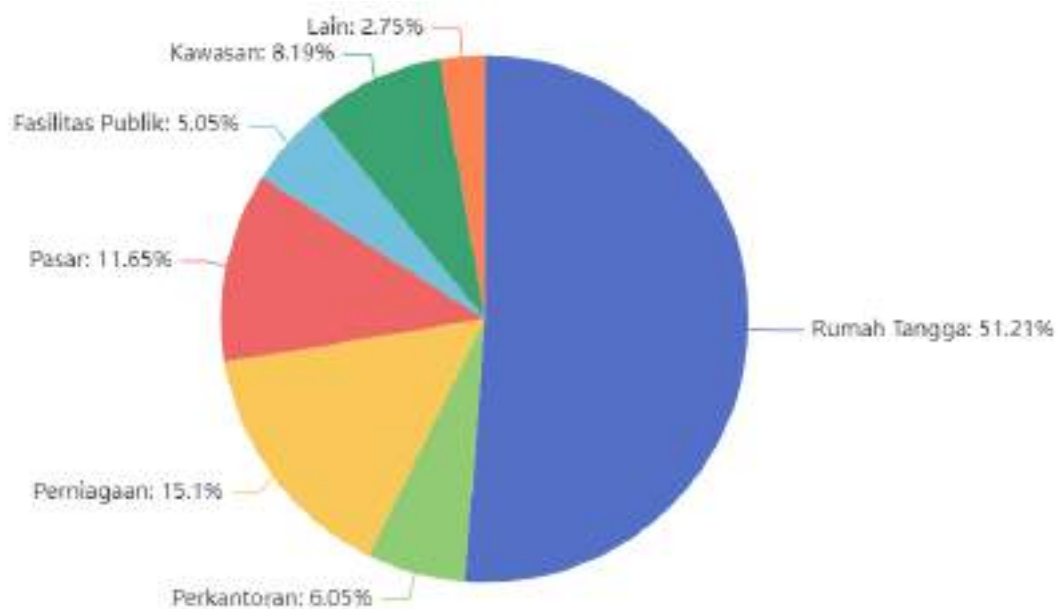
doi: 10.35991/jtm.v7i2.40

on addressing marine plastic debris. In addition to forming special team and supporting regulations, the complexity of marine debris problems must also be resolved by integrated research on marine debris, and also make changes on Indonesian human resources' mentality and mindset.

Keywords: Indonesian Beach, Marine Debris, Pollution.

1. Pendahuluan

Sampah merupakan permasalahan umum yang dirasakan oleh berbagai negara. Berkembangnya kebutuhan manusia merupakan salah satu hal yang ditengarai menjadi salah satu penyebab meningkatnya jumlah sampah. Sebagai negara dengan jumlah penduduk 270.20 juta jiwa (BPS, 2024), tentunya Indonesia tidak terlepas dari permasalahan sampah. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024), mencatat bahwa Indonesia menghasilkan 37,811,293.71 ton sampah per tahun. Sampah-sampah berasal dari berbagai berbagai sumber. Gambar 1 menunjukkan sumber sampah Indonesia.



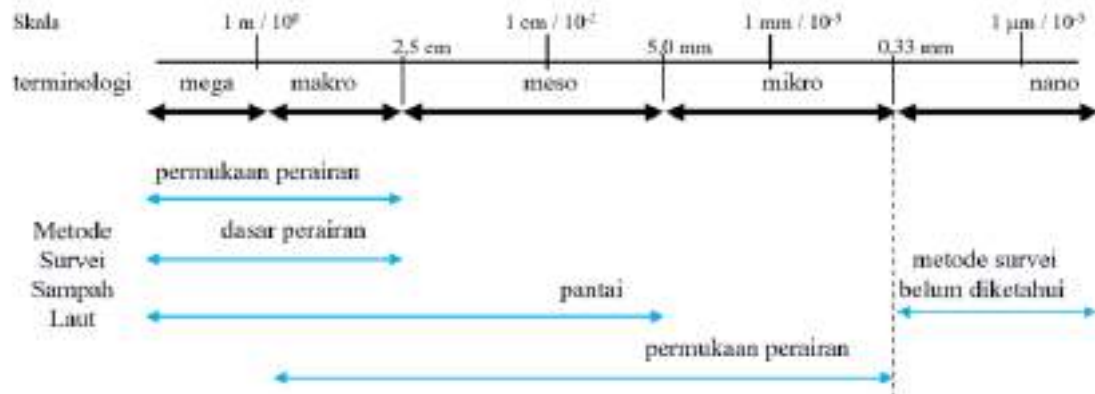
Gambar 1 Sumber Sampah di Indonesia
Sumber : (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024)

Dari 37,811,293.71 sampah per tahun yang dihasilkan, terdapat 14,163,963.52 ton sampah yang tidak terkelola (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024). Sampah-sampah yang tidak terkelola di darat tersebut rawan terbawa oleh arus sungai yang terjadi karena keterbatasan pengelolaan sampah di darat. Sampah yang terbawa arus sungai tersebut akan terbawa hingga ke hulu dan akan mencemari laut dan pantai. Sampah yang terdapat pada lingkungan pantai dan laut tersebut disebut sampah laut atau marine debris. Penelitian ini membahas tentang penanganan yang dilakukan untuk menanggulangi sampah laut.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Klasifikasi sampah laut

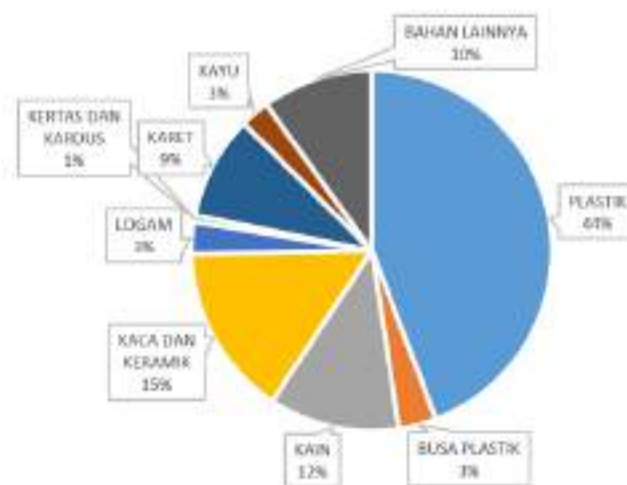
Sampah laut diklasifikasikan menjadi beberapa kelas yaitu, mega, makro, meso, mikro, dan nano (Lippiatt et al., 2013). Gambar 2 menunjukkan ukuran-ukuran pada setiap jenis sampah. Sampah laut mega berukuran lebih dari 1 m, makro 25 mm – 1 m, meso 5 mm – 25 mm, mikro antara 0.33 mm – 5 mm, sedangkan nano berukuran kurang dari 0,33 mm (Ardan, Rafi'i, & Ghitarina, 2022). Jenis sampah laut yang ditemukan pada beberapa penelitian di Indonesia yaitu jenis ukuran makro, meso, dan mikro (Chotimah, Iswardhana, & Rizky, 2021) (Direktorat Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Pesisir dan Laut, 2017; Djaguna et al., 2019; Ondara, 2020).



Gambar 2 Klasifikasi sampah menurut ukuran
 Sumber : (Ondara, 2020)

2.1.1. Sampah laut makro

Sampah laut jenis makro merupakan sampah yang berada dilaut yang berukuran lebih dari 25 mm (Yona, Prikah, & As'adi, 2020). Pada tahun 2022, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan melakukan pemantauan sampah laut pada 23 titik pantai di seluruh Indonesia. Dari hasil pemantauan tersebut, sampah plastik merupakan sampah laut makro dengan jumlah terbanyak yang ditemukan. Beberapa penelitian juga mengungkapkan bahwa Indonesia merupakan produsen sampah laut plastik terbesar ke dua setelah china (Iskandar, Surinati, Cordova, & Siong, 2021). Sedangkan dalam hal konsumsi plastik, Indonesia berada di tempat ketiga setelah Malaysia dan China (Fauziah, S.H., et al., 2021). Gambar 3 merupakan hasil presentasi dari komposisi sampah laut makro.



Gambar 3 Hasil pemantauan sampah laut makro
 Sumber : (PPKL, Dirjen, 2022)

Berdasarkan Gambar 3., sampah laut yang ada di perairan laut Indonesia merupakan sampah plastik. Persentase sampah plastik di perairan laut Indonesia adalah 44%. Setiap tahun, laju timbunan sampah plastik di laut mencapai sembilan sampai 23 juta ton per tahun. Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembuangan sampah plastik adalah 253 gram CO₂/kg plastik (Guan, Jin, Wei, & Yan, 2023)

2.1.2. Sampah laut meso

Sampah laut meso merupakan sampah laut yang berukuran kurang dari 5 - 25 mm (PPKL, Dirjen, 2023). Kumpulan sampah meso, terdiri dari beberapa komposisi seperti Kayu sebesar 35.06%, Plastik sebesar 24.96 %, Kaca dan keramik sebesar 15.86%, Bahan lainnya sebesar 13.66%. Kumpulan sampah makro apabila ditinjau berdasarkan persentase dari berat antar jenis komposisi menjadi: Plastik sebesar 31.44%, Kayu sebesar 29,75% Kaca dan keramik sebesar 16,17%, Bahan lainnya sebesar 10.47% (PPKL, Dirjen, 2023).

2.1.3. Sampah laut mikro

Micro debris merupakan sampah laut yang berukuran kurang dari 5 mm (PPKL, Dirjen, 2022). Sampah laut mikro merupakan sampah laut yang paling mudah mencemarkan biota laut, terutama ikan.

2.2. Sumber sampah laut

Sampah laut di Indonesia berasal dari dua sumber, yakni sampah dari dalam negeri dan juga dari luar negeri, dimana sampah tersebut dibagi lagi menjadi tiga sektor, yaitu dari sektor darat, laut, dan lintas batas (Purba, et al., 2019)

2.2.1. Sektor darat

Sektor darat memiliki sumbangsih sampah terbesar. Sektor darat menyumbang 80% sampah, yang berasal dari terbatasnya penanganan sampah di darat (PPKL, Dirjen, 2022). Sampah di darat yang berasal dari kota maupun desa juga terbawa ke laut melewati sungai-sungai serta kurangnya kesadaran masyarakat akan pentingnya tidak membuang sampah di sungai juga merupakan faktor banyaknya sampah yang terhanyut. Selain itu, padatnya pemukiman di area sekitar pantai juga menyebabkan tingginya jumlah sampah di area pantai (Purba, et al., 2019).

2.2.2. Sektor laut

Sampah yang berasal dari laut bersumber dari aktivitas-aktivitas dilaut, diantaranya dari kapal niaga, kapal penangkap ikan, kapal perang dan riset, kapal pesiar, fasilitas pengeboran lepas pantai, dan aktivitas budidaya perairan (Wardana & Azzahra, 2022). Aktivitas penangkapan ikan oleh nelayan juga menghasilkan banyak sampah, diantaranya jaring ikan, tali , dan lain-lain (Supit, et al., 2022)

2.2.3. Lintas batas

Angin, pasang surut, dan gelombang laut akan membawa sampah dari berbagai pulau bahkan negara ke perairan Indonesia (Purba et al., 2019). Sebagai negara yang berdekatan dengan Malaysia, Singapura, Filipina, Thailand, dan Australia, tentu sampah dari luar negeri sangat meungkin untuk terbawa masuk ke Indonesia dengan bantuan angin dan gelombang laut.

2.3. Dampak sampah laut

Sampah laut, terutama sampah plastic akan berdampak pada ekosistem laut, karena kecenderungan mereka terpecah menjadi ukuran yang lebih kecil (Fauziah et al., 2021). Banyak ikan-ikan yang dijual terkontaminasi oleh plastic ukuran mikro pada beberapa bagian tubuhnya, diantaranya insang, hati, saluran pencernaan, dan otot (Cordova, Purwiyanto, &

Suteja, 2019). Sampah laut berdampak pada berbagai sector, yaitu estetika, navigasi, biota laut, dan Kesehatan manusia.

2.3.1. Estetika

Sampah laut memberikan dampak negative terhadap keindahan ekosistem pantai (Purba et al., 2019). Banyak hal yang bisa dilakukan di area pantai. Area pantai adalah tempat yang tepat untuk wisata. Ketika sampah mencemari area pantai, maka nilai dari pantai tersebut akan berkurang. Wisatawan akan berkurang ketertarikannya ketika sampah berserakan, hal tersebut akan mengurangi jumlah wisatawan, dan tentunya perputaran ekonomi di area pantai tersebut juga akan berkurang.



Gambar 5 Ilustrasi pantai yang kotor karena sampah

Sumber: neuralwriter.com/

2.3.2. Navigasi

Sampah laut tentunya sangat berbahaya bagi nelayan maupun kapal berukuran kecil lainnya. Hal tersebut terjadi karena ada kemungkinan bahwa sampah tersebut akan mengganggu propeller dari kapal kecil tersebut (Sagita, Sianggaputra, & Pratama, 2022). Sampah tersebut akan membuat propeller kapal macet dan tidak dapat difungsikan.

2.3.3. Biota laut

Biota laut merupakan salah satu makhluk hidup yang terdampak oleh sampah laut. Beberapa penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa organisme laut di Indonesia terdampak oleh efek negative dari sampah laut (Iskandar et al., 2021). Contohnya adalah kerang hijau. Kerang hijau di area pantai laut Jawa mengandung partikel sampah laut mikro (Cordova, Purwiyanto, & Suteja, 2019). Selain itu, sampah laut juga berdampak pada ikan, kura-kura, burung laut, dan mamalia laut (Purba et al., 2019). Sampah laut juga dapat mengotori dasar laut, sehingga mengganggu habitat makhluk yang hidup di dasar laut (PPKL, Dirjen, 2022).



Gambar 6 Ikan tercemar sampah laut di Makassar
Sumber : (PPKL, Dirjen, 2022)

2.3.4. Kesehatan manusia

Ikan merupakan penyedia 55,0% – 58,1% protein hewani di Indonesia (PPKL, Dirjen, 2022). Berdasarkan data yang telah didapatkan diatas, dapat dikatakan bahwa Ikan merupakan konsumsi utama orang Indonesia. Jika ikan tercemar sampah, maka akan berbahaya bagi tubuh manusia. Studi sebelumnya mengungkapkan bahwa zat-zat yang digunakan dalam industri plastik terdeteksi dalam tubuh manusia, zat-zat tersebut adalah phthalates, bisphenol A (BPA), dan zat aditif lainnya (Permana, Aprilliani, & Rizal, 2022). Phthalates merupakan zat yang berdampak negated bagi tubuh, zat tersebut dapat menyebabkan gangguan reproduksi (Arrigo, Impellitteri, Piccione, & Faggio, 2023). Selain itu adanya bisphenol A (BPA) pada tubuh manusia dapat memberikan dampak negative pada Kesehatan manusia diantaranya diabetes, penyakit jantung, dan toksisitas pada hati (Marliza, Eltrikanawati, & Arini, 2021)

3. Metode

Penelitian ini merupakan ulasan naratif yang menggambarkan penanganan sampah, khususnya sampah laut di wilayah Indonesia. Analisis mengenai klasifikasi sampah laut, sumber sampah laut, dan penanganannya dibahas melalui review dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Gambar 7 menunjukkan tahapan penelitian *narrative-review* ini. Studi literatur dilakukan dengan meninjau berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya maupun dari peraturan-peraturan yang ada. Hasil literasi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan peraturan pemerintah dianalisis untuk mendapatkan perumusan tentang bagaimana penangan sampah laut yang ada, khususnya di wilayah Indonesia.



Gambar 7 Tahapan penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Banyak peraturan dan komitmen yang telah dibuat oleh pemerintah Indonesia. Pada tahun 2012, Presiden Republik Indonesia mengesahkan peraturan tentang pencegahan pencemaran yang diakibatkan oleh sampah dari kapal (Presiden Republik Indonesia, 2012) (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 29 Tahun 2012, 2012). Peraturan tersebut merupakan bukti seriusnya pemerintah Indonesia dalam penanganan sampah dilaut, dimana pemerintah Indonesia resmi meratifikasi *Annex V of the International Convention for The Prevention of Pollution from Ships 1973 as Modified by The Protocol of 1978 Relating Thereto*. Terdapat kapal yang berlayar di Indonesia yang telah melaksanakan aturan tersebut (Yulianto & Winarni, 2023), namun juga ada kapal yang belum mengimplementasikan aturan tersebut (Bagaskara, P, & Purwanto, 2022).

Pemerintah Indonesia kembali menekankan komitmennya untuk mengurangi sampah laut hingga 70% (Coordinating Ministry of Maritime Affairs Indonesi, 2017). Terdapat lima pilar untuk mencapai tujuan tersebut, yaitu improving behavioral change, reducing land-based leakage, reducing sea-based leakage. Reducing plastic production and use, dan enhancing funding mechanisms, policy reform and law enforcement (Coordinating Ministry of Maritime Affairs Indonesi, 2017). Presiden Indonesia juga membentuk Indonesia's National Plan of Action (NPOA) on Marine Plastic Debris yang bertujuan untuk, meningkatkan Pendidikan masyarakat, mengurangi kebocoran di darat, mengurangi kebocoran maritim, menciptakan insentif dan disinsentif yang memperkuat perubahan perilaku, dan penguatan penelitian dan pengembangan (Purba et al., 2019). Pada tahun 2018 pemerintah Indonesia juga menerbitkan peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 83 tahun 2018, tentang penanganan sampah laut (Presiden Republik Indonesia, 2018). Pemerintah Indonesia juga membuka peluang investasi bagi investor yang ingin membantu NPOA dalam menangani sampah laut. Terdapat beberapa negara yang berinvestasi, yakni Denmark dan Norwegia yang masing -masing berinvestasi lebih dari 800,000 dan 1,4 juta dolar AS (Purba et al., 2019).

Beberapa penelitian sebelumnya juga memberikan rekomendasi terkait penganan sampah di laut. (Purba, et al., 2019) merekomendasikan untuk melakukan penelitian yang lebih terpadu mengenai identifikasi mikroplastik dalam produk makanan laut dan juga efeknya pada konsumen. Selain itu, harus ada perubahan pada mental dan juga pola pikir. Perubahan pada mental dan pola pikir sumber daya manusia merupakan cara yang lambat, namun hal tersebut dapat bertahan lama. Merubah mental dan cara berpikir dapat membuat generasi saat ini mewariskannya pada generasi yang akan datang. Tentunya hal tersebut tidak mudah, karena membutuhkan banyak usaha dan konsistensi. Perubahan mental dan pola pikir harus dimulai sejak balita. Pendidikan tentang pentingnya membuang sampah pada tempat sampah dan Pendidikan tentang pengelolaan sampah harus dimulai sejak Pendidikan anak usia dini maupun taman kanak-kanak, sehingga proses sugesti dapat lebih mudah dilakukan. Selain itu, reward dan punishment juga harus diberikan terhadap masyarakat, dimana saat ini hanya ada reward tanpa punishment yang jelas (Riksfardini & Asmara, 2023).

Di tahun 2023 Pemerintah Indonesia menyatakan keseriusannya untuk mengurangi volume sampah yang mengalir ke laut dan menanggulangi sampah plastik melalui Menteri koordinator bidang kemaritiman dan investasi, Luhut B. Panjaitan pada Ecosperity Week 2023 di Singapura pada tanggal 6-8 Juni 2023 dengan tema "Breakthrough for Net Zero". Data penanganan sampah laut yang dihimpun sejak penerbitan Peraturan Presiden Nomor 83

Tahun 2018 hingga tahun 2022, 36% atau sebesar 217,702 ton sampah yang akan menuju ke laut berhasil dibendung oleh Indonesia, Dimana persentase tersebut meningkat daripada tahun 2018 sebesar 615,675 ton (Kemenkomarves, 2023). Pemerintah Indonesia juga berkomitmen untuk menangani sampah laut sebesar 70% hingga tahun 2025.

Usaha tersebut dicapai dengan melalui mengoptimalkan pengurangan sampah dengan mencegah munculnya sampah, menggalakkan penggunaan kemasan daur ulang atau produk yang dapat di daur ulang, juga upaya penanggulangan sampah dengan memilah, mengumpulkan, mengangkut, mengolah, dan memproses akhir sampah. Berdasarkan data, 80% kebocoran sampah ke laut bersumber dari darat sehingga pemerintah mengambil langkah dengan mempercepat penanganan sampah yang terintegrasi yang salah satunya dengan membangun revitalisasi dan TPS-3R berbasis masyarakat, membangun Refuse Derified Fuel (RFD), juga menerapkan Material Recovery Facilities (MRF). Penerapan teknologi RDF dan MRF diharapkan dapat menyelesaikan masalah sampah sebesar 11.000/hari (Kemenkomarves, 2023).

Yang terbaru, perihal pengelolaan sampah disampaikan pada tanggal 5 September 2024 oleh Direktur Sekolah Dasar, Muhammad Hasbi, dalam rapat koordinasi dan evaluasi Rencana Aksi Nasional Penanganan Sampah Laut (RAN PSL) memperkenalkan program Sekolah Pantai Indonesia (SPI) (Direktorat Sekolah Dasar, 2024). Program tersebut difokuskan untuk masyarakat pesisir pantai khususnya anak sekolah untuk membangkitkan semangat kesadaran lingkungan bahari sejak dini. Program dilaksanakan dengan menerapkan system 4A yaitu Amati, Analisis, Ajarkan, dan Aksi sehingga hasil yang diharapkan yaitu terbentuknya agen perubahan bagi lingkungan dapat tercipta.

Sehingga dapat diketahui bahwa kebijakan penanganan sampah di Indonesia telah meliputi semua sumber dan semua cara. Tabel 1 menunjukkan kebijakan penanganan sampah di Indonesia, jenis sampah yang relevan, sumber sampah, langkah-langkah implementasinya, dan tantangan yang dihadapi:

Tabel 1. Kebijakan Penanganan Sampah di Indonesia

No.	Kebijakan/ Program	Jenis Sampah	Sumber Sampah	Implementasi	Tantangan
1.	Perpres No. 97 Tahun 2017	Sampah Plastik Sekali Pakai	Aktivitas Rumah Tangga, Retail	Pengurangan penggunaan kantong plastik, sosialisasi, dan kebijakan denda.	Minimnya kesadaran masyarakat dan alternatif yang terbatas.
2.	Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah	Plastik Sekali Pakai, Limbah Berbahaya	Rumah Tangga, Retail, Industri	Menetapkan kebijakan dan strategi nasional pengelolaan sampah, memfasilitasi kerja sama antardaerah, dan koordinasi pembinaan kinerja daerah	Kurangnya Kapasitas Infrastruktur Daerah, Ketidakpedulian Masyarakat
3.	NPOA (National	Sampah Organik	Aktivitas Rumah	Program	Kurangnya

No.	Kebijakan/ Program	Jenis Sampah	Sumber Sampah	Implementasi	Tantangan
	Plan of Action)		Tangga, Pasar	komposting, pelatihan, dan penguatan bank sampah.	fasilitas dan infrastruktur untuk pengolahan.
4.	MARPOL (Konvensi Internasional)	Limbah Berbahaya	Aktivitas Laut (Kapal dan Perikanan)	Regulasi pengelolaan limbah kapal, pelatihan bagi awak kapal.	Penegakan hukum yang lemah dan kurangnya sosialisasi.
5.	Program Penanganan Sampah Nasional	Sampah Campuran (domestik)	Aktivitas Rumah Tangga, Komunitas	Pembangunan infrastruktur, program pengurangan, dan daur ulang.	Masih banyak daerah yang kekurangan fasilitas yang memadai.
6.	Inisiatif Pengurangan Ghost Nets	Ghost Nets	Aktivitas Laut (Nelayan)	Kampanye pengurangan jaring yang hilang, pelatihan nelayan.	Kurangnya kesadaran nelayan dan aksesibilitas program.
7.	Kebijakan Daerah (Contoh: DKI Jakarta)	Sampah Plastik	Aktivitas Urban (Perkotaan)	Penerapan denda bagi pelanggar, program edukasi, fasilitas daur ulang.	Tingginya volume sampah dan resistensi terhadap perubahan.
8.	Retribusi Sampah Di Beberapa Daerah Di Indonesia	Plastik Sekali Pakai, Limbah Organik	Rumah Tangga, Retail	Kampanye meningkatkan kesadaran masyarakat, pemerataan dan peningkatan infrastruktur pengelolaan sampah, kolaborasi antarinstansi	Kesadaran Masyarakat, Infrastruktur Teknologi, Keterbatasan SDM, Pemahaman Tarif, Kepatuhan Pembayaran
9.	Program Zero Waste Kota-Kota Di Indonesia	Kayu/Ranting, Kertas/Karton, Logam, Kompos Organik	Rumah Tangga, Industri	Pemilihan sampah sejak awal, penambahan daur ulang, dan pemanfaatan teknologi digital	Kurangnya Tanggung Jawab Produsen, Penegakan Hukum Yang Belum Optimal

5. Kesimpulan

Sampah laut merupakan masalah yang harus diatasi. Sampah laut bersumber dari dalam negeri maupun dari negara luar. Diketahui presentasi penyumbang sampah laut terbesar yaitu

sampah jenis plastik sebesar 44%. Sampah laut tersebut dapat berasal dari aktivitas di darat, maupun di laut. Sampah laut berdampak pada keindahan, navigasi, biota laut, dan juga kesehatan manusia. Dari dampak-dampak tersebut, dapat dinyatakan bahwa sampah laut juga berpengaruh terhadap ekonomi. Pemerintah Indonesia telah melakukan beberapa cara, yakni membentuk NPOA, menerbitkan peraturan presiden, dan juga menghimpun dukungan berupa investasi dari negara lain. Terdapat beberapa hal yang perlu ditingkatkan untuk menanggulangi sampah laut, yang pertama adalah melakukan penelitian terpadu tentang sampah laut, dan juga melakukan perubahan dalam mental dan juga pola pikir sumber daya manusia Indonesia.

Daftar Pustaka

- Ardan, A., Rafi'i, A., & Ghitarina, G. (2022). Identifikasi Sampah Laut Makro di Pantai Le Grandeur Kota Balikpapan Kalimantan Timur. *Tropical Aquatic Sciences*, 2, 16-22.
- Arrigo, F., Impellitteri, F., Piccione, G., & Faggio, C. (2023). Phthalates and their effects on human health: Focus on erythrocytes and the reproductive system. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 3, 1-6.
- Bagaskara, A. L., P, M. T., & Purwanto, S. (2022). Penerapan MARPOL Annex V Dalam Pengolahan Sampah Di Atas Kapal MT. Serena III. *Jurnal 7 Samudra*, 13-16.
- BPS. (2024). *Jumlah Penduduk Pertengahan Tahun 2022-2024*. Tratto il giorno September 2024 da <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTk3NSMy/jumlah-penduduk-pertengahan-tahun--ribu-jiwa-.html>
- Chotimah, H., Iswardhana, M., & Rizky, L. (2021). Model Collaborative Governance Dalam Pengelolaan Sampah Plastik Laut Guna Mewujudkan Ketahanan Lingkungan Maritim Di Kepulauan Seribu. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 348-376.
- Coordinating Ministry of Maritime Affairs Indonesi. (2017). *Indonesia's Plan of Action on Marine Plastic Debris 2017-2025*. Jakarta: Marine Pollution Bulletin.
- Cordova, M., Purwiyanto, A., & Suteja, Y. (2019). Abudance and Characteristics of Microplastics in The Northen Coastal Waters of Surabaya, Indonesia. *Marine Pollution*, 142, 183-188.
- Direktorat Sekolah Dasar. (2024). *Aksi Nasional Penanganan Sampah Laut: Pemerintah Tak Tinggal Diam*. Tratto il giorno September 2024 da <https://ditpsd.kemdikbud.go.id/artikel/detail/aksi-nasional-penanganan-sampah-laut-pemerintah-tak-tinggal-diam>
- Fauziah, S.H., Rizman, M., Cheah, W., Loh, K., Sharma, S., Noor, N., . . . George, M. (2021). *Marine Debris in Malaysia: A Review on The Pollution Intensity and Mitigating Measures* (167 ed.). Jakarta: Marine Pollution Bulletin .
- Guan, M., Jin, H., Wei, W., & Yan, M. (2023). Degradation of Polyethylene Terephthalate (PET) and Polypropylene (PP) Plastics in Seawater. *DeCarbon*, 1, 1-9.
- Iskandar, M., Surinati, D., Cordova, M., & Siong, K. (2021). *Pathways of Floating Marine Debris in Jakarta Bay, Indonesia*. Jakarta: Marine Pollution Bulletin.
- Kemenkomarves. (2023). *Komitmen Tangani Sampah Laut, Menko Luhut: Indonesia Memberikan Contoh Kongkrit, bukan hanya wacana !* Tratto da <https://maritim.go.id/detail/komitmen-tangani-sampah-laut-menko-luhut-indonesia-memberikan-contoh-kongkrit-bukan-hanya-wacana>

- Marliza, H., Eltrikanawati, T., & Arini, L. (2021). Edukasi Bahaya Penggunaan Plastik Bagi Kesehatan. *Jurnal Pustaka Mitra*, 1, 10-14.
- Ondara, K. (2020). *Sampah Laut di Indonesia: Potensi dan Metode Riset*. Jakarta: Amafrad Press.
- Permana, R., Aprilliani, I., & Rizal, A. (2022). Increasing Community Awareness of Cintaratu Village, Pangandaran Regency as The Hulu Region Of The Impact And Hazards Of Plastic Waste on Coastal Ecosystems. *Journal of Community Services*, 3, 20-28.
- PPKL, Dirjen. (2022). *Laporan Kinerja Tahun 2022 Ditjen Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan*. Jakarta: Direktorat Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Pesisir dan Laut.
- PPKL, Dirjen. (2023). *Laporan Kinerja Tahun 2023 Ditjen Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan*. Jakarta: Direktorat Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Pesisir dan Laut.
- Presiden Republik Indonesia. (2012). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 29 Tahun 2012*. Jakarta.
- Presiden Republik Indonesia. (2018). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 83 Tahun 2018 tentang Penanganan Sampah Laut*. Jakarta.
- Purba, N., Handyman, D., Pribadi, T., Syakti, A., Pranowo, W., Harvey, A., & Ihsan, Y. (2019). *Marine Debris in Indonesia: A Review of Research and Status* (146 ed.). Jakarta: Marine Pollution Bulletin.
- Riksfardini, M., & Asmara, Q. (2023). Analisis Implementasi Kebijakan Penanganan Sampah Laut di Wilayah Pesisir Muara Angke Jakarta Utara. *Penthahelix: Jurnal Administrasi Publik*, 2, 217-236.
- Sagita, A., Sianggaputra, M., & Pratama, C. (2022). *Analisis Dampak Sampah Plastik di Laut terhadap Aktivitas Nelayan Skala Kecil di Jakarta*. Jakarta: Buletin Ilmiah Marina.
- Supit, S., Pelle, W., Paulus, J., Manembu, I., Ginting, E., & Sangari, J. (2022). Komposisi dan Kepadatan Sampah Dasar Laut Berukuran Meso dan Makro di Perairan Pantai Manado. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 10, 158-169.
- Wardana, G., & Azzahra, A. (2022). Pencemaran Laut (Kajian Ecosophu dalam Pandangan Seyyed Hossein Nasr dan Refleksinya terhadap Strategi Penanggulangan Pencemaran Laut di Indonesia. *Prosiding Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam dan Sains*, 4, 43-48.
- Yona, D., Prikah, F., & As'adi, M. (2020). Identifikasi dan Perbandingan Kelimpahan Sampah Plastik Berdasarkan Ukuran pada Sedimen di Beberapa Pantai Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 375-383.
- Yulianto, & Winarni, A. V. (2023). Implementasi Marine Polltuin (MARPOL) 73/78 Annex V Peraturan Tentang Pencegahan Polusi Sampah/Limbah Yang Berasal Dari KM. Adhiguna Tarahan. *Jurnal Saintek Maritim*, 201-209.