

Vol. 8 No. 1 (2026)



J-MOVE

JURNAL TEKNIK MESIN



e-ISSN: 2656-1158

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA

**J-MOVE: JURNAL TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA**

Dewan Editorial

- Pengarah** : Dekan Fakultas Teknik UMI
- Pembina** : Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UMI
- Ketua Penyunting** : Dr. Ir. Mahmuddin, M.T.
- Wakil Ketua** : Dr. Eng. Kusno Kamil, S.T., M.Eng. Mngt.
- Penyunting Pelaksana** :
- Dr. Faisal Habib, M.T., IPM.
 - Dr. Asmeati, S.T., M.T.
 - Muhammad Imam Arif, S.T., M.T.
 - Gito Adhitya Lawani, S.T., M.T.
 - Penyunting Ahli/Mitra Bestari*
- Pelaksana Tata Usaha** :
- Uthamy Syarifah RMZ, S.Pd.
- Alamat Redaksi** :
- Kantor Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumoharjo, Km. 05,
Kota Makassar, 90231.

*) Pakar External Bidang Rekayasa Teknik Mesin

**J-MOVE: JURNAL TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA**

Daftar Isi

PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1020 DALAM PROSES PENGELASAN SMAW <i>Muhammad Ichsan, Muhammad Halim Asiri, Kusno Kamil</i>	1-5
ANALISIS SIFAT MEKANIS BAHAN KOMPOSIT POLIMER DENGAN SERAT TAPIS KELAPA <i>Nurul April Liza, Muhammad Balfas, Zulkifli Manguluang</i>	6-9
RANCANGAN LIFTING TOOLS PENYAMBUNG TRACK DOZER TYPE D8R/T <i>Irdiyansah, Mardin, Hamri</i>	10-14
KARAKTERISTIK TEKANAN PADA DAERAH UPSTREAM DAN DOWNSTREAM PEMBESARAN LUAS PENAMPANG DENGAN VARIASI PANJANG PIPA RE-ENTRANT <i>Mahmuddin, Agus Wahyudi, Muhammad Syahrir</i>	15-21
ANALISA KERUSAKAN CYLINDER BOOM PADA CAT BACKHOE LOADER 444F <i>Hendra Nurdin, Faisal Habib, Sungkono</i>	22-26
DESAIN CRANE DENGAN KAPASITAS 2 TON PADA APLIKASI JEMBATAN TIMBANG MENGGUNAKAN APLIKASI SOFTWARE AUTOCAD 2020 <i>Agus Putra Witama, Faisal Habib, Mardin</i>	27-32
PENGARUH SAMBUNGAN PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO MATERIAL WEAR PLATE <i>Hendro, Muhammad Balfas, Akhiruddin Pasdah</i>	33-37

ANALISIS PENGARUH KEPADATAN KENDARAAN TERHADAP
KONSENTRASI KARBON MONOKSIDA (CO) DI KOTA MAKASSAR

Ahmad Rahman, Satar Yunus, Sulaeman Borahima

38-42

ANALISIS KINERJA ORIFICE PLATE GEOMETRI SUDUT RUNCING
(*SHORT SQUARE EDGED ORIFICE WITH BACK BEVEL ANGLE*)

Mahmuddin, Wahida, Sulaiman Borahima

43-48

Pengaruh Media Pendingin pada Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 1020 dalam Proses Pengelasan SMAW

Muhammad Ichsan^{1*}, Muhammad Halim Asiri², Kusno Kamil²

¹ Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

^{2,3} Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

* Penulis Korespondensi.

J-MOVE
JURNAL TEKNIK MESIN



Riwayat Artikel

Diterima: 3 Januari 2026

Selesai Revisi: 15 Februari 2026

Disetujui: 9 Maret 2026

Tersedia daring: 15 Maret 2026

Alamat E-mail

¹ muh.ichsan.xab.c@gmail.com

² muhammadhalim.asiri@umi.ac.id

³ kusno.kamil@umi.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan media pendingin terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1020 dalam proses pengelasan dengan metode SMAW. Dalam proses pengelasan SMAW, variasi media pendingin seperti coolant, udara, dan oli digunakan untuk mempengaruhi sifat mekanik hasil las. Setelah proses pengelasan, pengujian kekerasan dilakukan pada area las dan HAZ menggunakan pengujian *Vickers*, pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan *Scanning elektron microscope* untuk menganalisis perubahan yang terjadi. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa pada pengelasan SMAW baja AISI 1020 terhadap daerah las dan HAZ lebih dominan fasa ferrite dibanding fasa pearlite, baja dengan karbon rendah akan mengandung lebih banyak ferrite dibanding pearlite dan proses pendinginan lambat setelah pemanasan juga dapat meningkatkan kandungan ferrite. Hal ini dapat dilihat pada nilai kekerasan pada daerah HAZ dengan media pendingin oli yang dimana memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan pendinginan udara dan coolant. Hasil pengujian kekerasan pada daerah LAS memiliki nilai kekerasan rata-rata yang terbesar terdapat pada variasi pendinginan coolant sebesar 134,4 N/mm², sedangkan nilai kekerasan rata-rata yang terkecil terdapat pada pendinginan udara bebas sebesar 102,6 N/mm². Pada daerah HAZ memiliki nilai kekerasan rata-rata yang terbesar terdapat pada variasi pendingin oli sebesar 183,6 N/mm² dan nilai kekerasan rata-rata yang terkecil terdapat pada pendinginan udara bebas sebesar 99,8 N/mm².

Kata kunci: Pengelasan SMAW, Media Pendingin, Baja AISI 1020, Uji Kekerasan, Uji Struktur Mikro.

Abstract

This study aims to determine the effect of cooling media on the hardness and microstructure of AISI 1020 steel during SMAW welding. In the SMAW welding process, variations in cooling media, such as coolant, air, and oil, are used to affect the mechanical properties of the weld. After the welding process, hardness testing is performed on the weld area and HAZ using Vickers testing, and microstructure observation is carried out using a scanning electron microscope to analyze the changes that occur. The SEM test results show that in the welding of SMAW AISI 1020 steel, the weld area and HAZ are more dominant in the ferrite phase than in the pearlite phase. Steel with low carbon will contain more ferrite than pearlite, and slow cooling after heating can also increase the ferrite content. This can be seen in the hardness value in the HAZ area with oil cooling medium, which has the highest hardness value compared to air cooling and coolant. The results of the hardness test in the LAS area showed the largest average hardness value in the coolant-cooling variation at 134.4 N/mm², while the smallest average hardness value was found in the free-air cooling at 102.6 N/mm². In the HAZ area, the largest average hardness value is found in the oil-cooler variation at 183.6 N/mm², and the smallest average hardness value is found in free-air cooling at 99.8 N/mm².

Keywords: SMAW Welding, Cooling Media, AISI 1020 Steel, Hardness Test, Microstructure Test.

1. PENDAHULUAN

Proses pengelasan merupakan salah satu metode penyambungan logam yang paling banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti industri otomotif, konstruksi, dan manufaktur. Salah satu jenis pengelasan yang populer adalah pengelasan busur manual (*Shielded Metal Arc Welding* atau SMAW), yang digunakan untuk menyambung berbagai jenis logam, termasuk baja karbon rendah seperti AISI 1020. Baja AISI 1020 adalah baja

karbon rendah yang memiliki sifat mudah dibentuk, dapat dilas dengan baik, serta memiliki harga yang relatif terjangkau. Namun, dalam proses pengelasan, sifat mekanik dari baja ini, seperti kekerasan dan struktur mikro, dapat mengalami perubahan yang signifikan karena suhu tinggi yang terjadi selama proses pengelasan.

Deutsche Industrie Normen (DIN) dalam Harsono dkk (1991:1), mendefinisikan bahwa "Las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair". Hal inilah yang

menginovasi teknik lasan ditekankan terhadap kecepatan produksi dan kualitas supaya mampu meningkatkan efisiensi dan menekan biaya produksi. Menurut *American Welding Society* (AWS) las merupakan teknik penyambungan logam melalui pemanasan lokal sampai titik leleh dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi. Pada kesempatan ini peneliti menggunakan las SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), yakni proses penyambungan logam menggunakan energi panas untuk mencairkan material dan elektroda sebagai pengisinya dari sambungan dua buah material tersebut.

Salah satu faktor yang mempengaruhi perubahan sifat mekanik dan struktur mikro pada area pengelasan adalah penggunaan media pendingin yang berbeda. Media pendingin berfungsi untuk mendinginkan material yang dipanaskan pada saat pengelasan, yang dapat mempengaruhi laju pendinginan dan akhirnya menentukan kekerasan serta struktur mikro pada zona pengelasan. Kecepatan pendinginan yang terlalu cepat atau terlalu lambat dapat menyebabkan terbentuknya mikrostruktur yang tidak diinginkan, seperti martensit yang terlalu keras atau struktur yang rapuh.

Penelitian mengenai pengaruh media pendingin pada kekerasan dan struktur mikro pada baja AISI 1020 dalam proses pengelasan SMAW masih terbatas, meskipun ada banyak penelitian terkait pengelasan dan peran pendinginan pada proses-proses pengelasan lainnya. Oleh karena itu, penting untuk mengeksplorasi bagaimana berbagai media pendingin, seperti air, minyak, atau udara, dapat mempengaruhi hasil pengelasan pada baja AISI 1020. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh media pendingin terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1020 pada proses pengelasan SMAW, serta untuk memperoleh informasi yang lebih mendalam guna meningkatkan kualitas dan daya tahan hasil pengelasan.

2. KAJIAN PUSTAKA

Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinu. Teknik pengelasan banyak digunakan untuk penyambungan antar batang pada konstruksi mesin dan konstruksi bangunan baja. Pada proses pembuatan sambungan dibuat menggunakan teknik pengelasan yang lebih ringan dan sederhana.

Media pendingin merupakan suatu substansi yang berfungsi dalam menentukan kecepatan pendinginan yang dilakukan terhadap material yang telah diuji dalam perlakuan panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan dan pengamatan struktur mikro material baja AISI 1020 yang dipengaruhi media pendinginan coolant dan oli.

Penggunaan pelumas sebagai media pendingin dalam proses perlakuan akan menyebabkan timbulnya lapisan karbon pada bagian permukaan spesimen yang akan mempengaruhi sifat mekanis spesimen. Tingkat lapisan ini tergantung pada laju shear, yaitu kecepatan tiap tebal film pelumas. Kerusakan pada zat aditif pelumas karena peningkatan temperatur dapat menyebabkan terjadinya penurunan ketebalan lapisan karbon saat

pelumas digunakan sebagai media pendingin. Penggunaan pelumas Mesran SAE 20W – 50 pada sebagian besar kendaraan bermotor mendorong peneliti untuk menggunakannya sebagai media pendingin.



Gambar 1. Spesimen Dengan Pendinginan Oli Mesran SAE 20W-50 dan Coolant Master Radiator.

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%. Baja karbon rendah sering disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah jenis *cold roll steel* dengan kandungan karbon 0,08% - 0,3% yang biasa digunakan untuk body kendaraan. Baja AISI 1020 merupakan salah satu baja karbon rendah dengan unsur karbon (1,40-1,70) % Ni, (0,90-1,40) % Cr, dan (0,20-0,30) % Mo. Baja AISI 1020 setara dengan baja DIN CK22.C22, JIS S20C.

Kekerasan ialah salah satu bentuk sifat mekanik dari suatu pengujian material, dan didefinisikan sebagai ketahanan sebuah material (benda kerja) terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan lain yang akan lebih keras (penetrator) kekerasan merupakan suatu sifat dari bahan yang sebagian besar dipengaruhi oleh unsur – unsur paduan dan kekerasan dari suatu bahan tersebut dapat berubah bila dikerjakan dengan cold worked seperti pengerolan, penarikan, pemakanan serta kekerasan dapat dicapai sesuai kebutuhan dengan perlakuan panas (Nasution, 2020).

Terakhir, tutup bagian kajian pustaka dengan menyatakan secara eksplisit di mana posisi penelitian Anda dalam konteks literatur yang ada. Misalnya, Anda bisa menjelaskan bahwa penelitian ini mengisi gap tertentu, mengembangkan pendekatan baru, atau menguji kembali suatu konsep dalam konteks yang berbeda.

Metalografi adalah metode yang digunakan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro hal ini struktur logam dan paduannya. Dengan pengujian mikrografi ini kita dapat mengetahui struktur dari suatu logam dengan memperjelas batas-batas butir logam dalam setiap butir, semua sel satuan teratur dalam satu arah dan satu pola tertentu. Analisis struktur mikro digunakan untuk menentukan apakah parameter struktur berada dalam spesifikasi tertentu dan didalam penelitian digunakan untuk menentukan perubahan-perubahan struktur mikro yang terjadi sebagai akibat komposisi atau perlakuan panas. Dengan analisa struktur mikro, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat fisis. (Andika Wisnujati 2017).

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah

mikroskop yang menggunakan elektron untuk menguji suatu obyek. Elektron ditembakkan dan berinteraksi dengan sampel sehingga menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang permukaan sampel meliputi topografi, morfologi, komposisi serta informasi kristalografi. Interaksi elektron dengan atom sampel akan menghasilkan berbagai macam sinyal diantaranya, *secondary electron* (SE), *back-scattered electron* (BSE), sinar-X karakteristik, elektron Auger serta *cathodaluminance*.

3. METODOLOGI

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental di laboratorium dengan metode kuantitatif untuk memperoleh data nilai kekerasan dan Struktur mikro. Proses penelitian dilaksanakan di Laboratorium Proses Produksi Universitas Muslim Indonesia, Laboratorium Material Politeknik ATI Makassar, serta Laboratorium Mikro Struktur Universitas Muslim Indonesia.

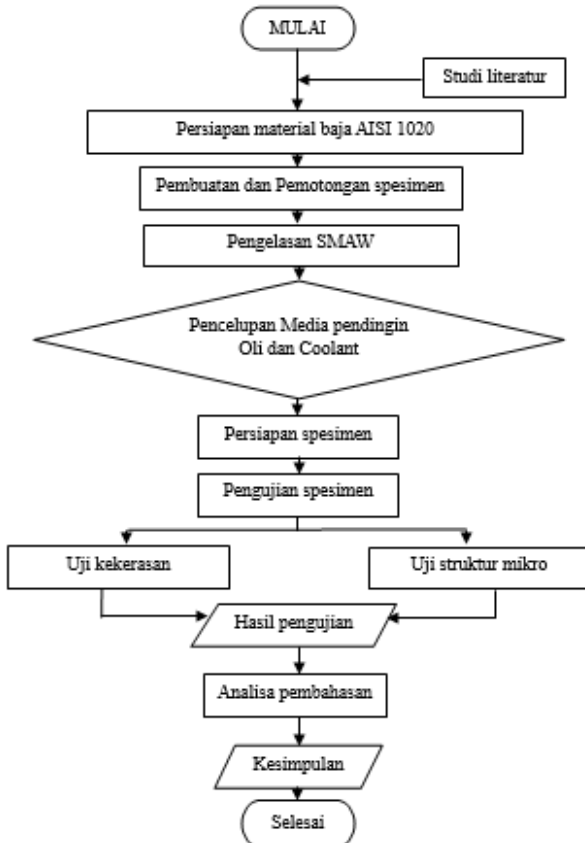
3.2. Variabel dan Parameter Penelitian

Variasi media pendingin pada hasil las-an akan menghasilkan nilai kekerasan dan hasil struktur mikro yang berbeda.

3.3. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan meliputi oli mesran SAE 20W-50, *coolant* master radiator, elektroda RD-460 E6013, dan baja AISI 1020, sedangkan alat yang digunakan meliputi mesin las SMAW, alat uji kekerasan dan alat *Scanning electron microscope*, gerinda, mata gerinda potong dan asah, mistar baja dan ragum.

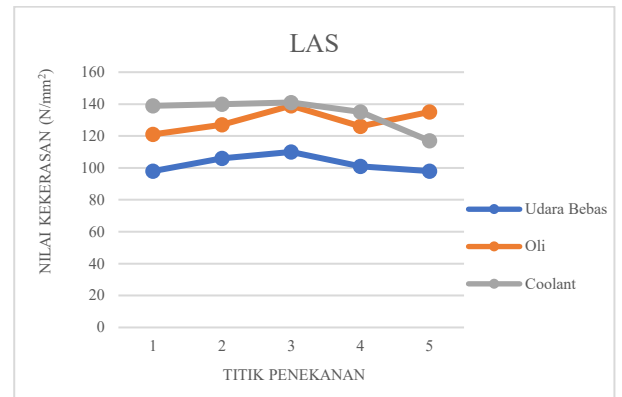
3.4. Prosedur Penelitian



3.5. Metode Analisis Data

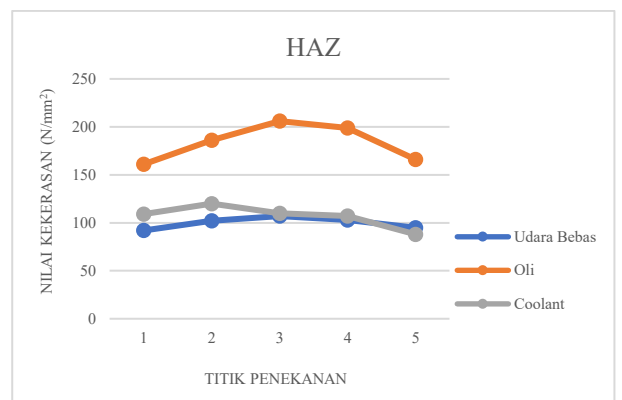
Data diperoleh dari dua metode yakni metode literatur dan metode eksperimental. Pada metode literatur, data diperoleh dengan cara mengumpulkan berbagai informasi dari jurnal-jurnal, dan mengacu pada standar pengujian Internasional ASTM E92 untuk uji kekerasan sebagai pedoman dalam pelaksanaan pengujian. Pada metode eksperimental, data yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium dan selanjutnya diolah, dihitung dan disajikan dalam bentuk grafik menggunakan Microsoft Excel versi 2507 *build* 16.0.19029.20136 untuk mempermudah proses pembacaan. Data yang telah diolah kemudian dianalisis secara sistematis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Nilai Kekerasan pada Daerah LAS

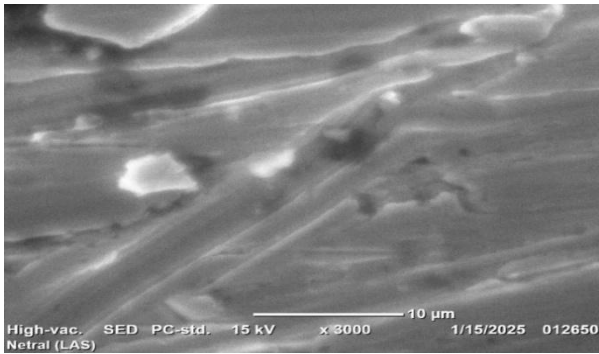
Berdasarkan Gambar 2. grafik pengujian kekerasan pengelasan SMAW pada daerah LAS memiliki nilai kekerasan rata-rata yang terbesar terdapat pada variasi pendinginan coolant sebesar 134,4 N/mm², dan nilai kekerasan rata-rata yang terkecil terdapat pada pendinginan udara bebas sebesar 102,6 N/mm².



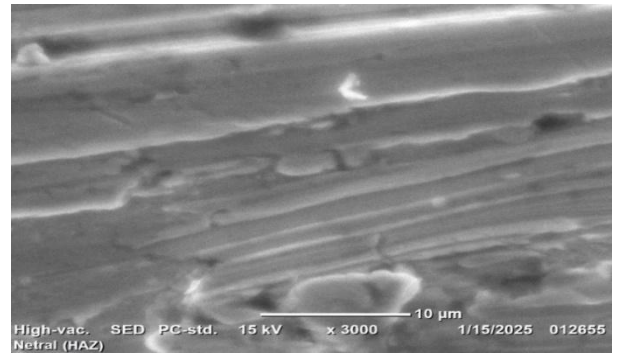
Gambar 3. Nilai Kekerasan Pada Daerah HAZ

Berdasarkan Gambar 3, grafik pengujian kekerasan pengelasan SMAW pada daerah HAZ memiliki nilai kekerasan rata-rata yang terbesar terdapat pada variasi pendingin oli sebesar 183,6 N/mm², dan nilai kekerasan rata-rata yang terkecil terdapat pada pendinginan udara bebas sebesar 99,8 N/mm².

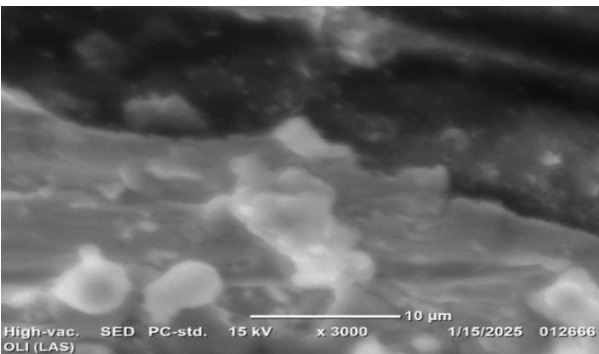
4.1. Uji *Scanning Elektron Microscope*



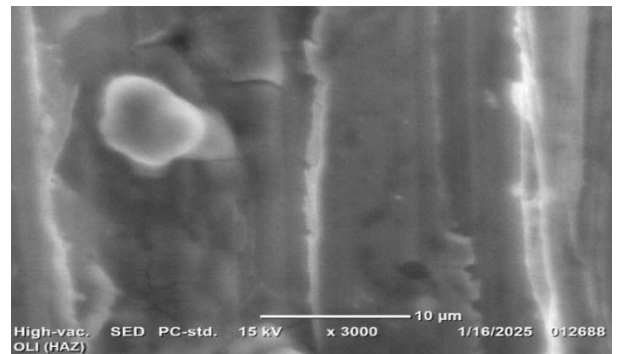
Gambar 4. *Scanning Elektron Microscope* Daerah LAS Pada Pendinginan Udara Bebas



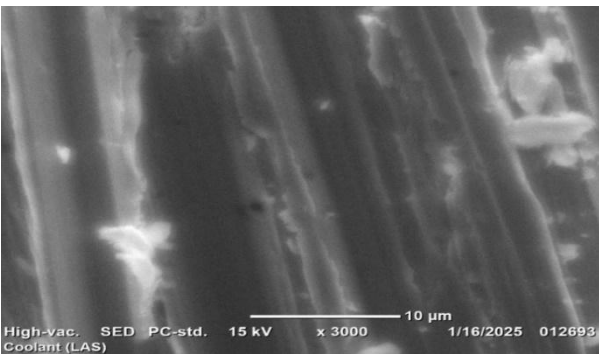
Gambar 7. *Scanning Electron Microscope* Daerah HAZ Pada Pendinginan Udara Bebas



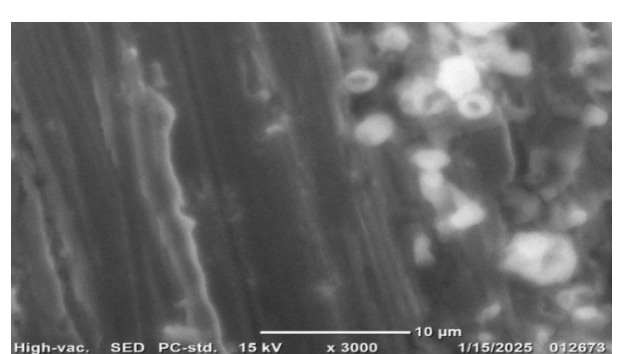
Gambar 5. *Scanning Elektron Microscope* Daerah LAS Pada Pendinginan Oli



Gambar 8. *Scanning Elektron Microscope* Daerah HAZ Pada Pendinginan Oli



Gambar 6. *Scanning Elektron Microscope* Daerah LAS pada Pendinginan Coolant



Gambar 9. *Scanning Elektron Microscope* Daerah HAZ Pada Pendinginan Coolant

Hasil persentase pada daerah las didapatkan hasil yaitu pada pendinginan udara bebas mendapatkan nilai fasa ferrite 78,9 % sedangkan nilai fasa pearlitnya 21,1 %, pada pendinginan oli mendapatkan nilai fasa ferrite 77,8 % sedangkan nilai fasa pearlitnya 22,2 % dan pada pendinginan coolant mendapatkan nilai fasa ferrite 75,5 % sedangkan nilai fasa pearlitnya 24,5 %. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil nilai kekerasan daerah las yang dimana pendinginan udara bebas mendapatkan nilai rata-rata 102,6 N/mm², pendinginan oli mendapatkan nilai rata-rata 129,6 N/mm² dan pendinginan coolant mendapatkan nilai rata-rata 134,4 N/mm².

Hasil persentase pada daerah HAZ didapatkan hasil yaitu pada pendinginan udara bebas mendapatkan nilai fasa ferrite 80 % sedangkan nilai fasa pearlitnya 20 %, pada pendinginan oli mendapatkan nilai fasa ferrite 75,1 % sedangkan nilai fasa pearlitnya 24,9 % dan pada pendinginan coolant mendapatkan nilai fasa ferrite 78 % sedangkan nilai fasa pearlitnya 22 %. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil nilai kekerasan daerah las yang dimana pendinginan udara bebas mendapatkan nilai rata-rata 99,8 N/mm², pendinginan oli mendapatkan nilai rata-rata 183,6 N/mm² dan pendinginan coolant mendapatkan nilai rata-rata 106,8 N/mm².

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa media pendingin oli bagian HAZ memiliki kekerasan tertinggi dibandingkan pendinginan lainnya, dengan nilai kekerasan dari 161 N/mm² hingga 206 N/mm².

Sedangkan pada bagian las media pendingin coolant memiliki kekerasan tertinggi dibandingkan pendingin lainnya, dengan nilai kekerasan dari 117 N/mm² hingga 141 N/mm². Secara keseluruhan, untuk pengujian kekerasan pada bagian HAZ media pendingin oli adalah material dengan nilai kekerasan tertinggi, sedangkan untuk pengujian kekerasan pada bagian las media pendingin coolant adalah material dengan nilai kekerasan tertinggi.

- b) Hasil uji SEM menunjukkan bahwa pada pengelasan SMAW baja AISI 1020 terhadap daerah las dan haz lebih dominan fasa ferrite dibanding fasa pearlite, sehingga baja akan lebih lunak, ulet dan mudah dibentuk, tetapi dengan kekuatan dan kekerasan yang lebih rendah. Dikarenakan kandungan ferrite yang lebih tinggi menunjukkan kadar karbon yang lebih rendah (di bawah 0,8% C), baja dengan karbon rendah akan mengandung lebih banyak ferrite dibanding pearlite dan proses pendinginan lambat setelah pemanasan juga dapat meningkatkan kandungan ferrite.

5.2. Saran

- a) Perlu adanya penelitian lebih lanjut setelah pengelasan SMAW untuk mengetahui apakah ada cacat las atau tidak.
- b) Melakukan analisis untuk menentukan komposisi unsur suatu material.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, R., Rosadi, M. M., & Hadi, F. S. (2023). Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin Dan Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST-37 Menggunakan Pengelasan SMAW. *Jurnal MOTION (Manufaktur, Otomasi, Otomotif, dan Energi Terbarukan)*, 2(1), 26-32.
- Bisri, H., & Yunus, Y. (2022). Pengaruh Media Pendinginan pada Proses Pengelasan Smaw Material Baja SS400 Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(03), 55-60.
- Damai, R., Rijanto, A., & Hakim, L. (2022). Analisis Pengaruh Media Pendingin Pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon Rendah Plate Baja Aisi 1020. *Majamecha*, 4(1), 51-59.
- Farikhin, F., & Joko Sedyono, S. T. (2016). *Analisa scanning electron microscope komposit polyester dengan filler karbon aktif dan karbon non aktif* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- HIDAYAT, S. (2022). Skripsi Analisis Pengelasan Smaw pada Sambungan Baja St 37 dengan Variasi Jenis Elektroda.
- Miftakhuddin, N. (2006). Pengaruh Temper dengan Quench Media Oli Mesran Sae 20W-50 terhadap Karakteristik Medium Carbon Steel. *Skripsi sarjana FT Negeri Semarang*.
- Saputro, B. H., & Drastiawati, N. S. (2023). Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Proses Pengelasan Smaw Untuk Material Baja Astm A36 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, Dan Struktur Mikro.

Jurnal Teknik Mesin, 12(01), 21-28.

- Zandroto, J. Y. B., & Kartikasari, R. (2022). Pengaruh Waktu Proses Austemper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Kekuatan Paduan Fe-1Al-6, 9C. *ReTII*, 9-15.
- Zulkifli, Z., Dahlan, B., & Fatimah, N. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekuatan Mekanik Pada Hasil Pengelasan Metode Smaw Material Baja St 52. *Journal of Welding Technology*, 1(2), 48-51.
- Zuriatni, Y., Sofyan, M., Putri, P. S., Rokhman, A., & Kustanrika, I. W. (2023). Analisis SEM-EDS Beton Normal yang Menggunakan Superplasticizer. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 7(3), 290-299.

Analisis Sifat Mekanis Bahan Komposit Polimer dengan Serat Tapis Kelapa

Nurul April Liza^{1*}, Muhammad Balfas², Zulkifli Manguluang²

¹ Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

^{2,3} Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

* Penulis Korespondensi.

J-MOVE
JURNAL TEKNIK MESIN



Riwayat Artikel

Diterima: 6 Januari 2026

Selesai Revisi: 17 Februari 2026

Disetujui: 10 Maret 2026

Tersedia daring: 15 Maret 2026

Alamat E-mail

¹ nhuryode04@gmail.com

² balfas@umi.ac.id

³ zulkifli.manguluang@umi.ac.id

Abstrak

Pengembangan komposit dengan menggunakan serat alami saat ini berkembang pesat. Serat alami menawarkan berbagai keunggulan signifikan dibandingkan dengan serat sintesis, termasuk sifatnya yang ringan, dapat didaur ulang, mudah terurai oleh bakteri pembusuk, dapat diperbarui, serta memiliki kekuatan dan kekakuan yang relatif tinggi. Serat alami dapat diperoleh dari berbagai tumbuhan, salah satunya adalah serat tapis kelapa yang tumbuh pada pelepah baru dan mudah ditemukan di seluruh Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan tarik dan kekuatan impact komposit serat tapis kelapa bermatrik polimer. Pengujian dilakukan pada tiga variasi perbandingan (fraksi volume): 90% resin : 10% serat, 85% resin : 15% serat, dan 80% resin : 20% serat. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa 80% resin : 20% serat menghasilkan kekuatan tarik tertinggi, yaitu dengan tegangan tarik rata-rata sebesar 14,1 N/mm² (regangan rata-rata 6,2%). Sementara itu, perbandingan 90:10 memiliki tegangan rata-rata 10,8 N/mm² dan 85:15 memiliki 9,4 N/mm². Untuk uji impact, hasil menunjukkan bahwa peningkatan kandungan serat meningkatkan ketangguhan komposit. Nilai ketangguhan impact rata-rata tertinggi sebesar 766,09 J/mm² diperoleh pada perbandingan 80% resin : 20% serat. Perbandingan 85:15 dan 90:10 masing-masing menghasilkan 749,56 J/mm² dan 722,42 J/mm². Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa komposit dengan kandungan 20% serat tapis kelapa menunjukkan kombinasi sifat mekanik, yaitu kekuatan tarik dan ketangguhan impact, yang optimal.

Kata kunci: Serat tapis kelapa, Matriks polimer, Resin, Kekuatan tarik, Kekuatan impact.

Abstract

The development of composites using natural fibers is currently developing rapidly. Natural fibers offer a variety of significant advantages over synthetic fibers, including being lightweight, recyclable, easily degradable by bacterial action, renewable, and relatively high in strength and rigidity. Natural fibers can be obtained from various plants; one is coconut fiber, which grows on new fronds and is easy to find throughout Indonesia. This study aims to analyze the tensile strength and impact strength of polymer-matrix coconut filter fiber composites. Testing was carried out on three comparative variations (volume fractions): 90% resin: 10% fiber, 85% resin: 15% fiber, and 80% resin: 20% fiber. The tensile test results showed that an 80% resin: 20% fiber ratio produced the highest tensile strength, i.e., an average tensile stress of 14.1 N/mm² (average strain 6.2%). Meanwhile, the 90:10 ratio has an average voltage of 10.8 N/mm², and the 85:15 ratio has 9.4 N/mm². For impact tests, results showed that increasing fiber content improved the composite's toughness. The highest average impact toughness of 766.09 J/mm² was obtained at a 80% resin:20 % fiber ratio. The 85:15 and 90:10 ratios yield 749.56 J/mm² and 722.42 J/mm², respectively. Overall, the study concluded that composites with a content of 20% coconut filter fibers showed an optimal combination of mechanical properties, namely tensile strength and impact toughness.

Keywords: Coconut filter fiber, Polymer matrix, Resin, Tensile strength, Impact strength.

1. PENDAHULUAN

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pada skala makro, di mana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda, di mana satu material sebagai fasa pengisi dan yang lainnya sebagai fasa penguat. Pemanfaatan bahan komposit sebagai bahan alternatif pengganti bahan logam dalam bidang rekayasa semakin meluas. Hal ini

disebabkan karena keuntungan yang dimiliki oleh bahan komposit berpenguat serat alami seperti konstruksi menjadi lebih ringan, tahan korosi, dan kekuatannya dapat didesain sesuai dengan arah pembebanan.

Penggunaan serat alami untuk bahan penguat pada komposit saat ini sedang berkembang dengan pesat. Serat alami memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan serat sintesis antara lain ringan, dapat didaur ulang, dapat terurai oleh bakteri pembusuk, dapat diperbarui dan

mempunyai kekuatan serta kekakuan yang relatif tinggi. Serat alami bisa didapatkan pada tanaman atau tumbuhan dan bisa diproduksi dengan menanam tumbuhan yang bisa menghasilkan serat tersebut, salah satu serat yang bisa dimanfaatkan yaitu serat tapis pada pohon kelapa yang bisa tumbuh pada tiap pelepah yang baru, pohon kelapa banyak tumbuh disekitar lingkungan masyarakat maupun diseluruh pulau Indonesia.

Dalam penelitian ini akan diteliti bahan komposit polimer dengan penguat serat tapis kelapa. Dipilihnya serat tapis kelapa sebagai penguat karena serat tapis kelapa kurang mendapat perhatian dan jumlahnya berlimpah ruah sehingga dapat mengangkat derajat bahan limbah tersebut menjadi bahan bernilai teknis dan ekonomis yang lebih tinggi.

Tapis kelapa, sebagai salah satu serat alami saat ini ketersediaannya sangat berlimpah, namun tidak lagi dimanfaatkan dan dibuang sebagai limbah. Padahal serat tapis kelapa masi dapat digunakan sebagai salah satu serat alami alternatif untuk bahan komposit. Serat alami ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan serat sintesis, seperti beratnya lebih ringan, dapat diolah secara alami dan ramah lingkungan. Serat alami juga merupakan bahan terbaharukan dan mempunyai kekuatan yang relatif tinggi dan tidak menyebabkan iritasi kulit. Keuntungan-keuntungan lainnya adalah kualitas yang dapat divariasikan dan stabilitas panas yang rendah. Di samping keunggulan tersebut, serat alami juga mempunyai kekurangan, antara lain dimensinya tidak teratur, kaku, rentan terhadap panas, mudah menyerap air dan cepat lapuk.

Berdasarkan uraian di atas penulis berinisiatif untuk melakukan penelitian dengan judul "Analisis Sifat Mekanis Bahan Komposit Polimer Dengan Serat Tapis Kelapa" guna menciptakan material yang baru.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Tapis Kelapa

Tapis kelapa terdapat pada pangkal pelepah pohon kelapa yang berfungsi menutupi pelepahnya. Tapis kelapa awalnya digunakan oleh masyarakat tradisional sebagai saringan. Namun, dengan adanya saringan kawat dan plastik yang memiliki kerapatan yang lebih merata, tapis kelapa pun mulai ditinggalkan.



Gambar 1. Serat Tapis Kelapa

Serat ini tersusun dari bahan yang menyerupai bahan pembentuk serabut kelapa. Walaupun jumlah yang dapat dihasilkan dalam satu pohon terbatas namun tapis kelapa mempunyai keunggulan yaitu seratnya sudah tersusun dengan baik secara alami. Susunan serat dari tapis kelapa menyilang antara lapisan serat atas dengan lapisan serat

bagian bawah. Karena keunggulan tersebut serat tapis kelapa cocok untuk dijadikan serat alternatif untuk pembuatan komposit. (Made dan Dwijana, 2014).

2.2. Pengertian Material Komposit

Suatu material komposit merupakan suatu material yang kompleks dimana terkomposisikan dari dua material atau lebih yang digabungkan/disatukan secara bersamaan pada skala makroskopik membentuk suatu produk yang berguna, yang didesain untuk menghasilkan kualitas maupun sifat terbaik. Penguat biasanya bersifat elastis, dan mempunyai kekuatan tarik yang baik namun tidak dapat digunakan pada temperatur yang tinggi, sedangkan matrik biasanya bersifat ulet, lunak dan bersifat mengikat jika sudah mencapai titik bekunya. Kedua bahan yang mempunyai sifat berbeda ini digabungkan untuk mendapatkan satu bahan baru (komposit) yang mempunyai sifat yang berbeda dari sifat partikel penyusunnya (Jacobs, 2005)

Komposit serat alam adalah komposit yang berpenguat serat alami (bukan merupakan buatan atau rekayasa manusia). Komposit serat alam biasanya berupa polymer matrix composite. Komposit berpenguat serat alam dipandang lebih menguntungkan dibanding serat sintesis karena serat ini memiliki keunggulan seperti ringan, tidak beracun, jumlahnya banyak dan ramah. Sifat lain yang tidak kalah pentingnya adalah memiliki massa jenis yang rendah, kekuatannya tinggi, dan murah. Serat alam telah dicoba untuk menggeser serat sintesis, seperti serat gelas. Walaupun tak sepenuhnya menggeser serat sintesis, pemanfaatan serat alam yang ramah lingkungan merupakan langkah bijak untuk menyelamatkan kelestarian lingkungan (Jamarsi dkk., 2005)

Serat penguat komposit yang umum beredar dan sering digunakan adalah fiberglass, namun harganya cukup mahal dan tidak ramah lingkungan, di dimana serat gelas tersebut tidak dapat terdegradasi secara alami serta menghasilkan gas CO dan debu yang berbahaya bagi kesehatan jika didaur ulang (Taurista dkk., 2003). Selain itu, Wambua dkk. (2003) mengungkapkan bahwa dalam beberapa dekade terakhir perhatian dunia telah bergeser dari material tunggal menuju konsep material komposit serat dan matriks polimer yang dalam hal ini menggunakan serat alam. Serat alam ini bisa didapat dari tanaman berserat, dengan memanfaatkan serat alam yang bersifat ramah lingkungan. Mekanisme penguat komposit yang mengalami pergeseran dari penggunaan serat sintesis menuju serat alami yang disebabkan oleh efek limbah serat sintesis yang tidak dapat terurai secara alami tersebut juga dijadikan alternatif karena sifat mekanik cukup memadai untuk aplikasi pada struktur dengan pembebanan yang tidak terlalu tinggi, mudah didapat dan berlimpah serta dapat diproduksi dengan menanam tanaman yang dapat menghasilkan serat tersebut. Walaupun tidak sepenuhnya bergeser, penguat serat alam yang menggantikan serat sintesis adalah sebuah langkah bijak dalam menyelamatkan kelestarian lingkungan dari limbah yang dibuat dan keterbatasan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. (Made dan Dwijana, 2014).

2.3. Pengertian Serat

Serat atau bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban, sehingga besar-kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan

serat pembentuknya. Semakin kecil bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal), maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Surdia dan Saito, 2000). Selain itu, serat juga merupakan unsur yang terpenting, karena seratlah nantinya yang akan menentukan sifat mekanik komposit tersebut seperti kekakuan, keuletan, kekuatan dsb. (Izaak dkk, 2013).

Fungsi utama dari serat adalah:

- Sebagai pembawa beban. Dalam struktur komposit 70% - 90% beban dibawa oleh serat.
- Memberikan sifat kekakuan, kekuatan, stabilitas panas dan sifat-sifat lain dalam komposit.
- Memberikan insulasi kelistrikan (konduktivitas) pada komposit, tetapi ini tergantung dari serat yang digunakan.

Serat merupakan bahan yang kuat, kaku, getas. Karena serat yang terutama menahan gaya luar, ada dua hal yang membuat serat menahan gaya yaitu :

- Perekatan antara serat dan matriks sangat baik dan kuat sehingga tidak mudah lepas dari matriks.
- Aspect ratio yaitu perbandingan antara panjang serat dengan diameter serat cukup besar.

Arah serat penguat menentukan kekutan komposit dan mempengaruhi jumlah serat yang dapat diisikan ke dalam matriks. Makin cermat penataannya, makin banyak penguat dapat dimasukkan. Hal tersebut menentukan optimum saat komposit maksimum.

3. METODOLOGI

3.1. Prosedur pembuatan material komposit

Serat tapis kelapa diperoleh di sekitar kota Makassar. Sebagai persiapan awal, yaitu mengumpulkan bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian ini. Serat tapis kelapa dijemur sampai kering. Kemudian serat tapis kelapa dipipihkan satu per satu. Setelah itu, wadah cetakan dibersihkan dan ditempelkan plastik. Lalu menimbang serat tapis kelapa dan mengukur volume resin dan katalis menggunakan gelas ukur. Komposisi antara berat campuran resin dan serat dibuat menjadi 3 variabel. Variabel pertama berisi campuran resin 90% serat tapis kelapa 10%, variabel kedua berisi campuran resin 85% serat tapis kelapa 15%, dan variabel ketiga berisi campuran resin 80% serat tapis kelapa 20%. Setelah itu, campuran resin dan serat dituang ke dalam cetakan, ditekan dengan kuat, dan ditunggu hingga kering. Setelah mengering, campuran tadi dipotong sesuai bentuk spesimen yang dibutuhkan.

3.2. Lokasi dan waktu penelitian

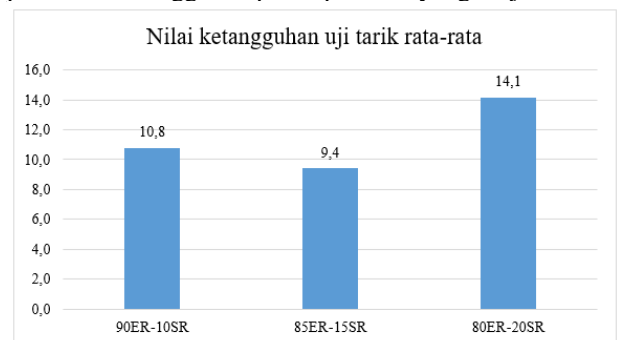
Proses penelitian ini bertempat di laboratorium material teknik Universitas Muslim Indonesia. Pengujian tarik dilakukan di Balai Latihan Kerja Makassar dan pengujian impak dilakukan di Laboratorium Material Teknik Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Muslim Indonesia (UMI). Waktu penelitian adalah dari bulan Oktober 2021 – Februari 2022.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Uji Tarik

Berdasarkan Gambar 2 tentang Diagram dan Analisis Kekuatan Tarik Hubungan Antara Resin dan Serat Kelapa dengan Perbandingan Rata-Rata Terhadap

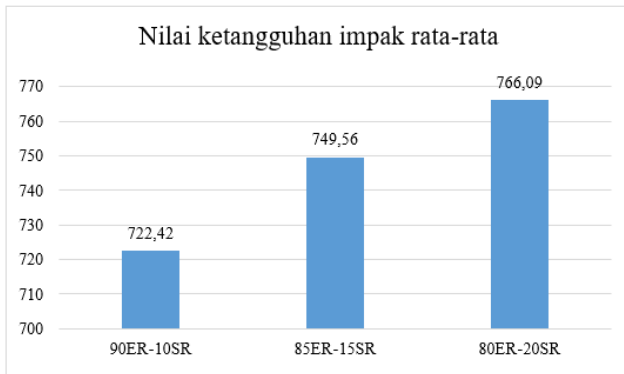
Uji Tarik, dapat dilihat bahwa setiap uji tarik memberikan hasil berbeda pada nilai ujinnya. Hal ini dapat dilihat dari ketiga hasil uji tarik bahwa nilai kekuatan tertinggi yaitu pada perbandingan serat 80ER-20SR dengan nilai rata-rata 14,1 N/mm², sedangkan nilai kekuatan terendah yaitu pada perbandingan serat 85ER-15SR dengan nilai rata-rata 9,4 N/mm². Perbedaan setiap hasil uji tarik dipengaruhi oleh campuran perbandingan resin dan serat tapis kelapa yang dicampur pada setiap spesimen. Perbandingan 80:20 memiliki nilai kekuatan tertinggi karena serat tapis kelapa yang diberikan lebih banyak, 20%, dengan berat 153,7 gram, sedangkan perbandingan 85:15 memiliki nilai kekuatan terendah karena serat tapis kelapa yang diberikan hanya 15% dengan berat 115,25 gram. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak campuran serat tapis kelapa yang diberikan pada setiap perbandingan komposit, maka semakin meningkat pula nilai ketangguhan pada spesimen yang diuji tarik.



Gambar 2 Diagram kekuatan tarik hubungan antara resin dan serat tapis kelapa dengan perbandingan rata-rata terhadap uji tarik

4.2. Uji Impak

Berdasarkan Gambar 3 tentang Diagram dan Analisis Kekuatan Impak Hubungan Antara Resin dan Serat Kelapa dengan Perbandingan Rata-Rata Terhadap Uji Impak, dapat dilihat bahwa setiap uji impak memberikan hasil berbeda pada nilai ujinnya. Hal ini dapat dilihat dari ketiga hasil uji impak bahwa nilai kekuatan tertinggi yaitu pada perbandingan serat 80ER-20SR dengan nilai rata-rata 766,09 J/mm². Sedangkan nilai kekuatan terendah yaitu pada perbandingan serat 90ER-10SR dengan nilai rata-rata 722,42 J/mm². Perbedaan setiap hasil uji impak dipengaruhi oleh campuran perbandingan resin dan serat tapis kelapa yang dicampur pada setiap spesimen. Perbandingan 80:20 memiliki nilai kekuatan tertinggi karena serat tapis kelapa yang diberikan lebih banyak, 20%, dengan berat 153,7 gram, sedangkan perbandingan 90:10 memiliki nilai kekuatan terendah karena serat tapis kelapa yang diberikan hanya 10% dengan berat 76,82 gram. Adapun yang memengaruhi besar-kecilnya kekuatan pada tiap-tiap spesimen adalah distribusi serat tapis kelapa yang tidak merata ataupun tidak menyeluruh sehingga mengakibatkan campuran tidak homogen.



Gambar 3. Diagram kekuatan impact hubungan antara resin dan serat tapis kelapa dengan perbandingan rata-rata terhadap uji impact

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai tegangan, kekuatan tarik semakin tinggi. Dimana pada pengujian tarik komposit serat tapis kelapa dengan perbandingan 90% resin 10% serat, 85% resin 15% serat, dan 80% resin 20% serat di dapatkan nilai pada perbandingan 90% resin dan 10% serat dari tegangan tarik rata-rata adalah 10,8 N/mm² dan regangan rata-rata adalah 6,3% sedangkan pada perbandingan 85% resin dan 15% serat dari tegangan tarik rata-rata adalah 9,4 N/mm² dan regangan rata-rata adalah 6,6 %, dan pada perbandingan 80% resin 20% serat dari tegangan tarik rata-rata adalah 14,1 N/mm² dan regangan rata-rata adalah 6,2 %. Untuk pengujian impact komposit serat tapis kelapa dengan perbandingan 90% resin 10% serat, 85% resin 15% serat, dan 80% resin 20% serat, didapatkan hasil kekuatan impact dengan perbandingan 90% resin 10% serat dengan nilai ketangguhan rata-rata adalah 722,42 J/mm², sedangkan pada perbandingan 85% resin 15% serat dengan nilai ketangguhan rata-rata adalah 749,56 J/mm², dan pada perbandingan 80% resin 20% serat dengan nilai ketangguhan rata-rata adalah 766,09 J/mm².

5.2. Saran

- Untuk penelitian selanjutnya agar dilakukan variasi berat selain yang di atas dan arah serat tapis kelapa.
- Penelitian selanjutnya agar di tambahkan uji bending dan daya serap air

DAFTAR PUSTAKA

- Buku Penuntun Praktikum Laboratorium Material Teknik. (2015). Fakultas Teknik, Jurusan Mesin, Universitas Muslim Indonesia.
- Izaak, F. D., Rauf, F. A., & Lumintang, R. (2013). Analisis sifat mekanik dan daya serap air material komposit serat rotan.
- Jacobs, J. A., & Kilduff, T. F. (2005). *Engineering materials technology: Structures, processing, properties, and selection*. New Jersey, NJ: Prentice Hall.
- Jamasri, Diharjo, K., & Handiko, G. W. (2005). Studi perlakuan alkali terhadap sifat tarik komposit limbah serat sawit-polyester. Dalam *Prosiding*

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM IV). Universitas Udayana, Bali.

Lokantara, P. (2012). Analisis kekuatan impact komposit polyester-serat tapis kelapa dengan variasi panjang dan fraksi volume serat yang diberi perlakuan NaOH.

Astika, I. M., & Dwijana, G. K. (2014). Karakteristik sifat tarik dan mode patahan komposit polyester berpenguat serat tapis kelapa.

Suardana, N. P. G., & Putri, C. (2007). Pengaruh perendaman air terhadap sifat mekanis komposit serat tapis kelapa dengan orientasi acak.

Van Vlack, L. H. (1994). *Ilmu dan teknologi bahan*. Jurnal Sains Materi Indonesia, 97–102.

Rancangan Lifting Tools Penyambung Track Dozer Type D8R/T

Irdiyansah^{1*}, Mardin², Hamri³

¹ Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

^{2,3} Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

* Penulis Korespondensi.

J-MOVE
JURNAL TEKNIK MESIN



Riwayat Artikel

Diterima: 13 Januari 2026
Selesai Revisi: 16 Februari 2026
Disetujui: 10 Maret 2026
Tersedia daring: 15 Maret 2026

Alamat E-mail

¹ irdiyansyah@live.com

² mardin@umi.ac.id

³ hamri@umi.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang *lifting tools* penyambung *track Dozer Type D8R/T*. dan mengetahui kapasitas angkat dan gaya yang bekerja dalam menyambungkan *track Dozer Type D8R/T*. Penelitian ini dengan merancang dan menggunakan *connector track* dalam melakukan pemasangan *track Dozer Type D8R/T* pada PT. Vale Indonesia Tbk. Berdasarkan hasil penelitian *Lifting tools* penyambungan *track Dozer Type D8R/T* akan memberikan efisiensi waktu dalam penyambungan dan meminimalkan waktu yang terbuang serta mempercepat proses pemasangan *track*. Dengan menggunakan *lifting tools* dapat memastikan *track* pada *Dozer Type D8R/T* akan terpasang lebih baik dan aman. Penelitian ini dilaksanakan pada PT. Vale Indonesia, Tbk dengan menganalisis pemasangan *track* pada *Dozer D8T/R* dengan menggunakan *tools Track*. Dari hasil perhitungan gaya yang terjadi pada pengangkatan *track lifting tools Track Dozer D8T/R* adalah pada saat pemasangan *track lifting tools Track Dozer D8T/R* dengan kapasitas angkat sebesar 5.418 kg/mm² sedangkan gaya yang bekerja pada pemasangan *track lifting tools Track Dozer D8T/R* pada saat pengangkatan sebesar 27.362.678 N, gaya angkat (*lifting force*) pada saat pengangkatan beban menggunakan *crane*. Hal ini sangat penting untuk memastikan keseimbangan dan keamanan saat melakukan pengangkatan sebesar 54.725.336 N sedangkan gaya gesek yang terjadi pada saat pengangkatan sebesar 15.596.439 N dengan faktor keamanan 1,754.

Kata kunci: Kapasitas angkat, Alat angkat, *Track*, *Dozer type D8R/T*

Abstract

This research aims to design lifting tools to connect Dozer Type D8R/T tracks and determine the lifting capacity and force required to connect Dozer Type D8R/T tracks. Based on the results of the research, the lifting tools for connecting Dozer Type D8R/T tracks will provide time efficiency in connection, minimize wasted time, and speed up the track installation process. By using lifting tools, you can ensure that the track on the Dozer Type D8R/T will be installed better and more safely. This research was carried out at PT. Vale Indonesia, Tbk. by analyzing the track installation on the Dozer D8T/R using the Track tool. From the results of the calculation of the force that occurs in the lifting of the Track Dozer D8T/R track lifting tools is at the time of installation of the Track Dozer D8T/R track lifting tools with a lifting capacity of 5,418 kg/mm² while the force acting on the installation of the Track Dozer D8T/R track lifting tools at the time of lifting is 27,362,678 N, the lifting force (lifting force) at the time of lifting the load using a crane. This is very important to ensure balance and safety when lifting 54,725,336 N, while the friction force that occurs during lifting is 15,596,439 N with a safety factor of 1,754.

Keywords: *Lifting capacity, Lifting tools, Track, Dozer type D8R/T.*

1. PENDAHULUAN

Pendahuluan adalah bagian awal dari artikel penelitian yang sangat penting karena berfungsi untuk memperkenalkan topik kepada pembaca dan menjelaskan mengapa penelitian tersebut perlu dilakukan. Pendahuluan yang baik dan benar harus mampu menjawab tiga pertanyaan utama: Apa yang diteliti? Mengapa hal itu penting? Dan bagaimana masalah tersebut akan ditangani?

Semakin bertambah umur unit atau komponen, maka unit atau komponen tersebut mengalami penurunan

performansi. Karena itu diperlukan pemeriksaan dan pemeliharaan suatu komponen. Agar dapat mengetahui kapan waktu yang tepat untuk mengganti komponen sebelum mengalami kerusakan parah. Keausan komponen adalah hal yang besar karena jika komponen mengalami keausan yang parah bisa berpengaruh terhadap aset fisik unit, dan yang tidak kalah pentingnya adalah bisa juga menjadi penyebab terhambatnya suatu pekerjaan.

Breakdown merupakan salah satu jenis kegagalan spesifik, dimana suatu peralatan sama sekali tidak mampu untuk berfungsi. Kegagalan suatu peralatan tidak terjadi

secara mendadak tetapi merupakan akibat dari kegagalan potensial sebelumnya. Kesalahan pengoperasian, keausan komponen, juga merupakan penyebab kegagalan. Mengingat sifat kegagalannya, maka alat pemantau tidak dapat mendeteksi suatu kegagalan potensial sampai kegagalan potensial berikutnya yang lebih intensif terjadi. Oleh karena itu bila kita berhasil mendeteksi pada sifat fisik maupun kimiawi yang berpengaruh pada fungsi peralatan atau komponen itu telah mengalami kegagalan.

Bulldozer adalah traktor beroda rantai serba guna dan memiliki kemampuan traksi yang digunakan untuk mendorong, menggusur, mengurug, dan sebagainya baik untuk kondisi medan kerja yang berat sekalipun, seperti daerah berbukit, berbatu, berhutan, dan sebagainya. *Bulldozer* mampu beroperasi pada tanah yang sangat lunak (berlumpur) dapat menggunakan *swamp bulldozer*. Berdasarkan jenis *blade* (mata pisau) yang terpasang, *bulldozer* di bedakan menjadi 3 jenis, yaitu : *Angle Dozer*, *Tilt Dozer*, *Semi U Tilt Dozer*.

Undercarriage adalah bagian bawah dari sebuah unit *Bulldozer* yang berfungsi untuk menahan beban unit, mengarahkan dan sebagai pendukung unit alat berat bergerak. *Undercarriage* bersentuhan langsung dengan tanah sehingga *undercarriage* dapat menjaga kestabilan dan keseimbangan unit alat berat. Sistem *undercarriage* dapat berfungsi dengan maksimal apabila dilakukan perawatan dengan baik, karena performa unjuk kerja *Bulldozer* bergantung pada komponen *undercarriage*. Dengan seiringnya waktu pemakaian komponen *undercarriage* seperti *track link* akan mengalami keausan dan harus dilakukan perbaikan (penggantian komponen). Berdasarkan hal tersebut penulis ingin menganalisa kerusakan pada system *undercarriage* yaitu *track link* guna menambah pengetahuan tentang system *undercarriage* pada *bulldozer*.

Undercarriage adalah bagian excavator yang terletak pada bagian bawah yang langsung bersentuhan dengan permukaan tanah yang mengakibatkan keausan karena gesekan dari *undercarriage* dengan tanah. Keausan yang terjadi pada komponen mengakibatkan kinerja dan performa menjadi menurun, sehingga perlu dilakukan pemantauan secara berkala pada setiap komponen. Menurut (Akbar & Anhar, 2018), tindakan melakukan monitoring dan pengukuran tingkat keausan komponen *undercarriage*, menjadi suatu hal yang sangat penting untuk memprediksi sampai berapa lama komponen tersebut masih bisa dipakai. Komponen utama *undercarriage* yaitu *track shoe*, *track roller*, *carrier roller*, *idler*, dan *sprocket*.

Pada komponen *undercarriage* memiliki dua komponen yang penting yaitu *carrier roller* yang memiliki fungsi untuk menahan gulungan dari *track link* agar tidak melentur ke bawah dan menjaga kelurusan *track link* antara *idler* ke *sprocket*, dan juga *track roller* yang berfungsi untuk menahan berat excavator terhadap *track link*. Saat *track link* melakukan gerakan memutar berat *track link* akan bertumpu pada *carrier roller* dan berat excavator akan bertumpu pada *track roller* terhadap *track link*, hal tersebut mengakibatkan terjadinya gesekan pada *track roller* dan *carrier roller* terhadap *track link* sehingga terjadi keausan pada komponen. *Track Shoe* harus memiliki daya pakai yang baik terhadap material seperti tanah basah dan batu serta terhadap medan yang memiliki

sifat abrasive yang diakibatkan sifat alami tanah saat *track shoe* berperan menggilas material. Deere menyebutkan bahwa 50% biaya perawatan terbesar pada excavator adalah pada bagian *undercarriage* (Deere, J, 2007). *Track shoe* merupakan salah satu bagian pada *undercarriage* yang perlu perhatian lebih dikarenakan bagian ini yang selalu berkontak dengan tanah/batu yang keras.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Bulldozer

Bulldozer sebagai salah satu alat berat pembuka lahan pada proyek-proyek konstruksi atau membuka hutan yang kesemuanya membutuhkan kecepatan dan kekuatan kerja yang kompak. Penulisan mengenai alat-alat berat khususnya *bulldozer* perlu pembahasan mengenai penggerak utamanya meski hanya garis besarnya.

Pada dasarnya adalah alat yang menggunakan tractor sebagai penggerak utamanya, jika disebut *bulldozer*, itu sebenarnya adalah *tractor* yang dilengkapi dengan *dozer attachment*, dalam hal ini attachmentnya (pelatan pendukung) adalah *blade*.



Gambar 1. Bulldozer D8R

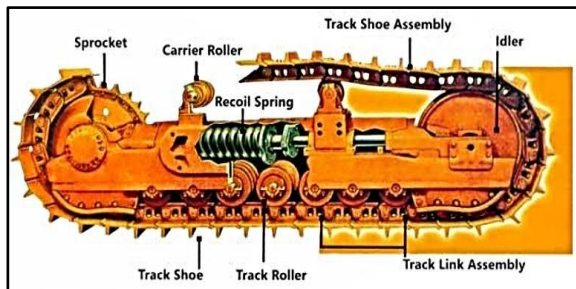
Bulldozer sebenarnya adalah jenis dari *dozer* yang memungkinkan untuk diberikan kemampuan mendarong kemuka, menarik atau dapat juga mendorong miring dengan paksi kemiringan atau kesamping sampai 25° terhadap kedudukan lurus. Kemampuan *Bulldozer* untuk mendorong dengan posisi *blade* miring atau kesamping tergantung dari *blade lift* dan *tilt* hidrolik juga *control valve*-nya. Akan tetapi pada skripsi ini *bulldozer* hanya dilengkapi dengan 2 buah *blade lift* dan *bulldozer* tidak diberi kemampuan untuk memiringkan *blade* pada posisi ke kiri dan ke kanan.

Bulldozer menjadi salah satu alat berat yang sering digunakan di berbagai industri di Indonesia. *Bulldozer* merupakan sebuah alat berat yang menggunakan traktor sebagai penggerak utama dengan roda rantai maupun ban untuk bergerak. Alat berat ini juga memiliki semacam tambahan alat yang sering disebut *blade* dibagian depan. *Bulldozer* juga memiliki kemampuan traksi atau tenaga dorong yang besar. Alhasil alat berat ini dapat digunakan untuk pekerjaan mendorong, menggusur, meratakan hingga menarik. Desain alat berat ini cukup efisien untuk kondisi medan kerja yang kasar sekalipun seperti daerah pegunungan, daerah berbatu hingga hutan. Desain roda rantainya juga memudahkan untuk bergerak di tanah kering hingga tanah lembab seperti lumpur. *Bulldozer* memiliki gigi *track* yang lebih panjang dibanding excavator untuk memperkuat cengkeraman ke tanah. Bisa

memanfaatkan bebannya sendiri untuk mendorong (menyeret) sesuatu. Alat utamanya adalah berupa *blade* dan *ripper*. Posisi *blade* pada *bulldozer* ada 2 (dua), yaitu posisi tegak lurus dan posisi miring. Posisi *blade* tegak lurus hanya dapat bergerak maju, dan posisi miring dapat bergerak-gerak sesuai dengan jarak kemiringannya (ke depan dan kesamping)

2.2. Undercarriage of Bulldozer

Undercarriage merupakan komponen bagian bawah unit *bulldozer*, dimana komponen tersebut berfungsi sebagai media penggerak unit tersebut untuk perpindahan dari tempat lainnya. *Undercarriage* tersebut juga berfungsi sebagai media penahan dan meneruskan berat dari unit *bulldozer* ketanah.

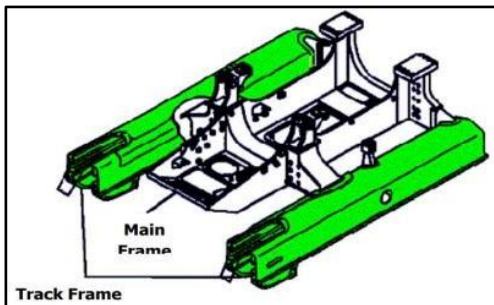


Gambar 2. Komponen *Undercarriage*

Undercarriage assembly (kerangka bawah) adalah sekumpulan komponen yang digunakan untuk menopang beban unit yang ditunjukkan pada Gambar 2. Salah satu fungsinya adalah untuk menyalurkan daya torsi mesin dan menghasilkan gaya cengkram untuk menggerakkan unit untuk maju ataupun mundur. Disamping itu juga mampu untuk menjaga kesetabilan dari unit (Martinus, 2021). Komponen utama pada *undercarriage* salah satu adalah *Track Frame* dan *Track Shoe* yaitu:

a) *Track Frame*

Track Frame merupakan tulang punggung dari pada *undercarriage*, *track frame* sebagai tumpuan chasis unit terhadap permukaan tanah dan tempat kedudukan komponen-komponen *undercarriage*. *Track frame* merupakan gabungan baja yang dibentuk menyerupai konstruksi box yang saling menyilang dan dirakit dengan plat baja. *Track Frame* khusus di design mampu melawan beban kejut selama operasi berat atau ringan dari kondisi kerja unit.

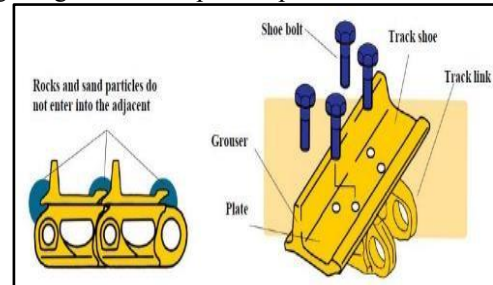


Gambar 3. *Track Frame*

b) *Track Shoe*

Track shoe adalah bagian dari *undercarriage* yang berfungsi disamping tempat persinggungan dengan tanah juga merupakan alas gerak crawler excavator. *Track shoe* adalah bagian yang berfungsi menopang dan meneruskan beban ke permukaan yang dilalui baik permukaan yang keras atau yang lunak, bersama - sama dengan sistem

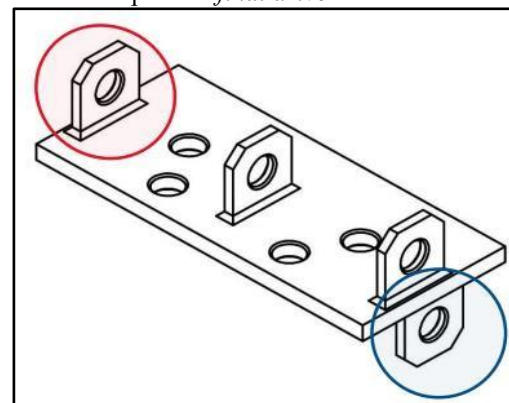
steering dan rem untuk menggerakkan excavator tersebut. *Track Shoe* dipasang pada excavator untuk keperluan operasi di daerah yang berbatu, sedangkan apabila dioperasikan di daerah yang berpasir tingkat keausannya cenderung lebih besar. Pada *track shoe*, dilengkapi dengan rib dengan tujuan untuk mengurangi gesekan kesamping dan dilengkapi dengan bolt guard bertujuan untuk mengurangi kerusakan pada kepala bolt.



Gambar 4. *Track shoe*

2.3. Lifting Tools Connector Track

Pada *Tools connector track* ini terdapat 5 Anchor point yang masing-masing memiliki fungsi berbeda, misalnya 3 *anchore point* yang berada di bagian atas berfungsi sebagai tempat pemasangan *sachel* dan *belt* untuk proses pengangkatan *track* dengan menggunakan *over head crane* dan 2 *anchore point* di bawah sebagai tempat pemasangan *sachel* dan *belt* untuk proses menarik *track* dengan menggunakan *final drive* unit hingga *track* dapat duduk di *sprocket final drive* tersebut.



Gambar 5. *Tools connector track*

Pada *tools* ini terdapat 4 lubang baut yang yang di sesuaikan dengan lubang baut pada link *track* sehingga *tools* ini dapat di ikat dengan baik pada link menggunakan baut standar dari *track shoe* itu sendiri.

Keuntungan yang di dapatkan dengan *tools* ini dan kerugian yang dapat terjadi tanpa menggunakan *tools* ini adalah sebagai berikut :

a) Keuntungan

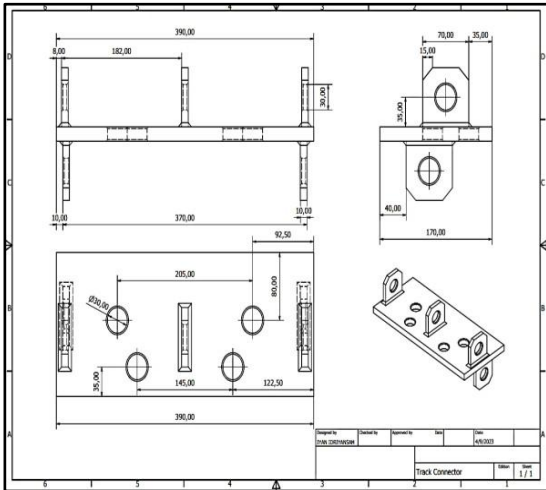
- o Proses pemasangan *track* menjadi lebih efektif, cepat dan mudah
- o Mengurangi potensi kerusakan *tools* angkat
- o Mengurangi tingkat resiko cedera pada pekerja saat mengarahkan *track* ke *sproket final drive*

b) Kerugian

- o Proses pemasangan lama dan sulit
- o Resiko kerusakan *tools* angkat (*belt*) lebih besar bahkan lebih sering terjadi
- o Resiko cedera pada orang yang bekerja lebih besar

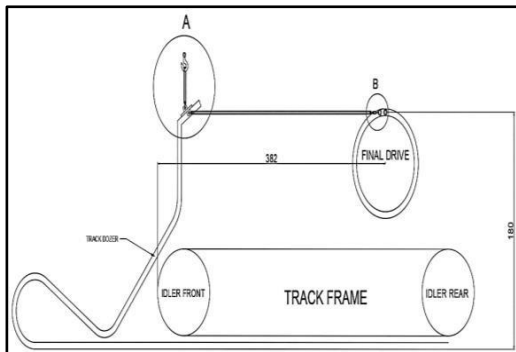
3. METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan difokuskan *Lifting Tools Connector Track*. Yang biasanya para pekerja dalam proses pemasangan *track* tanpa menggunakan alat bantu sehingga proses pemasangan yang lama dan resiko cedera lebih besar.

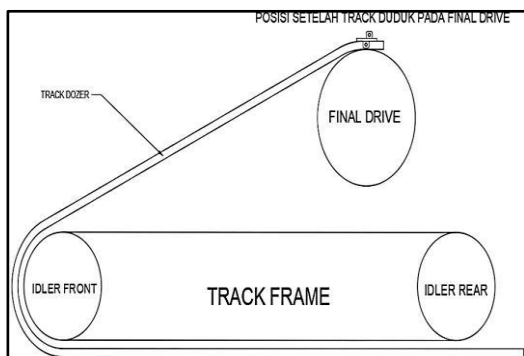


Gambar 6. Desain Track Connector

4. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 7. Sketsa rekayasa pemasangan track dozer



Gambar 8. Posisi setelah track duduk pada final drive

Lifting tools penyambungan *Track Dozer Type D8R/T* dapat memberikan efisiensi waktu dalam penyambungan dan meminimalkan waktu yang terbuang serta mempercepat proses pemasangan *track*. Dengan menggunakan *lifting tools* dapat memastikan *track* pada *Dozer Type D8R/T* terpasang lebih baik dan aman.

Dari hasil perhitungan gaya yang terjadi pada pengangkatan *track Lifting tools Track Dozer D8T/R* adalah $\frac{1}{3}$ dari panjang *track Gp*, dan kita mengambil *safety factor* $\frac{1}{2}$ panjang dan berat dari *track Gp*. Pada saat

pemasangan *track* dengan kapasitas angkat 5418 kg/m dengan gaya yang bekerja pada saat pengangkatan sebesar 27.362,678 N, gaya angkat (*lifting force*) pada saat pengangkatan beban menggunakan *crane* Hal ini sangat penting untuk memastikan keseimbangan dan keamanan saat melakukan pengangkatan sebesar 54,725,336 N sedangkan gaya gesek yang terjadi pada saat pengangkatan sebesar 15.596,439 N. faktor keamanan yang terjadi pada alat angkat 1,754 masih dibawah dari aplikasi dinamis yaitu sebesar 4 -6 telah sesuai untuk faktor keamanan dalam aplikasi gesekan logam dengan logam.

Pada setiap titik kontak pada saat proses pengangkatan terdapat beberapa titik kontak yang menerima pembebanan yaitu titik kontak pada tali *crane* karena menerima beban langsung dari berat objek yang diangkat sehingga gaya tarik tali harus lebih besar dari berat objek yang diangkat, titik kontak pada kepala *crane* karena menerima beban dari tali *crane* dan kepala *crane* harus mampu menahan beban yang diterima dari tali baja, titik kontak pada lengan *crane* yang menerima beban dari kepala *crane* dan meneruskannya ke struktur utama *crane*, titik kontak pada struktur utama *crane* harus mampu menerima beban dari lengan *crane* sedangkan pada titik kontak landasan harus mampu menerima beban dari seluruh struktur *crane* beserta beban yang diangkat. Analisis pembebanan pada setiap titik kontak penting untuk memastikan keamanan dan kestabilan *crane* pada saat melakukan pengangkatan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa :

- Kapasitas angkat pemasangan *track Lifting tools Track Dozer D8T/R* sebesar 5418 kg/m.
- Gaya yang bekerja pada pemasangan *track Lifting tools Track Dozer D8T/R* pada saat pengangkatan sebesar 27,362,678 N, gaya angkat (*lifting force*) pada saat pengangkatan beban menggunakan *crane* Hal ini sangat penting untuk memastikan keseimbangan dan keamanan saat melakukan pengangkatan sebesar 54,725,336 N sedangkan gaya gesek yang terjadi pada saat pengangkatan sebesar 15.596,439 N dengan faktor keamanan 1,754.

DAFTAR PUSTAKA

- Andi, F., & Samlawi, A. K. (2020). *Analisa kegagalan komponen drive pinion gear pada swing motor excavator Caterpillar 349D*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.
- Martinus, T. P. (2021). *Analisa keausan dan umur pakai undercarriage excavator PC200-2 Komatsu pada komponen track shoe, track roller dan carrier roller dengan diagram fishbone* [Skripsi, Universitas Sanata Dharma]. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Module Final Drive & Undercarriage. (n.d.). *Sekolah Vokasi, Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Module Product Knowledge. (n.d.). *Sekolah Vokasi, Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Part Book Komatsu. (2013). *PC200-8M0 (Serial number C10001 and up)*. Tokyo: Komatsu Ltd.

- PT United Tractors. (2011). *Basic mechanic course: Final drive & undercarriage*. Jakarta: Technical Training Department.
- Rais, I. A. (2020). *Perbaikan sprocket pada bulldozer Komatsu D31E*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rasma, A. A., & Kurniawan, M. G. (2022). Pembuatan alat remove dan install track roller pada unit PC200-8M0 untuk general over haul. *Jurnal UMJ, Universitas Muhammadiyah Jakarta*.

Karakteristik Tekanan pada Daerah *Upstream* dan *Downstream* Pembesaran Pipa Lurus dengan Variasi Panjang Pipa *Re-Entrant*

J-MOVE
JURNAL TEKNIK MESIN



Mahmuddin^{1*}, Agus Wahyudi², Muhammad Syahrir³

^{1,3} Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

² Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

* Penulis Korespondensi.

Riwayat Artikel

Diterima: 18 Januari 2026
Selesai Revisi: 16 Februari 2026
Disetujui: 11 Maret 2026
Tersedia daring: 15 Maret 2026

Alamat E-mail

¹ mahmuddin@umi.ac.id
² aguswahyudi94@gmail.com
³ muhhammad.syahrir@umi.ac.id

Abstrak

Pipa *reentrant* adalah sebuah struktur pipa yang dirancang untuk memungkinkan aliran fluida dengan cara yang lebih efisien dan mengurangi turbulensi. Ciri khas dari pipa *reentrant* adalah adanya bagian yang menyempit atau melengkung sebelum melebar kembali, yang memungkinkan fluida untuk mengalir kembali ke arah aliran utama. Tujuan dari penelitian ini adalah Untuk mengetahui pengaruh panjang pipa *reentrant* terhadap karakteristik tekanan dan beda tekanan yang ditimbulkan pada sisi *upstream* terhadap sisi *downstream* pressure saat melewati pipa *reentrant*. Dalam penelitian ini menggunakan variasi panjang pipa *reentrant* 0, 0,5 dan 1 cm dengan perbandingan ini rasio diameter (d/D) yang digunakan adalah 0,5625 pada debit aliran air 10 LPM sampai dengan 21 LPM. Penelitian ini dilaksanakan Pusat Laboratorium Riset dan Pengembangan Teknologi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia Makassar. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh Pengaruh panjang pipa *reentrant* sangat berpengaruh terhadap penurunan tekanan yang terjadi. Perbedaan tekanan *upstream* dan tekanan *downstream* tertinggi pada *reentrant* $L=0$ yakni 107207 N/m dengan ΔP sebesar $-156,331 Pa$, Tekanan *downstream* tertinggi pada *reentrant* $L=0,5$ yakni 106914 N/m² dengan ΔP sebesar $-117,249 Pa$ sedangkan Tekanan *downstream* tertinggi pada *reentrant* $L=1$ yakni 106894 N/m² dengan ΔP sebesar $-273,581 Pa$. Pressure drop yang terjadi sebesar 141,901 N/m² sampai 625,785 N/m² sedangkan kerugian yang terjadi sebesar 0,0052 m sampai dengan 0,0228 m sedangkan Beda tekanan yang dihasilkan pada geometri rasio pipa *reentrant* $L=0$: Tekanan *upstream* bisa lebih tinggi karena akumulasi tekanan sebelum fluida mengalami perubahan arah yang tajam dan sedangkan $L=0,5$ dan $L=1$: Dengan geometri yang lebih halus, penurunan tekanan yang terjadi lebih merata, sehingga tekanan *upstream* tidak mengalami akumulasi yang sama seperti pada $L=0$.

Kata kunci: Panjang pipa *re-entrant*, Tekanan *upstream*, Tekanan *downstream*, Beda tekanan, Penurunan tekanan.

Abstract

A *reentrant* pipe is a pipe structure designed to allow fluid flow in a more efficient manner and reduce turbulence. A distinctive feature of *reentrant* pipes is the presence of a narrowed or curved section before widening again, which allows fluid to flow back in the direction of the main stream. The purpose of this study is to determine the effect of the length of the *reentrant* pipe on the pressure characteristics and the difference in pressure caused on the upstream side to the downstream pressure side when passing through the *reentrant* pipe. In this study, a variation in the length of the *reentrant* pipe was used, with values of 0, 0.5, and 1 cm. With this ratio, the diameter (d/D) used was 0.5625 at a water flow discharge of 10 LPM to 21 LPM. This research was carried out by the Center for Technology Research and Development Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Muslim University of Indonesia, Makassar. Based on the results of the research, it was found that the effect of the length of the *reentrant* pipe significantly affects the pressure reduction that occurs. The difference between upstream pressure and the highest downstream pressure in *reentrant* $L=0$ is 107207 N/m with ΔP of $-156.331 Pa$, the highest downstream pressure in *reentrant* $L=0.5$ is 106914 N/m² with ΔP of $-117.249 Pa$, while the highest downstream pressure in *reentrant* $L=1$ is 106894 N/m² with ΔP of $-273.581 Pa$. The pressure drop that occurs is 141.901 N/m² to 625.785 N/m². In contrast, the loss that occurs is 0.0052 m to 0.0228 m while the pressure difference generated in the geometry of the *reentrant* pipe ratio $L=0$: The upstream pressure can be higher due to the accumulation of pressure before the fluid undergoes a sharp change in direction and whereas $L=0.5$ and $L=1$: With a smoother geometry, the pressure drop occurs more evenly, so that the upstream pressure does not accumulate the same as at $L=0$.

Keywords: *Re-entrant* pipe length, Upstream pressure, Downstream pressure, Pressure difference, Pressure drop.

1. PENDAHULUAN

Lingkungan di sekitar kita tidak akan jauh dari fluida untuk memenuhi kebutuhan hidup. Fluida merupakan zat yang dapat dengan mudah di jumpai, seperti udara sebagai sumber pernafasan makhluk hidup dan air sebagai sumber mineral makhluk hidup. Kegunaan fluida yang sudah begitu penting membuat hal tersebut perlu di kaji lebih dalam, dimana fluida dalam pipa memiliki kerugian yang mengakibatkan aliran fluida tersebut kurang maksimal. Bentuk kerugian energi adalah kerugian head tekanan pada aliran fluida dapat dijumpai pada aliran dalam pipa. Kerugian tersebut diakibatkan oleh gesekan fluida dengan dinding pipa dan juga komponen-komponen lain yang terdapat pada sistem perpipaan tersebut. Komponen pada sistem perpipaan tersebut seperti percabangan, belokan pipa, sambungan pipa, katup-katup, sambungan pembesaran dan pengecilan pipa. Untuk mengurangi kerugian ini biasanya digunakan pipa yang lebih panjang, agar terjadi aliran fluida yang berkembang penuh (fully developed flow). Tetapi, faktor dimensi pipa yang semakin panjang dapat meningkatkan kerugian energi aliran karena gesekan fluida dan dinding pipa. Disamping itu secara ekonomis semakin panjang suatu pipa tentu akan menambah beban energi untuk mentransfer fluida dan efisiensi pemakaian pipa. Pada penelitian ini dilakukan eksperimen untuk mempelajari jarak minimum pada pipa masuk pada sambungan agar dalam perhitungan bisa menggunakan formula Navier-Stokes.

Fluktuasi tekanan dan vorteks sering terjadi pada aliran yang melewati sambungan pipa dengan pembesaran luas penampang tiba-tiba, yang secara signifikan akan berdampak terhadap karakteristik aliran. Fluktuasi tekanan dan vorteks ini tidak diharapkan dalam pengaliran fluida karena akan mengkonsumsi energi aliran. Oleh sebab itu, dicari suatu metode bagaimana mengurangi dampak dari fluktuasi tekanan (intensitas turbulensi) pada aliran dalam pipa. Metode yang digunakan untuk mengurangi fluktuasi tekanan pada sambungan pembesaran adalah dengan menempatkan ring pada daerah pembesaran tersebut Voutsinas (2008). Hasil penelitian Voutsinas (2008), ring tersebut secara efektif dapat meredam vorteks serta mengurangi fluktuasi tekanan (pressure fluctuations) yang terjadi pada daerah sambungan tersebut.

Pipa *reentrant* adalah komponen penting dalam sistem aliran fluida yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi aliran serta mengurangi turbulensi. Struktur pipa ini ditandai oleh adanya bagian yang menyempit sebelum melebar kembali, yang memfasilitasi perubahan arah aliran fluida. Salah satu fenomena yang sering diamati dalam pipa *reentrant* adalah penurunan tekanan yang terjadi antara sisi *upstream* (hulu) dan *downstream* (hilir). Penurunan tekanan ini sangat dipengaruhi oleh geometri pipa, khususnya panjang pipa *reentrant*. Dalam konteks ini, panjang pipa *reentrant* berperan penting dalam menentukan karakteristik aliran fluida, yang pada gilirannya mempengaruhi perbedaan tekanan yang terjadi. Dengan panjang pipa yang berbeda, aliran fluida akan mengalami variasi dalam interaksi dengan dinding pipa, yang dapat menghasilkan perubahan signifikan pada tekanan.

Panjang pipa *reentrant* pada sambungan pembesaran tiba-tiba memiliki pengaruh yang signifikan terhadap distribusi tekanan *upstream* dan *downstream* terutama pada karakteristik tekanan fluida. Oleh karena itu, maka perlu melakukan penelitian dan mempelajari lebih mendalam bagaimana fenomena tekanan *upstream* dan *downstream* dan pemulihan tekanan. Pipa *reentrant* memiliki bagian yang menyempit (converging) dan kemudian melebar (diverging). Desain ini memungkinkan aliran fluida untuk mengalami perubahan arah yang lebih halus, mengurangi turbulensi dan meningkatkan efisiensi aliran. Saat fluida mengalir melalui pipa *reentrant*, kecepatan aliran akan meningkat di bagian yang menyempit, sesuai dengan prinsip kontinuitas. Hal ini menyebabkan penurunan tekanan yang signifikan di bagian tersebut. Setelah melewati bagian menyempit, fluida akan mengalami penurunan kecepatan dan peningkatan tekanan saat memasuki bagian yang melebar.

2. KAJIAN PUSTAKA

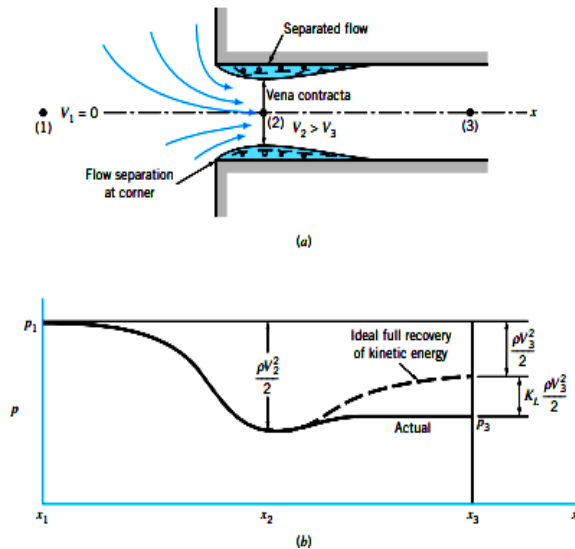
Pipa *reentrant* adalah jenis pipa yang memiliki bagian yang menyempit atau melengkung ke dalam pada suatu titik tertentu. Desain ini sering digunakan untuk mengoptimalkan aliran fluida, mengurangi turbulensi, dan meningkatkan efisiensi sistem pipa. Aliran dalam pipa *reentrant* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk:

- Kecepatan Aliran: Perubahan diameter dapat mempengaruhi kecepatan fluida, yang pada gilirannya memengaruhi tekanan di dalam pipa.
- Turbulensi: Pipa *reentrant* dapat menciptakan area turbulensi yang berbeda, yang penting untuk memahami distribusi tekanan dan aliran.

Pengaruh Pembesaran pada pipa *reentrant* dimana Ketika aliran memasuki bagian yang lebih besar, terjadi penurunan kecepatan dan perubahan tekanan yang signifikan. Hal ini dapat menyebabkan efek seperti pemisahan aliran dan turbulensi. Sedangkan Tekanan *Upstream* dan *Downstream*: Perbedaan tekanan di kedua sisi pembesaran akan mempengaruhi efisiensi aliran dan gaya gesek.

2.1. Penurunan Tekanan (*Pressure Drop*)

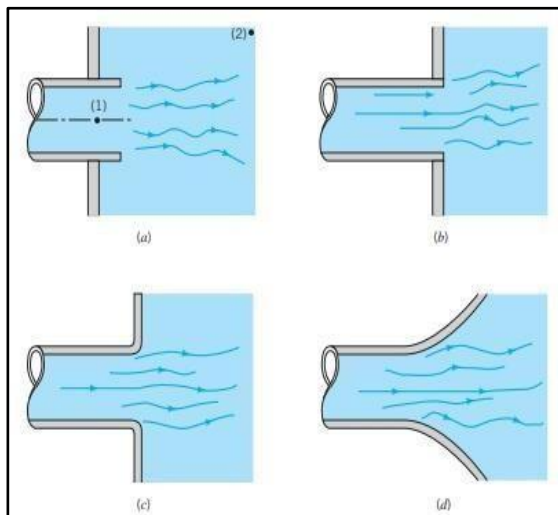
Penurunan Tekanan (ΔP) merupakan salah satu prinsip persamaan Bernoulli dengan memanfaatkan laju volumetrik aliran fluida, dan umumnya dapat digunakan pada banyak aplikasi teknik. Penurunan Tekanan dapat diketahui dengan mengukur differential pressure yang terjadi pada daerah *upstream* pada jarak D dan *downstream* pada jarak $0.5D$ dari titik sambungan. Daerah *upstream* merupakan daerah ketika aliran fluida belum memasuki daerah dimana terjadi perubahan kondisi aliran yang disebabkan perubahan dimensi pipa. Pengukuran tekanan menggunakan pressure tap ditempatkan sepanjang daerah *upstream* dan *downstream* yang dapat terlihat pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Pola aliran melalui pengecilan tiba-tiba (a) distribusi aliran dan (b) distribusi tekanan

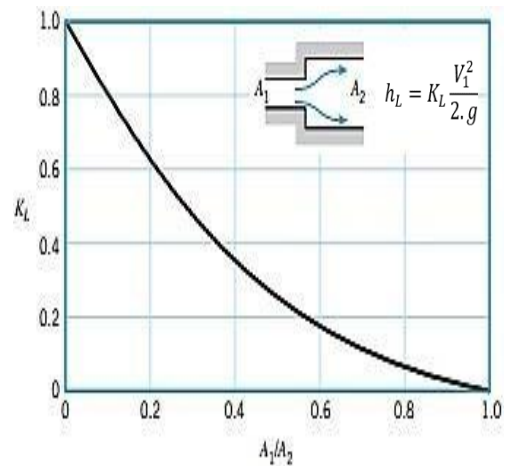
2.2. Pembesaran (Expansion)

Pembesaran dalam suatu perpipaan dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu pembesaran mendadak atau pembesaran secara tiba-tiba (sudden ekspansion) atau gradual ekspansion. Perpindahan aliran fluida dalam pipa dari pipa menuju reservoir. Berdasarkan jenisnya, entrance dapat dibedakan menjadi 4 (empat) macam yaitu *reentrant*, *square edge*, *slightly rounded* dan *well rounded*, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kondisi aliran sisi keluar dan koefisien kerugian (a) *Reentrant*, (b) Tepi-tajam (*square edge*), (c) Sedikit dibulatkan (*slightly rounded*) dan (d) Dibulatkan dengan baik (*well rounded*).

Perbedaan tekanan dapat terjadi maka, dibuat sengaja dengan merubah luas penampang pipa sehingga terjadi perubahan kecepatan pada sisi *upstream* dan *downstream*. Persamaan Bernoulli menjadi acuan dalam menghitung penurunan tekanan (ΔP) yang menyebutkan bahwa besaran kecepatan dan besaran tekanan pada aliran fluida berbanding terbalik nilainya dengan elevasi ketinggian ($\Delta z = 0$).

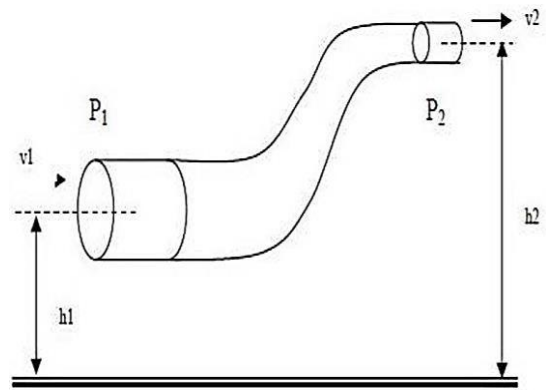


Gambar 3. Koefisien kerugian untuk pembesaran mendadak

2.3. Persamaan Bernoulli

Pada mekanika fluida terdapat persamaan yang menyatakan bahwa kecepatan pada aliran fluida akan berpengaruh pada tekanan, jika kecepatan pada aliran fluida meningkat maka akan terjadi penurunan tekanan pada aliran itu, persamaan ini disebut dengan persamaan Bernoulli. Persamaan Bernoulli juga menyatakan bahwa pada aliran tertutup jumlah energi disetiap titik yang berbeda akan memiliki besar yang sama saat aliran tersebut mengalir pada lintasan yang sama. Fluida akan memiliki tekanan yang besar di suatu titik ketika kelajuan aliran yang terjadi kecil, sebaliknya fluida akan memiliki tekanan yang kecil disuatu titik ketika kelajuan aliran yang terjadi besar.

Persamaan Bernoulli telah disederhanakan menjadi dua bentuk yaitu persamaan yang digunakan untuk aliran tak termampatkan (*Incompressible Flow*) dan persamaan yang digunakan untuk fluida termampatkan (*Compressible Flow*). Aliran tak termampatkan (*Incompressible Flow*) akan memenuhi persamaan Bernoulli apabila aliran tersebut mengalir dengan steady state dan tidak mengalami gesekan. Aliran fluida yang mengalir pada ketinggian yang berbeda dapat dilihat gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Perbedaan ketinggian pada tabung Aliran fluida

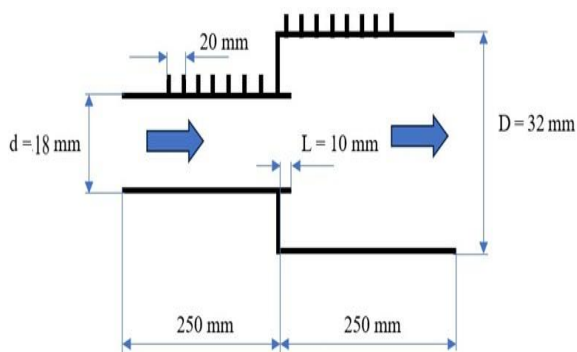
Head ketinggian adalah faktor yang menentukan besar energi potensial yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida ke ketinggian tertentu. Head kecepatan adalah faktor yang menentukan besar energi kinetik yang

dibutuhkan untuk mengalirkan fluida ke ketinggian tertentu. Head tekanan adalah energi aliran yang mempunyai besar yang sama dengan tekanan dari fluida akibat perbedaan ketinggian. Jika permukaan yang ada pada penampang pipa tidak sempurna maka akan muncul gesekan antara permukaan pipa dengan fluida yang sedang mengalir melewatinya sehingga persamaan energi menjadi persamaan (1) berikut:

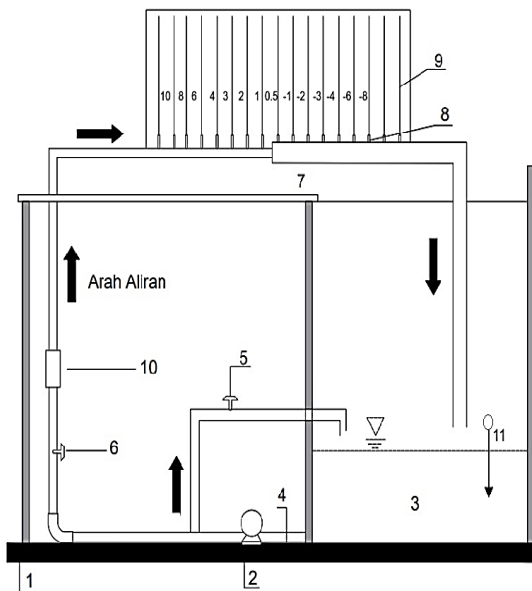
$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \quad (1)$$

3. METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan difokuskan pada karakteristik tekanan pada sambungan pembeesaran pipa type *reentrant* seperti pada gambar 5 dan 6 di bawah ini:



Gambar 5. Geometri sambungan Pipa Tipe *Reentrant*



Gambar 6. Skema penelitian

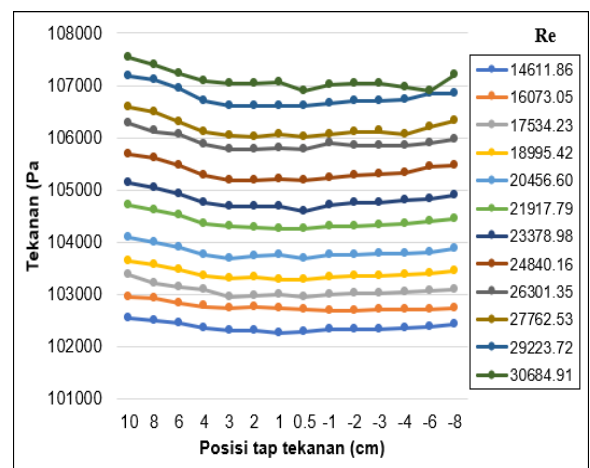
Keterangan gambar:

1. Meja alat uji
2. Pompa
3. Bak air
4. Pipa hisap dari pompa (*suction pump*)
5. Katup pada pipa (*By pass line*)
6. Katup pada pipa alir (*Discharge line*)
7. Seksi uji
8. Papan manometer
9. *Flowmeter*
10. *Thermometer*

4. HASI DAN PEMBAHASAN

4.1. Distribusi Tekanan pada Panjang Pipa Aliran *Reentrant* ($L=0$)

Gambar 7 tekanan *upstream* dan *downstream* sepanjang aliran *reentrant* ($L=0$) pada berbagai debit aliran air. Dalam konteks pipa *reentrant* dengan rasio geometri $L=0$, di mana pipa memiliki belokan tajam atau sudut yang sangat curam, hal ini dapat menyebabkan aliran air berbalik arah dengan cepat. Hukum Bernoulli ini menyatakan bahwa dalam aliran fluida yang stabil, jika kecepatan fluida meningkat, tekanan akan menurun. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Affudin, dkk. 2020) Penurunan tekanan dapat dipengaruhi oleh debit aliran fluida dan besarnya perubahan pipa tersebut, debit memiliki aliran fluida yang mengakibatkan tekanan pada dinding pipa. Penelitian ini bersifat kuantitatif yang akan membahas tentang penurunan tekanan pada perubahan penampang mendadak yang memiliki diameter 1 inci ke $\frac{3}{4}$ inci dan 1 inci ke $\frac{1}{4}$ inci ini dengan variasi bukaan katup 100%, 75% dan 50%. Hasil Penelitian penurunan tekanan perubahan penampang pipa 1 inci ke $\frac{3}{4}$ inci pada setiap bukaan katup yaitu 100% sebesar 0,1 bar, 75% sebesar 0,09 bar dan 50% sebesar 0,05 bar, sedangkan penurunan tekanan perubahan penampang $\frac{1}{4}$ inci pada setiap bukaan katup yaitu 100% sebesar 0,03 bar, 75% sebesar 0,03 bar dan 50% sebesar 0,06 bar. Pada kecepatan aliran dapat berkurang di *downstream*, yang menyebabkan penurunan tekanan. Jika kecepatan di *downstream* (v_2) lebih rendah, maka tekanan *downstream* (P_2) akan lebih rendah dibandingkan tekanan *upstream* (P_1). Panjang lurus pada $L=0$ cenderung menyebabkan turbulensi yang lebih tinggi, yang mengurangi tekanan di *downstream* akibat gesekan dan pengaruh *vortex*.



Gambar 7. Grafik tekanan pada posisi tap dengan debit aliran melalui pipa *reentrant* pada ($L=0$)

Pada pipa *reentrant* dengan $L=0$, tekanan *upstream* lebih besar daripada tekanan *downstream* akibat peningkatan kecepatan aliran, turbulensi, dan rugi-rugi akibat gesekan dan perubahan arah. Semakin besar debit aliran air maka tekanan semakin meningkat. Tekanan *downstream* tertinggi pada reentrant $L=0$ yakni 107207 N/m² terjadi pada kecepatan aliran fluida mencapai 1,376 m/s dengan bilangan Reynolds sebesar 30684,91.

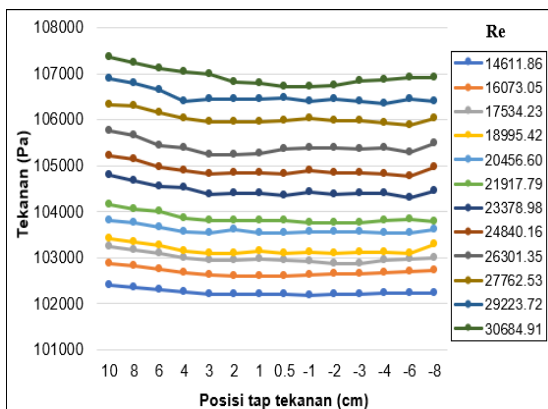
Berdasarkan Gambar 7 maka ΔP yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{upstream} - P_{downstream} \\ &= 107051 - 107207 \\ &= -156,331 Pa \end{aligned}$$

4.2. Distribusi Tekanan pada Panjang Pipa Aliran Reentrant ($L=0,5$)

Dari Gambar 8 tekanan *upstream* dan *downstream* sepanjang aliran *reentrant* ($L=0,5$) atau terjadi penyempitan menyebabkan peningkatan kecepatan aliran. Ini berkontribusi pada penurunan tekanan *downstream* dengan berbagai debit aliran fluida. tekanan *upstream* memiliki nilai yang lebih besar dari pada tekanan *downstream*. Berdasarkan Hukum Bernoulli menyatakan bahwa dalam aliran fluida yang stabil, peningkatan kecepatan fluida akan diikuti oleh penurunan tekanan. Ketika fluida melewati area *reentrant*, kecepatan aliran meningkat, menyebabkan penurunan tekanan *downstream*. Disamping itu Ketika fluida mengalir melalui pipa, gesekan dengan dinding pipa mengurangi energi aliran dan Di daerah *downstream*, gesekan lebih signifikan akibat turbulensi yang mungkin terjadi. Hal ini menunjukkan pada rasio $R=0,5$ bahwa diameter pipa bagian *reentrant* lebih kecil daripada diameter pipa sebelum dan setelah area *reentrant*. Ini berarti aliran harus menyempit saat memasuki bagian *reentrant* sehingga terjadi peningkatan kecepatan aliran yang melalui pipa tersebut. Semakin besar debit aliran fluida maka tekanan semakin meningkat. Tekanan *downstream* tertinggi pada reentrant $L=0,5$ yakni 106914 N/m^2 terjadi pada kecepatan aliran air mencapai $1,376 \text{ m/s}$ dengan bilangan Reynolds sebesar $30684,91$. Berdasarkan Gambar 8 maka ΔP yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{upstream} - P_{downstream} \\ &= 106797 - 106914 \\ &= -117,249 Pa \end{aligned}$$

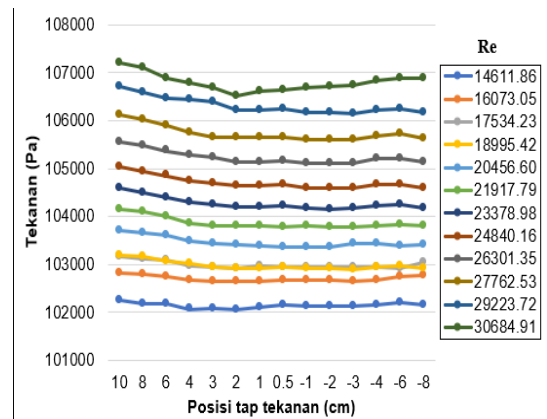


Gambar 8. Grafik tekanan pada posisi tap dengan debit aliran melalui pipa *reentrant* pada ($L=0,5$)

4.3. Distribusi Tekanan pada Panjang Pipa Aliran Reentrant ($L=1$)

Dari Gambar 9 tekanan yang terjadi pada pipa *reentrant* dengan rasio $L=1$ (di mana diameter pipa sebelum dan setelah *reentrant* adalah sama), tekanan *upstream* biasanya masih lebih besar daripada tekanan *downstream*. Rasio geometri $L=1$ menunjukkan bahwa diameter pipa tetap sama sebelum, saat, dan setelah area

reentrant. Ini berarti tidak ada penyempitan yang signifikan saat fluida memasuki atau keluar dari bagian *reentrant*.



Gambar 9. Grafik tekanan pada posisi tap dengan debit aliran yang melalui pipa *reentrant* pada ($L=1$)

Hukum Bernoulli: Meskipun tidak ada perubahan diameter, hukum Bernoulli tetap berlaku. Tekanan *upstream* P_1 tetap lebih besar dibandingkan tekanan *downstream* P_2 karena efek lain seperti gesekan dan turbulensi. Jika kecepatan aliran meningkat di *downstream* (karena perubahan arah), maka P_2 akan lebih rendah. Pengaruh aliran *reentrant* yaitu perubahan arah aliran di area *reentrant* dapat menyebabkan turbulensi, yang mengurangi tekanan *downstream* dan gesekan antara fluida dan dinding pipa tetap ada, yang menyebabkan penurunan tekanan saat fluida bergerak melalui pipa. Dengan adanya pengaruh Perubahan arah aliran akan menyebabkan rugi-rugi dinamis, meskipun tidak ada perubahan diameter. Ini juga berkontribusi pada penurunan tekanan.

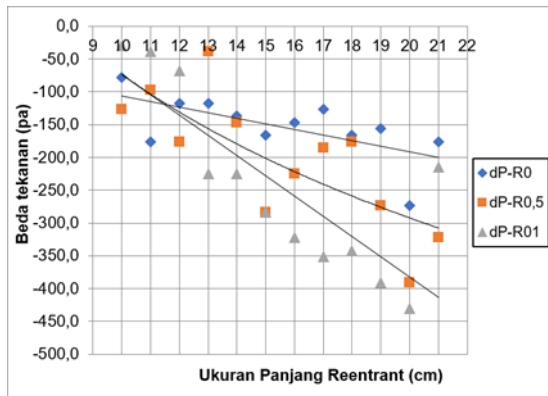
Tekanan *downstream* tertinggi pada reentrant $L=1$ yakni 106894 N/m^2 terjadi pada kecepatan aliran air mencapai $1,376 \text{ m/s}$ dengan bilangan Reynolds sebesar $30684,91$. Berdasarkan Gambar 9 maka ΔP yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{upstream} - P_{downstream} \\ &= 106221 - 106894 \\ &= -273,81 Pa \end{aligned}$$

4.4. Beda tekanan pada berbagai aliran pipa *reentrant*

Dari Gambar 10 grafik hubungan antara beda tekanan yang dihasilkan pada posisi tap penekanan yang terjadi pada berbagai rasio aliran pipa *reentrant* yaitu $L=0$, $L=0,5$ dan $L=1$. Dimana beda tekanan yang dihasilkan semakin menurun seiring meningkatnya debit aliran air pada posisi tap penekanan. Beda tekanan pada rasio pipa *reentrant* $L=0$ meningkat dibandingkan $L=0,5$ dan $L=1$. Perbedaan nilai tekanan dalam pipa *reentrant* dengan rasio geometri yang berbeda ($L=0$, $L=0,5$, dan $L=1$) disebabkan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi aliran fluida yaitu karakteristik geometri $L=0$ yaitu Pipa memiliki belokan tajam (tanpa radius), yang menyebabkan aliran fluida berbalik arah secara mendadak, $L=0,5$ Terdapat kelengkungan, yang membuat perubahan arah lebih halus dibandingkan dengan $L=0$ dan $L=1$ yaitu Pipa tetap dengan diameter

yang sama, sehingga tidak ada penyempitan atau belokan tajam.



Gambar 10. Grafik hubungan antara debit air terhadap beda tekanan pada berbagai Rasio panjang pipa reentrant.

Disamping itu terjadi turbulensi dan gesekan turbulensi tinggi pada $L = 0$: Belokan tajam menciptakan turbulensi yang sangat tinggi, yang menyebabkan gesekan internal di dalam fluida meningkat. Meskipun ini mengarah pada penurunan tekanan *downstream*, tekanan *upstream* tetap relatif tinggi karena fluida dapat terakumulasi sebelum memasuki area *reentrant*, Turbulensi Moderat pada $L = 0,5$: Dengan radius yang lebih besar, turbulensi dan gesekan berkurang, sehingga aliran lebih teratur dan tekanan *upstream* tidak setinggi pada $R = 0$ dan Turbulensi Rendah pada $L = 1$: Di sini, aliran cenderung lebih stabil dengan gesekan yang lebih sedikit, sehingga perbedaan tekanan antara *upstream* dan *downstream* paling kecil. Efek penurunan tekanan yaitu $L = 0$: Tekanan *upstream* bisa lebih tinggi karena akumulasi tekanan sebelum fluida mengalami perubahan arah yang tajam. Meskipun ada penurunan tekanan yang besar *downstream*, tekanan yang lebih tinggi di *upstream* tetap ada sedangkan $L = 0,5$ dan $L = 1$: Dengan geometri yang lebih halus, penurunan tekanan yang terjadi lebih merata, sehingga tekanan *upstream* tidak mengalami akumulasi yang sama seperti pada $L = 0$.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang geometri pipa *reentrant* dapat disimpulkan bahwa :

- Pengaruh panjang pipa *reentrant* sangat berpengaruh terhadap penurunan tekanan yang terjadi. Perbedaan tekanan *upstream* dan tekanan *downstream* tertinggi pada reentrant $L=0$ yakni 107207 N/m^2 dengan P sebesar $-156,331 \text{ Pa}$, Tekanan *downstream* tertinggi pada reentrant $L=0,5$ yakni 106914 N/m^2 dengan P sebesar $-117,249 \text{ Pa}$ sedangkan Tekanan *downstream* tertinggi pada reentrant $L=1$ yakni 106894 N/m^2 dengan P sebesar $-273,581 \text{ Pa}$. Pressure drop yang terjadi sebesar $141,901 \text{ N/m}^2$ sampai $625,785 \text{ N/m}^2$ sedangkan kerugian yang terjadi sebesar $0,0052 \text{ m}$ sampai dengan $0,0228 \text{ m}$.
- Beda tekanan yang dihasilkan pada geometri rasio pipa *reentrant* $L=0$: tekanan *upstream* bisa lebih tinggi karena akumulasi tekanan sebelum fluida mengalami perubahan arah yang tajam dan sedangkan $L = 0,5$ dan $L=1$: dengan geometri yang lebih halus, penurunan

tekanan yang terjadi lebih merata, sehingga tekanan *upstream* tidak mengalami akumulasi yang sama seperti pada $L = 0$.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifudin, M. T., et al. (2020). Pengaruh perubahan diameter pipa mendadak 1 inch ke $\frac{3}{4}$ dan $1 \frac{1}{4}$ inch terhadap pressure drop dengan variasi bukaan katup. *Reaktom: Rekayasa Keteknikan dan Optimasi*, 5(1), 22–27.
- Andrew, W., & Williams. (1979). *Applied instrumentation in the process industries* (Vol. 1, 2nd ed., pp. 46–54). Gulf Publishing Co.
- Bohra, L. K. (2004). *Flow and pressure drop of highly viscous fluids in small aperture orifices* (pp. 62–63). Georgia Institute of Technology.
- Chisholm, D. (1985). *Two-phase flow in heat exchangers and pipelines* (pp. 48–57). Glasgow College of Technology.
- Dahmani, Z. S. (2017). *Studi karakteristik pompa sentrifugal dan Cussons friction loss apparatus dengan modifikasi orifice dan ball valve* (pp. 13–26). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Fossa, M., & Guglielmini, G. (2002). Pressure drop and void fraction profiles during horizontal flow through thin and thick orifices. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 26, 513–523.
- Ghurri, A., Gunawan, & Syamsudin. (2016). Pengujian orifice flow meter dengan kapasitas aliran rendah. *Jurnal Mechanical*, 7, 61–66.
- Hollingshead, C. L. (2011). *Discharge coefficient performance of Venturi, standard concentric orifice plate, V-cone, and wedge flow meters at small Reynolds numbers*. Utah: Utah State University.
- Leopard, R. (2017). *Studi numerik performa square edge dan quadrant edge orifice flow meter dengan variasi rasio diameter*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Makhsud, A. (2012). *Mekanika fluida: Teori dan aplikasi*. Makassar: Kretakupa Print.
- M, A. P., V, S., & Yogesh, K. (2016). Analysis of compressible effect in the flow metering by orifice plate using CFD. *IJSRSET*, 162420, 170–180.
- Priambudi, H. S. (2002). Studi eksperimental tentang pengaruh perubahan diameter lubang orifice terhadap karakteristik boundary layer aliran hilir. *Jurnal Teknik Mesin*, 4, 32–42.
- Reader, M., & Harris. (2015). *Experimental fluid mechanics: Orifice plates and Venturi tubes*. London: Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London.
- Roul, M. (2012). Numerical modeling of pressure drop due to single-phase flow of water and two-phase flow of air–water mixtures through thick orifices. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 544–551.
- Sanghani, C. R. (2016). Comparative analysis of different orifice geometries for pressure drop. *IJSTE – International Journal of Science Technology & Engineering*, 2(10), 494–498.
- Septiadi, W. N. (2008). Studi eksperimental orifice flow

- meter dengan variasi tebal dan posisi pengukuran beda tekanan aliran melintasi orifice plate. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM*, 2(1), 61–68.
- Singh, R. K., Singh, S. N., & Seshadri, V. (2010). Performance evaluation of orifice plate assemblies under non-standard conditions using CFD. *Indian Journal of Engineering & Material Sciences*, 17, 397–406.
- Vemulapalli, S., & Venkata, S. K. (2022). Parametric analysis of orifice plates on measurement of flow: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 1–23.

Analisa Kerusakan *Cylinder Boom* pada CAT *Backhoe Loader* 444F

Hendra Nurdin^{1*}, Faisal Habib², Sungkono³

¹ Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

^{2,3} Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

* Penulis Korespondensi.

J-MOVE
JURNAL TEKNIK MESIN



Riwayat Artikel

Diterima: 21 Januari 2026
Selesai Revisi: 21 Februari 2026
Disetujui: 12 Maret 2026
Tersedia daring: 15 Maret 2026

Alamat E-mail

¹ hendran@gmail.com
² faizal.habib@umi.ac.id
³ sungkono@umi.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis gaya yang bekerja pada *seal* dan tegangan yang terjadi pada *seal* CAT *Backhoe Loader* 444F. *Cylinder* hidrolik digunakan sebagai sarana untuk mentransfer dan mengendalikan tekanan serta gerakan. Keuntungan penggunaan *cylinder* hidrolik adalah transfer energi yang kuat hanya dengan menggunakan komponen kecil dan sederhana dalam pengendaliannya. Penelitian ini melakukan pengujian ketahanan *seal* dan analisis terhadap tekanan silinder yang dapat menyebabkan kerusakan pada *boom* silinder CAT *Backhoe Loader* 444F. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui gaya dan tegangan geser yang terjadi pada *seal boom* silinder CAT *Backhoe Loader* 444F. Penelitian dilakukan untuk mengetahui ketahanan *seal* yang bekerja pada *boom* silinder CAT *Backhoe Loader* 444F pada PT. Vale Indonesia, Tbk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Gaya yang terjadi pada *seal* akibat Tekanan pada *boom* silinder CAT *Backhoe Loader* 444F maka Pada kondisi tekanan tanpa ada beban maka gaya yang dihasilkan pada *seal* sebesar 6.780,64 N dan pada tekanan maksimum maka gaya yang dihasilkan sebesar 28.213,7 N sedangkan Tegangan geser yang terjadi pada *seal boom cylinder* CAT *Backhoe Loader* 444F menghasilkan tegangan geser yang terjadi pada *seal* tanpa ada beban sebesar 2.337.054,078 N/m², dan pada tekanan maksimum sebesar 9.724.294,052 N/m². Tegangan yang terjadi pada *seal* dikategorikan masih aman karena masih dibawah dari tekanan yang diizinkan 34.473.800 N/m².

Kata kunci: *Cylinder boom*, Tekanan hidrolik, Ketahanan *seal*, Tegangan geser, CAT *Backhoe Loader* 444F.

Abstract

This study aims to analyze the force acting on the seal and the tension that occurs on the CAT Backhoe Loader 444F seal. Hydraulic cylinders are used as a means of transferring and controlling pressure and movement. The advantage of using hydraulic cylinders is the powerful energy transfer by using only small and simple components in their control. This study conducted seal resistance testing and analysis of cylinder pressure that could cause damage to the CAT Backhoe Loader 444F cylinder boom. The purpose of this study is to determine the shear force and tension that occur in the CAT Backhoe Loader 444F cylinder boom seal. The study was conducted to determine the resistance of the seals working on the CAT Backhoe Loader 444F cylinder boom at PT. Vale Indonesia, Tbk. The results of the study show that the force that occurs in the seal due to the pressure on the cylinder boom of the CAT Backhoe Loader 444F, then in pressure conditions without any load, the force produced on the seal is 6,780.64 N, and at maximum pressure, the force produced is 28,213.7 N. In contrast, the shear stress that occurs in the seal boom cylinder of the CAT Backhoe Loader 444F produces a shear stress that occurs on the seal without any load of 2,337,054.078 N/m², and at a maximum pressure of 9,724,294,052 N/m². The stress that occurs in the seal is still considered safe because it is still below the permissible pressure of 34,473,800 N/m².

Keywords: *Cylinder boom*, Hydraulic pressure, Seal resistance, Shear stress, CAT Backhoe Loader 444F.

1. PENDAHULUAN

Sistem hidrolik adalah sistem yang akhir-akhir ini banyak digunakan oleh industri, baik industri ringan sampai industri berat dan pertambangan sebagai sarana penggerak pada mesin press, mesin lipat dan alat angkut yang berkapasitas ratusan ton. Analisis kegagalan adalah metode investigasi yang dilakukan secara sistematis yang bertujuan untuk mencari tahu penyebab terjadinya kegagalan pada suatu komponen atau peralatan. Hasil yang diharapkan dari analisis kegagalan adalah

rekomendasi atau solusi untuk mengatasi kegagalan yang terjadi. Dalam mempelajari kegagalan komponen, harus mempertimbangkan sebab-sebab atau alasan terjadinya kegagalan secara luas. Kegagalan komponen banyak terjadi pada komponen yang bergerak secara terus-menerus dan menerima beban yang berlebihan.

Salah satu jenis alat berat yang banyak digunakan dalam kegiatan ini adalah *excavator*. Alat berat yang lebih dikenal dengan nama *backhoe* ini lebih dikenal sebagai mesin penggali yang biasanya digunakan untuk mengeruk bahan tambang, misalnya batu bara. *Excavator* memiliki

berbagai komponen penting yang mendukung kelancaran operasionalnya, sehingga apabila komponen tersebut mengalami kerusakan maka suatu pekerjaan yang dilakukan tidak akan siap tepat waktu, yang akan menyebabkan kerugian besar pada perusahaan tersebut. Oleh sebab itu, tidak bisa dipungkiri perlunya suatu perencanaan kegiatan perawatan komponen untuk memaksimalkan sumber daya yang ada. Keuntungan yang akan diperoleh perusahaan dengan lancarnya kegiatan produksi akan lebih besar.

Komponen *boom* pada *excavator* berguna untuk menggerakkan dan mengayunkan *arm* sekaligus *bucket* saat melakukan pekerjaan, berkat dengan adanya *boom* ini jarak ayunan *bucket* bisa lebih jauh sehingga mampu menunjang fungsi lebih luas. Sehingga *boom excavator* merupakan salah satu komponen yang paling penting dari *excavator* karena digunakan untuk menggerakkan *arm* naik turun, menahan beban dari *arm*, *bucket*, dan beban dari luar. Oleh karena itu agar berfungsi sebagaimana mestinya, *boom excavator* harus dibuat dengan material yang berkualitas dan tahan lama sehingga mampu bekerja tanpa mengalami kerusakan. Beberapa komponen *excavator* perlu adanya maintenance setelah digunakan dalam masa pakai, hal ini dapat mengakibatkan biaya operasional meningkat. Kegagalan yang sering terjadi pada *boom* mengalami patah pada bagian *bottom mounting boom*. Bagian *bottom mounting boom* merupakan bagian ujung bawah *boom* yang berfungsi sebagaiudukan komponen *boom* untuk dapat bergerak mengayun. Kemungkinan terjadinya patahan pada *bottom mounting boom* diakibatkan kegagalan lelah serta perawatan yang kurang tepat pada komponen *boom*

Cylinder Hydraulic merupakan sarana yang memakai fluida buat mentransfer dan mengendalikan tekanan serta gerakan. Keuntungan memakai *cylinder hydraulic* dalam hal transfer energi yang kuat hanya menggunakan komponen kecil, dan sederhana berisi hal pengendaliannya. *Excavator* merupakan alat berat yang digunakan untuk mengangkat dan menggali suatu material seperti tanah, bebatuan, pasir dan lain-lain. *Excavator* mempunyai bermacam komponen berarti yang menunjang kelancaran operasionalnya, apabila komponen tersebut mengalami kerusakan hingga sesuatu pekerjaan yang dicoba tidak hendak siap pas waktu, yang hendak menimbulkan kerugian besar pada industri tersebut (Iskandar dkk., 2021).

Salah satu kerusakan pada silinder hidrolik adalah kebocoran silinder. kebocoran silinder ini mengakibatkan keluarnya fluida atau oli dari sistem hidrolik melalui aktuator atau silinder yang mengakibatkan turunnya kemampuan dari aktuator atau silinder dalam menyalurkan daya atau tekanan atau bahkan tidak ada sama sekali. Kerusakan paling sering terjadi keausan dinding silinder, kerusakan baut kepala silinder, keretakan kepala silinder, kerusakan ring piston penyebabnya banyak disebabkan oleh keausan komponen-komponen di dalam silinder, masa pakai/umur, kondisi unit yang tua, frekuensi pemakaian unit dan tekanan berlebih atau *overpressure* akibat kesalahan operator yang mengakibatkan kemampuan silinder melebihi batas sehingga komponen-komponennya rusak.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Backhoe Loader

Backhoe loader adalah sebuah alat berat sejenis *excavator*, tetapi *bucket*-nya terletak di bagian belakang yang disebut *backhoe* (penggali) dan bagian depannya dilengkapi oleh *attachment loader* (pengisi). Jenis alat berat yang satu ini bisa dibidang sangat fleksibel dan serbaguna karena memiliki dua fungsi sekaligus, yaitu mengangkat atau memuat material berat dan melakukan penggalian.



Gambar 1. Backhoe Loader

Kehadiran *backhoe loader* pada industri pembangunan memiliki peranan penting terutama dalam meningkatkan efisiensi kerja. Hanya dengan satu alat berat saja, pekerjaan berat seperti menggali, memuat, dan memindahkan material menjadi lebih mudah serta cepat.

Backhoe loader terdiri dari berbagai komponen utama yang bekerja bersama dalam menyelesaikan tugas-tugas di proyek konstruksi. Komponen-komponen utama pada *backhoe loaders* meliputi :

a) Bucket

Sebuah *backhoe loader* dilengkapi dengan komponen *bucket* dibagian depannya. *Bucket* ini berfungsi untuk mengangkat, memuat, dan mendorong material-material konstruksi, seperti residu-residu hasil pembangunan, kerikil, pasir, tanah, dan bahan konstruksi lainnya.

b) Backhoe

Dibagian belakang *backhoe loader*, terdapat lengan panjang yang juga dilengkapi oleh *bucket*. Namun, *bucket* di sini memiliki fungsi untuk menggali dan mengangkat material dari tanah. *Backhoe* memiliki bentuk yang sama seperti *excavator* hanya saja ukurannya lebih kecil. Kapasitas angkut *backhoe* pun tidak sebesar *excavator*, tetapi fungsi *backhoe* kurang lebih mirip dengan *excavator* pada umumnya seperti menggali pondasi, saluran air, atau parit.

c) Chasis dan Roda

Backhoe loader bisa digerakkan dengan mudah karena adanya roda. Roda pada *backhoe loader* dirancang khusus untuk bergerak di berbagai medan kerja. Chassis pada *backhoe loader* juga harus memiliki ketahanan yang kuat agar *backhoe loader* bisa beroperasi dengan baik di tanah yang tidak rata.

d) Cabin

Cabin adalah ruang khusus untuk operator mengoperasikan sebuah *backhoe loader*. Pada unit *backhoe loader* dan jenis alat berat lainnya, komponen

kabin terdiri dari kursi, pendingin udara, monitor panel, dan perangkat-perangkat penunjang lainnya.

2.2. Fungsi Backhoe Loader

Bagian-bagian *backhoe loader* yang telah disebutkan di atas tentu harus memenuhi standardisasi kerja pada pekerjaan konstruksi agar fungsinya bisa dijalankan dengan baik. fungsi utama dari menggunakan *backhoe loader* sebagai berikut :

- a) Melakukan Pekerjaan Penggalian
Backhoe sangat efektif untuk digunakan dalam berbagai jenis pekerjaan penggalian.
- b) Memuat Material Berat
Di bagian depan, *backhoe loader* memiliki *loader* yang berfungsi untuk memuat material. Semakin besar kapasitas *loader*, semakin tinggi pula tingkat efisiensinya.
- c) Fleksibilitas Tinggi
Backhoe loader juga merupakan sebuah alat berat yang memiliki fleksibilitas tinggi terutama dalam sektor konstruksi karena satu unit *backhoe loader* sudah dilengkapi dengan dua komponen penting, yaitu penggali dan pengisi.
- d) Manuverabilitas
Meskipun memiliki dua *attachment* di bagian depan dan belakang, tetapi ukuran *backhoe loader* cenderung lebih kecil, sehingga *backhoe loader* lebih mudah untuk bermanuver di area yang terbatas.
- e) Efisiensi Biaya
Fungsi ganda yang dimiliki oleh *backhoe loader* tentu sangat membantu Anda menekan biaya operasional dan investasi. *Backhoe loader* adalah alat berat yang ekonomis jika Anda membutuhkan alat berat yang dapat menggali, mengangkat, sekaligus memuat material.

2.3. Sistem Hidrolik

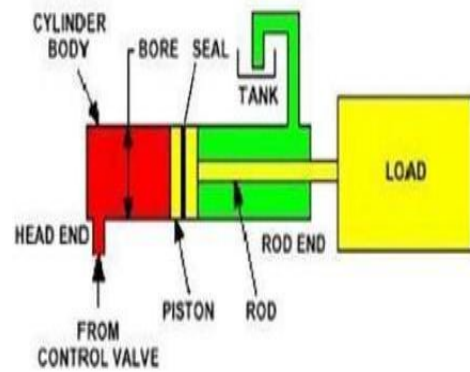
Sistem hidrolik adalah sistem penerusan daya dengan menggunakan oli. Prinsip dasar dari sistem hidrolik adalah memanfaatkan sifat bahwa zat cair tidak mempunyai bentuk yang tetap. Namun menyesuaikan dengan yang ditempatinya. Zat cair bersifat unkompresibel. Karena itu tekanan yang diterima diteruskan ke segala arah secara merata.

Sistem hidrolik biasanya diaplikasikan untuk memperoleh gaya yang lebih besar dari gaya awal yang dikeluarkan. Fluida penghantar ini dinaikkan tekanannya oleh pompa yang kemudian diteruskan ke silinder kerja melalui pipa-pipa saluran dan katup-katup. Gerakan translasi batang piston dari silinder kerja yang diakibatkan oleh tekanan fluida pada ruang silinder dimanfaatkan untuk gerak maju dan mundur maupun naik dan turun sesuai dengan pemasangan silinder yaitu arah horizontal atau vertical.

Dalam bidang konstruksi terbagi menjadi dua macam sistem kerja hydraulic yaitu :

a) Single Acting Cylinder

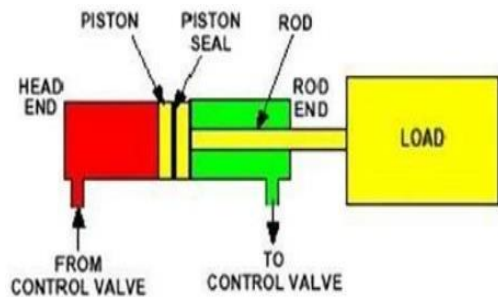
Cylinder kerja tunggal memasok daya ke satu arah. Tekanan *hydraulic* bekerja pada satu sisi piston *cylinder*. Piston dan batang didorong keluar dari *cylinder* barrel dan beban dipindahkan. Karena beratnya beban, aliran oli dikembalikan ke tangki *hydraulic* (Simanjuntak & Nugraha, 2019).



Gambar 2. Single-Acting Cylinder
(Muhammad Haikal, 2019).

b) Double-acting cylinder

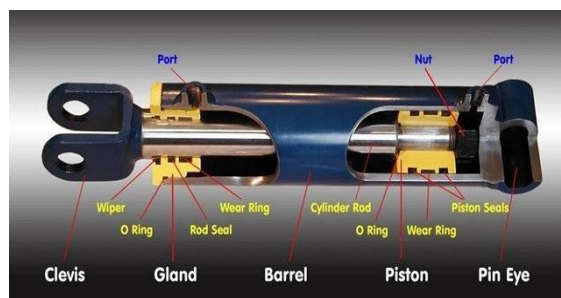
Prinsip operasi *cylinder* hydraulic adalah gerakan ganda. Ini berarti aktuasi ganda dengan dua ruang fluida di dalam ruang *cylinder*, ruang *cylinder* atas dan bawah piston, sebagai bagian dari ruang yang ditempati oleh *cylinder* rod (Simanjuntak & Nugraha, 2019).



Gambar 3. Double-Acting Cylinder
(Muhammad Haikal, 2019).

2.4. Silinder Hidrolik

Silinder adalah sebuah aktuator mekanik yang menghasilkan gaya searah melalui gerakan stroke yang searah. Alat ini menjadi salah satu bagian dari sistem hidrolik selain pompa dan motor hidrolik. Jika motor hidrolik mengubah tekanan fluida hidrolik menjadi gerakan putar, maka silinder hidrolik menghasilkan gerakan stroke yang searah. Silinder hidrolik mendapatkan gaya dari fluida hidrolik bertekanan. Di dalam silinder hidrolik terdapat piston yang terhubung dengan rod yang dapat bergerak maju dan mundur tergantung pada sisi mana yang diisi oleh fluida hidrolik bertekanan. Besar tekanan yang digunakan berbeda pada kedua sisi silinder, tergantung pada beban, dan luas penampang silinder dan sisi rod-nya.



Gambar 5. Silinder Hidrolik dan bagian-bagiannya

Berikut adalah bagian – bagian dari silinder hidrolis :

a) Silinder Barel

Bagian ini menjadi sisi terluar dari silinder hidrolis yang posisinya didesain diam. Proses permesinan pada sisi dalamnya didesain presisi sesuai dengan komponen yang lain.

b) Piston

Bagian ini berada pada sisi dalam barel yang berfungsi untuk memisahkan antara kedua sisi ruang silinder. Berkontak langsung dengan fluida hidrolis dan memiliki luas penampang tertentu. Luas penampang inilah yang mengubah tekanan hidrolis menjadi gaya tertentu yang besarnya sesuai dengan rumus umum:

$$F = P \cdot A \tag{1}$$

dengan,

F = Gaya (N)

P = Tekanan fluida hidrolis (N/m²)

A = Luas penampang piston (m²)

c) Piston Rod

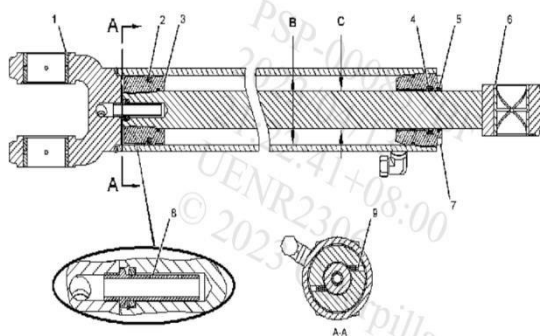
Bagian yang berbentuk silinder memanjang ini salah satu ujungnya terkoneksi langsung dengan piston, dan sisi lainnya terkoneksi dengan peralatan lain yang digerakkan. Bagian inilah yang meneruskan gaya yang timbul akibat tekanan fluida hidrolis ke alat lain yang terhubung.

d) Sistem Seal/Gland

Beberapa bagian dari silinder hidrolis terpasang system *seal* yang umumnya berbahan karet, untuk mencegah kebocoran fluida hidrolis. Pada sisi piston terpasang *seal* untuk mencegah fluida kerja berpindah dari sisi satu ke yang lainnya, sehingga dapat mengganggu kerja silinder hidrolis. Pada sisi piston rod terpasang system *seal* yang fix pada sisi barel sebelah dalam untuk mencegah kebocoran fluida hidrolis yang berada pada ruang sisi piston rod.

3. METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan difokuskan Pada *Cylinder Boom* pada *Beckho Loader Caterpillar 444F* yang sering mengalami kebocoran/kerusakan



Gambar 6. *Cylinder Boom*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan

Tegangan yang diterima pada *seal* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\tau_{G maks} = \frac{F_{maks}}{A_k} \tag{2}$$

Dengan:

F_{maks} = Gaya maksimum (N) = 28.213,68 N

A_k = Luas kontak sel (m²) = 0,00290136 m²

Sehingga,

$$\tau_{G maks} = \frac{28.213,68}{0,00290136} = 9.725.294,052 Pa$$

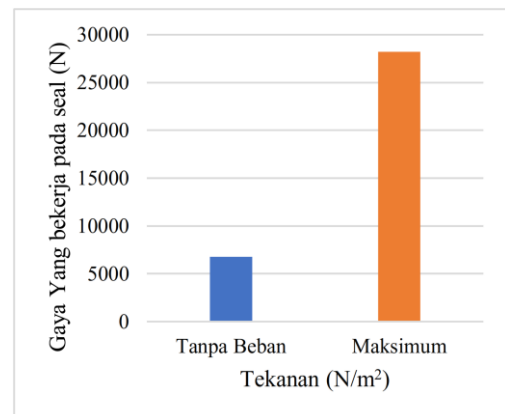
Tegangan geser yang terjadi pada *seal* dengan beban maksimum sebesar 9.724.294,052 N/m².

4.2. Interpretasi Hasil

a) Hubungan antara gaya yang bekerja pada *seal* dengan tekanan

Pada grafik hubungan antara gaya yang bekerja pada *seal* akibat tekanan silinder pada *boom cylinder* CAT *Backhoe Loader 444F* dapat dilihat pada gambar 4.2. dari grafik dapat dilihat bahwa tekanan sangat berpengaruh terhadap kekuatan dari silinder. Gaya yang bekerja pada *seal* hidrolis berperan penting dalam kinerja silinder *boom* pada sebuah mesin atau peralatan berat. Keberhasilan silinder *boom* dalam melaksanakan tugasnya tergantung pada kemampuannya untuk menghasilkan gaya yang cukup untuk menggerakkan dan mengangkat beban yang diinginkan.

Pada kondisi tekanan tanpa ada beban makan gaya yang diterima *seal* akibat tekanan silinder sebesar 6.780,64 N, dan pada tekanan maksimum gaya yang diterima *seal* sebesar 28.213,7 N.

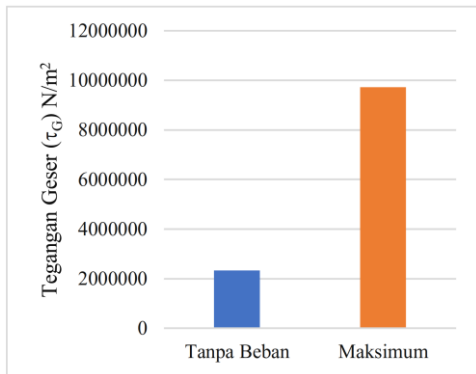


Gambar 7. Grafik hubungan antara gaya yang bekerja pada *seal* dengan tekanan pada *boom cylinder*

b) Tegangan geser yang terjadi pada *seal*

Seal sering digunakan untuk mencegah kebocoran dalam sistem akibat mengalami beban eksternal. Ketahanan *seal* terhadap kerja *boom* pada sistem hidrolis penting untuk memastikan kinerja yang optimal dan mencegah kebocoran atau kegagalan *seal* yang dapat mengganggu operasi system. *Seal* pada sistem hidrolis *boom* harus mampu menahan tekanan hidrolis yang dihasilkan oleh pompa hidrolis. Tekanan hidrolis yang tinggi dapat memberikan beban yang signifikan pada *seal*, oleh karena itu, *seal* harus memiliki ketahanan tekanan yang memadai untuk menghindari kebocoran atau kerusakan. Kegagalan/kebocoran pada silinder hidrolis, *Seal* pada sistem hidrolis *boom* juga harus mampu menahan gerakan dan beban yang dihasilkan oleh kerja

boom. Gerakan yang berulang, getaran, dan beban yang diterapkan pada *seal* dapat mempengaruhi kehidupan pakai dan kinerja *seal*.



Gambar 8. Diagram tegangan geser yang terjadi pada *seal*

Pada *boom cylinder* CAT *Backhoe Loader* 444F menghasilkan tegangan geser pada *boom* tanpa ada beban sebesar 2.337.054,078 N/m² sedangkan tegangan geser pada *boom* dengan beban maksimum sebesar 9.724.294,052 N/m² sedangkan kekuatan tarik dengan material *seal* terbuat dari bahan nilon nitril dengan kekuatan Tarik *seal* sebesar 34.473.800 N/m² karena bahan *seal* ini dirancang untuk menahan tekanan diatas 20.684.280 N/m².

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Gaya yang terjadi pada *seal* akibat Tekanan pada *boom* silinder CAT *Backhoe Loader* 444F maka Pada kondisi tekanan tanpa ada beban maka gaya yang dihasilkan pada *seal* sebesar 6.780,64 N dan pada tekanan maksimum maka gaya yang dihasilkan sebesar 28.213,7 N.
- Tegangan geser yang terjadi pada *seal boom cylinder* CAT *Backhoe Loader* 444F menghasilkan tegangan geser yang terjadi pada *seal* tanpa ada beban sebesar 2.337.054,078 N/m², dan pada tekanan maksimum sebesar 9.724.294,052 N/m². Tegangan yang terjadi pada *seal* dikategorikan masih aman karena masih dibawah dari tekanan yang diizinkan 34.473.800 N/m²

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya Putra Malau. (2019). *Analisa pompa hidrolis pada excavator*. Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Ahmad Zarkasyi, Sariyusda, Jufriadi, & Hamdani. (2019). Analisa kerusakan silinder hidrolis pada excavator Hitachi EX200 LC dengan metode Fishbone di PT. Alhas Jaya Group. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 3(1). Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Ardianto, F. (2019). *Analisa kerusakan sistem hidraulik pada boom cylinder unit excavator XGMA XG822EL* [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta].
- Aryoseto. (2010). *Pembuatan alat peraga sistem hidrolis*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Budi Tri Siswanto. (2007). *Teknik alat berat*. Universitas

Negeri Yogyakarta.

- Iskandar, Adi Saputra Ismy, Sariyusda, Darmein, & Zaini. (2021). Analisa kerusakan hidrolis boom cylinder excavator Komatsu PC200-8 dengan menggunakan metode FMEA. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 5(1). Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Jenni Ria, R., & Willy, V. S. (2021). Analysis of seal resistance on excavator type hydraulic rod EC200D. *Jurnal Baut dan Manufaktur*, 3(2).
- Kis Yoga Utomo. (2022). Analisis ketahanan seal pada batang hidrolis excavator tipe EC200D. *Jurnal Kewarganegaraan*, 6(4).
- Kurniawan, H. (2016). *Analisa defleksi pada rod bucket di sistem hidrolis excavator Hitachi Zaxis 210 MF*. Universitas Muhammadiyah Pontianak.
- Muhammad Haikal. (2019). Analisis sistem perawatan silinder bucket excavator Kobelco SK-200-8S dengan metode total productive maintenance (TPM). *Maintenance Journal*, 81.
- Nofal Olifanta, Pribadyo, & Herri Darsan. (2022). Analisis kerusakan sistem hidrolis pada boom silinder unit eskavator Komatsu PC200-7 di PT. Wirataco Mitra Mulia. *Jurnal COMSERVA*, 2(5). Universitas Teuku Umar, Indonesia.
- Rendy Orlando, R. B., Disabella Dayera, & Benyamin Tangaran. (2022). Analisa kerusakan hydraulic cylinder boom pada unit excavator Kobelco SK200-10. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(2). Universitas Kristen Papua.
- Rissetridharma Simanjuntak, & Novan Abdi Nugraha. (2019). Analisa perbaikan silinder hidrolis bucket PC-2000. *Jurnal Teknik Mesin*, 1

Desain Crane Dengan Kapasitas 2 Ton pada Aplikasi Jembatan Timbang Menggunakan Software AutoCAD 2020

Agus Putra Witama¹, Faisal Habib², Mardin³

¹ Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

^{2,3} Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

* Penulis Korespondensi.



Riwayat Artikel

Diterima: 23 Januari 2026
Selesai Revisi: 22 Februari 2026
Disetujui: 12 Maret 2026
Tersedia daring: 15 Maret 2026

Alamat E-mail

¹ Aguspw@gmail.com
² faizal.habib@umi.ac.id
³ mardin@umi.ac.id

Abstrak

Perkembangan kegiatan transportasi dan distribusi barang dari waktu ke waktu mengalami peningkatan yang signifikan. Berbagai jenis kendaraan digunakan untuk mendistribusikan kebutuhan masyarakat, mulai dari kendaraan ringan hingga kendaraan berat seperti truk dengan berbagai konfigurasi gandar. Aktivitas distribusi tersebut sering kali melibatkan pengangkutan komoditas dalam jumlah besar sehingga berpotensi menimbulkan permasalahan kelebihan muatan (*overloading*) pada kendaraan angkutan barang. Berdasarkan peraturan perundang-undangan terkait transportasi jalan, seperti Undang-Undang Jalan No. 38 Tahun 2004 serta peraturan mengenai Muatan Sumbu Terberat (MST), kapasitas beban kendaraan telah ditetapkan untuk menjaga keamanan lalu lintas serta menjaga ketahanan infrastruktur jalan. Namun dalam praktiknya, pelanggaran terhadap batas muatan kendaraan masih sering terjadi. Kondisi ini menyebabkan meningkatnya kerusakan jalan serta menimbulkan risiko bagi keselamatan pengguna jalan lainnya. Untuk mengendalikan permasalahan tersebut, pemerintah menyediakan fasilitas jembatan timbang yang berfungsi untuk mengukur dan mengawasi berat kendaraan yang melintas. Kendaraan yang terdeteksi membawa muatan berlebih umumnya diwajibkan untuk menurunkan sebagian muatannya sebelum melanjutkan perjalanan. Akan tetapi, proses pemindahan atau penurunan muatan pada jembatan timbang masih banyak dilakukan secara manual sehingga membutuhkan waktu yang relatif lama serta memiliki tingkat efisiensi yang rendah. Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi proses tersebut adalah penggunaan alat bantu pengangkat seperti crane. Crane dapat mempermudah proses pemindahan barang dengan kapasitas tertentu secara lebih cepat dan aman. Oleh karena itu, diperlukan suatu perancangan crane yang sesuai dengan kebutuhan operasional di area jembatan timbang dengan mempertimbangkan aspek kekuatan struktur, pemilihan material, serta faktor keamanan. Dengan memanfaatkan perangkat lunak perancangan teknik seperti AutoCAD, desain crane dapat dibuat secara lebih presisi sehingga mampu memenuhi kapasitas angkat yang direncanakan serta meminimalkan risiko kegagalan struktur pada saat operasi.

Kata kunci: Desain crane, AutoCAD 2020, jembatan timbang, struktur rangka.

Abstract

The development of transportation and distribution activities of goods has increased significantly over time. Various types of vehicles are used to meet community needs, ranging from light vehicles to heavy vehicles, such as trucks with various axle configurations. These distribution activities often involve transporting large quantities of commodities, which can cause overloading problems in goods vehicles. Based on laws and regulations related to road transportation, such as Road Law No. 38 of 2004 and the regulations on Heaviest Axial Loads (MST), vehicle load capacity has been determined to ensure traffic safety and the resilience of road infrastructure. However, in practice, violations of vehicle load limits still occur frequently. This condition leads to increased road damage and poses a risk to other road users' safety. To control these problems, the government provides weighbridge facilities that measure and monitor the weight of passing vehicles. Vehicles detected carrying an excess load are generally required to unload part of their load before continuing their journey. However, the process of moving or unloading loads on weighbridges is still largely manual, so it takes a relatively long time and a relatively inefficient. One solution to improve process efficiency is the use of lifting aids, such as cranes. Cranes can facilitate the faster, safer movement of goods with a given capacity. Therefore, a crane design is needed that meets operational needs in the weighbridge area, considering structural strength, material selection, and safety factors. By using engineering design software such as AutoCAD, crane designs can be made more precise to meet the planned lifting capacity and minimize the risk of structural failure during operation.

Keywords: Crane design, AutoCAD 2020, weighbridge, truss structure.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan aktivitas distribusi barang dari waktu ke waktu mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan bertambahnya kebutuhan masyarakat terhadap berbagai jenis komoditas. Proses distribusi tersebut dilakukan menggunakan berbagai jenis moda transportasi, terutama transportasi darat yang memanfaatkan kendaraan angkutan barang seperti truk dengan konfigurasi gandar tunggal, tandem, hingga kendaraan dengan kereta tempelan dan gandengan. Kendaraan-kendaraan tersebut setiap hari beroperasi untuk mengangkut berbagai komoditas hasil industri maupun kebutuhan masyarakat.

Dalam praktiknya, pengangkutan barang seringkali menimbulkan permasalahan kelebihan muatan kendaraan (*overloading*). Berdasarkan Undang-Undang Jalan No. 38 Tahun 2004 serta ketentuan mengenai Muatan Sumbu Terberat (MST), kapasitas konstruksi jalan yang dirancang umumnya berada pada kisaran $MST < 8$ ton, $MST = 8$ ton, hingga $MST = 10$ ton. Namun kondisi di lapangan menunjukkan bahwa muatan kendaraan sering kali melebihi batas yang telah ditentukan, sehingga menimbulkan pelanggaran terhadap ketentuan tersebut. Kelebihan muatan kendaraan tidak hanya berpotensi merusak infrastruktur jalan, tetapi juga meningkatkan risiko kecelakaan serta menurunkan tingkat keselamatan transportasi.

Untuk mengendalikan permasalahan tersebut, pemerintah menyediakan fasilitas jembatan timbang yang berfungsi untuk mengukur berat kendaraan yang melintas serta memastikan bahwa muatan kendaraan masih berada dalam batas yang diizinkan. Kendaraan yang terbukti membawa muatan berlebih umumnya diwajibkan untuk menurunkan sebagian muatannya sebelum melanjutkan perjalanan. Akan tetapi, proses pemindahan muatan pada jembatan timbang pada umumnya masih dilakukan secara manual sehingga membutuhkan waktu yang relatif lama dan kurang efisien dalam operasionalnya.

Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi proses pemindahan muatan adalah dengan memanfaatkan alat bantu pengangkat seperti crane. Crane merupakan alat mekanis yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan beban berat dengan bantuan sistem mekanik maupun hidrolik. Dalam perancangannya, crane harus dirancang dengan mempertimbangkan berbagai aspek teknis seperti kapasitas angkat, distribusi gaya pada elemen struktur, pemilihan material, serta faktor keamanan agar dapat digunakan secara aman dan andal dalam operasionalnya.

Perkembangan teknologi rekayasa berbantuan komputer juga memberikan kemudahan dalam proses perancangan alat teknik. Perangkat lunak desain seperti AutoCAD memungkinkan perancang untuk membuat model konstruksi secara detail sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam analisis kekuatan struktur sebelum alat tersebut direalisasikan. Dengan menggunakan perangkat lunak tersebut, desain crane dapat dirancang secara lebih presisi sehingga mampu menahan beban kerja yang direncanakan.

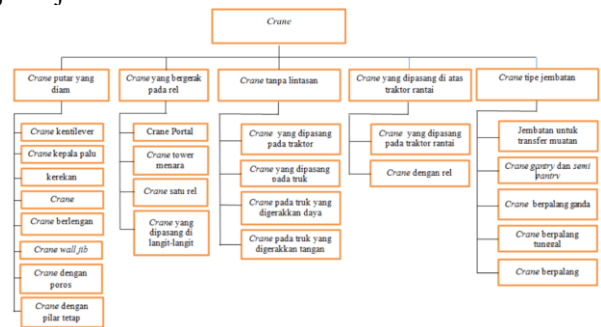
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang crane dengan kapasitas angkat 2000 kg (2 ton) yang dapat digunakan pada aplikasi

jembatan timbang. Selain itu, penelitian ini juga melakukan analisis gaya batang pada struktur rangka crane serta menghitung distribusi gaya akibat beban yang bekerja pada elemen struktur untuk memastikan bahwa desain yang dihasilkan memiliki tingkat keamanan yang memadai.

2. KAJIAN PUSTAKA

Mesin pemindah bahan (*material handling equipment*) merupakan peralatan yang digunakan untuk memindahkan material atau muatan dari satu lokasi ke lokasi lain dalam suatu sistem produksi atau konstruksi. Peralatan ini berfungsi memindahkan muatan secara horizontal, vertikal, maupun kombinasi keduanya dalam jarak relatif dekat, seperti pada area pabrik, gudang, maupun lokasi konstruksi. Berdasarkan fungsinya, mesin pemindah bahan dapat diklasifikasikan menjadi pesawat pengangkat dan pesawat pengangkut. Pesawat pengangkat digunakan untuk mengangkat serta memindahkan muatan secara terbatas, sedangkan pesawat pengangkut digunakan untuk memindahkan material secara kontinu dalam jarak yang lebih jauh, seperti pada sistem conveyor. Muatan yang ditangani dalam sistem pemindahan bahan dapat berupa muatan curah (*bulk load*) seperti pasir, semen, dan bijih mineral, maupun muatan satuan (*unit load*) seperti barang dalam kemasan atau peti kemas.

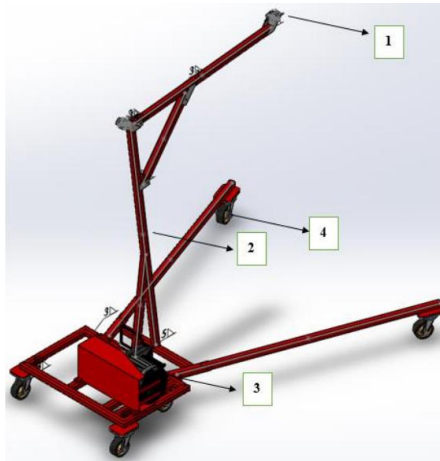
Salah satu peralatan yang banyak digunakan dalam sistem pemindahan material adalah crane. Crane merupakan alat yang berfungsi untuk mengangkat dan memindahkan beban menggunakan sistem katrol dan kait (*hook*). Alat ini banyak digunakan pada kegiatan industri, konstruksi, maupun kegiatan bongkar muat di pelabuhan. Crane memiliki beberapa jenis yang disesuaikan dengan kebutuhan operasi, antara lain crane putar, crane yang bergerak pada rel, crane tanpa lintasan, crane yang dipasang di atas traktor rantai, crane tipe jembatan. Gambar 1 menunjukkan diagram klasifikasi jenis-jenis crane tersebut.



Gambar 2. 1 Jenis-jenis crane

Dalam operasinya, crane tersusun atas beberapa komponen utama yang saling mendukung dalam proses pengangkatan beban. Komponen tersebut antara lain katrol, rangka crane, winch, serta roda. Katrol berfungsi untuk menahan dan mengarahkan beban melalui sistem tali atau wire rope. Rangka crane merupakan struktur utama yang menopang keseluruhan sistem dan umumnya dibuat dari material baja dengan kekuatan tinggi. Winch berfungsi sebagai penggulung wire rope yang digunakan untuk proses pengangkatan, sedangkan roda berfungsi untuk memungkinkan crane berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain. Susunan komponen utama crane dapat dilihat

pada Gambar 2.



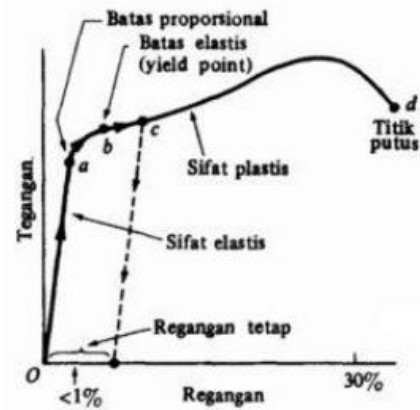
Gambar 2. Komponen crane

Pada perancangan struktur crane sering digunakan konstruksi rangka batang (truss). Struktur rangka batang tersusun dari elemen-elemen batang lurus yang saling terhubung pada titik simpul. Setiap batang pada rangka batang umumnya hanya mengalami gaya aksial berupa gaya tarik atau gaya tekan. Konsep gaya aksial pada elemen rangka batang ditunjukkan pada Gambar 3. Besarnya gaya yang bekerja pada elemen struktur menghasilkan tegangan yang secara umum didefinisikan sebagai gaya per satuan luas penampang. Tegangan yang terjadi dapat berupa tegangan tarik, tegangan tekan, maupun tegangan geser tergantung pada jenis pembebanan yang dialami elemen struktur.



Gambar 3. Gaya aksial

Hubungan antara tegangan dan regangan pada material dijelaskan melalui diagram tegangan-regangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Diagram tersebut menunjukkan tiga daerah utama, yaitu daerah elastis, daerah plastis, dan daerah maksimum. Dalam perancangan struktur mesin, daerah elastis menjadi perhatian utama karena pada daerah ini hubungan antara tegangan dan regangan bersifat linier dan mengikuti hukum Hooke. Hubungan tersebut dinyatakan melalui modulus elastisitas (E) yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan. Pemahaman mengenai karakteristik material dan perilaku tegangan-regangan ini sangat penting dalam perancangan struktur crane agar mampu menahan beban kerja secara aman dan memenuhi faktor keselamatan yang disyaratkan.



Gambar 4. Diagram tegangan-regangan.

3. METODOLOGI

Bagian metodologi berfungsi untuk menjelaskan secara sistematis bagaimana penelitian dilakukan, sehingga pembaca dapat memahami, mengulangi, atau memverifikasi hasil penelitian. Penulisan metodologi harus jelas, logis, dan terstruktur, mencakup hal-hal berikut:

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian pada bulan April tanggal 20 tahun 2024. Tempat penelitian berlokasi di Kecamatan Gambir, Kota Jakarta Pusat, Provinsi DKI Jakarta.

3.2. Bahan dan Alat

Adapun alat yang digunakan dalam proses perancangan crane adalah sebagai berikut :

a) Komputer / Laptop

Komputer/Laptop adalah alat yang dipakai untuk mengolah data menurut prosedur yang telah dirumuskan, dalam perancangan ini minimal bisa menggunakan Autocad dan perangkat lunak lainnya.

- Processor : AMD Ryzen™ 3 7535HS
- RAM : 8,00 GB

b) Aplikasi Autocad 2020

AutoCAD adalah aplikasi desain CAD untuk menggambar 2 dimensi maupun 3 dimensi. Perangkat lunak ini resmi dirilis pada bulan Desember 1982 oleh Autodesk, Inc, yaitu perusahaan multinasional yang bermarkas di kota Mill Valley, California. AutoCAD merupakan aplikasi desktop yang berjalan pada mikrokomputer dengan pengontrol grafis internal. Program ini berjenis CAD (Computer-aided Design) yang dapat membantu pembuatan, modifikasi, analisis, atau pengoptimalan desain. Dengan software AutoCAD desainer akan lebih produktif, meningkatkan kualitas desain, memudahkan komunikasi melalui dokumentasi, dan untuk membuat database (Al Fatah, 2023). Spesifikasi software yang digunakan dalam perancangan crane ini adalah sebagai berikut:

- Nama : AutoCAD 2020
- Tipe : Application
- Size : 64-bit : 4 GB

3.3. Prosedur Penelitian

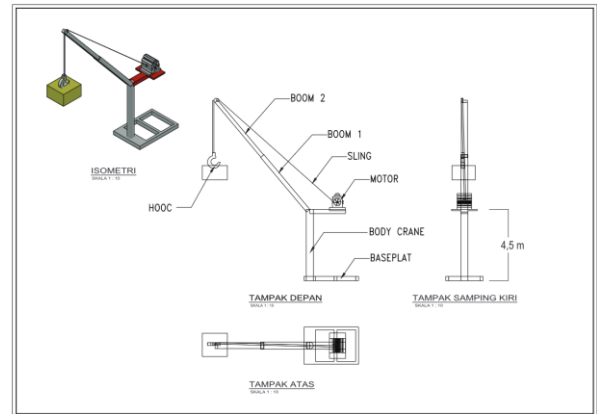
Adapun metode perancangan yang digunakan dalam perancangan crane yaitu :

- Mengumpulkan data mengenai crane (jenis crane, komponen crane, material crane, ukuran crane).
- Mencari referensi berupa buku, foto, gambar atau data baik melalui internet maupun melalui literatur fisik yang ada.
- Buka aplikasi AutoCAD 2020, kemudian klik Start drawing dan nantinya akan muncul tampilan utama pada AutoCAD 2020.
- Membuat gambar 3D (tiga dimensi) berdasarkan mekanisme perancangan crane.
- Membuat laporan tertulis berupa laporan tugas akhir studi desain crane.

3.4. Sketsa Rancangan Konstruksi Crane

Rancangan konstruksi crane memiliki beberapa bagian antara lain baseplat, body crane, motor, sling, boom 1, boom 2, dan hook seperti yang ditampilkan pada Gambar 5 tentang sketsa kasar rancangan konstruksi Crane. Rancangan tersebut dapat digunakan oleh Jembatan Timbang dalam mendukung pelaksanaan fungsi pengawasan, penindakan, dan pencatatan kelebihan muatan pada setiap kendaraan yang diperiksa sesuai Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 134 Tahun 2015 tentang Penyelenggaraan Penimbangan Kendaraan Bermotor Di jalan, dimana Unit Pelaksana Penimbangan Kendaraan Bermotor (UPPKB) atau Jembatan Timbang melakukan penindakan terhadap kendaraan bermotor yang melanggar muatan yang dibawa dengan memindahkan kelebihan muatan tersebut ke gudang UPPKB. Dengan adanya desain crane dengan kapasitas 2 ton pada aplikasi Jembatan Timbang ini maka dapat mendukung jalannya bongkar muatan yang dilakukan, karena saat ini UPPKB melaksanakan penindakan bongkar muatan terhadap pelanggar masih secara manual sesuai dengan Peraturan Dirjen Darat Nomor KP.4084/AJ.005/DRJD/2020 tentang Standar Operasional Prosedur Penyelenggaraan Penimbangan Kendaraan Bermotor.

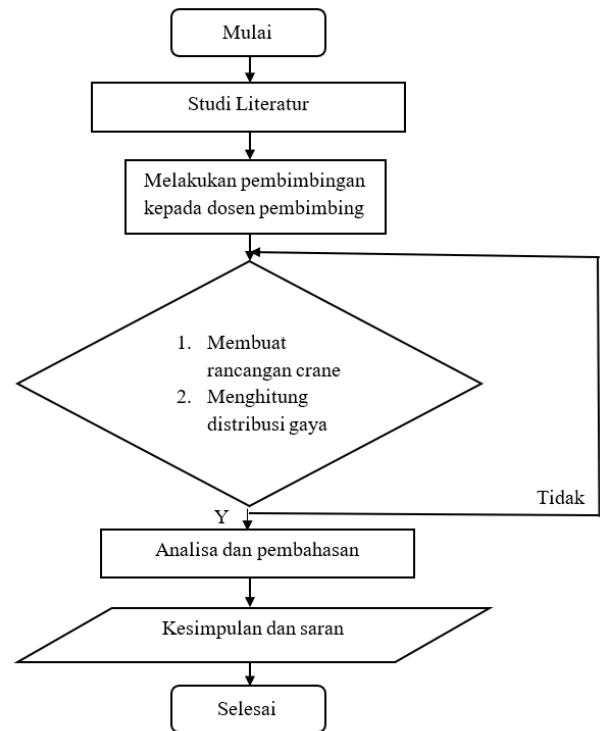
Ukuran desain crane dengan kapasitas 2 ton disesuaikan dengan tinggi maksimal kendaraan bermotor yang masuk untuk diperiksa ke jembatan timbang sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 55 tahun 2012 tentang Kendaraan, yaitu 4,2 meter, sehingga dalam penelitian ini penulis menentukan total tinggi jib crane yaitu 9,5 meter dan body crane yaitu 4,5 meter. Pelanggaran kelebihan muatan yang ada pada UPPKB memiliki rata-rata 1,5 – 2 ton sesuai Peraturan Dirjen Darat Nomor SK.736/AJ.108/DRJD/2017 tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Penimbangan Kendaraan Bermotor Di Jalan. Berbagai macam jenis dan ukuran muatan barang yang diangkut antara lain karung atau box berukuran 75 x 113 cm dengan muatan 100 kg, 56 x 90 cm dengan muatan 50 kg dan 45 x 75 cm dengan muatan 25 kg. Sehingga dalam penelitian ini dengan beban crane yang dapat diangkat yaitu 2 ton maka dapat mengakomodasi seluruh kelebihan muatan yang terjadi di Jembatan Timbang.



Gambar 5. Sketsa kasar rancangan konstruksi crane

3.5. Diagram Alir (flowchart)

Agar proses penelitian bisa dipahami oleh pihak lain, maka perlu langkah-langkah yang sistematis dalam pelaksanaannya yaitu :

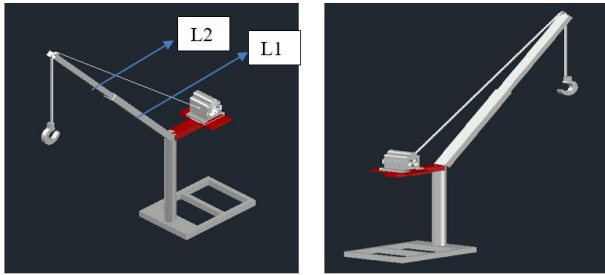
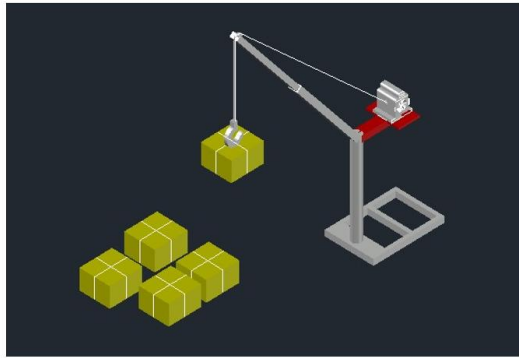


Gambar 6. Diagram Alir (flowchart)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Desain Perancangan Crane Kapasitas 2 Ton

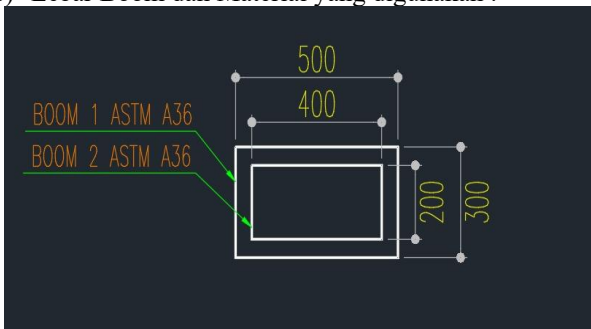
Berikut hasil desain crane kapasitas maksimum 2 ton dengan menggunakan software AutoCAD.



Gambar 7. Desain crane

Adapun data-datanya perencanaan sebagai berikut:

- a) Panjang Boom 1 (L1) = 5 meter
- b) Panjang Boom 2 (L2) = 4,5 meter
- c) Lebar Boom dan Material yang digunakan :



Gambar 8. Jenis material yang digunakan

Material yang digunakan adalah ASTM A36 adalah dimana spesifikasi standar untuk baja struktural karbon ini mencakup bentuk, pelat, dan batang baja karbon dengan kualitas struktural untuk digunakan dalam konstruksi jembatan, bangunan, dan struktur umum yang dipaku, dibaut, atau dilas. Baja ASTM A36 adalah bahan yang banyak digunakan dalam konstruksi karena sifat mekaniknya yang sangat baik dan biaya yang rendah. Ini memiliki kekuatan luluh 36,000 psi dan kekuatan tarik 58,000-80,000 psi. Penerapan Pelat Baja ASTM A36 Spesifikasi ASTM A36 adalah spesifikasi standar untuk baja struktural karbon. Pelat baja ASTM A36 adalah salah satu baja struktural karbon yang paling banyak digunakan di industri.

- d) Rencana Motor yang digunakan

Motor electric winch 2 ton 380 volt adalah perangkat yang digunakan untuk mengangkat beban hingga 2 ton dengan menggunakan tenaga listrik. Kapasitas angkat dari winch ini yaitu 2 ton. Tegangan listrik yang dibutuhkan untuk mengoperasikan motor winch ini adalah 380 volt dengan frekuensi listrik dari 50 Hz sampai 60 Hz. Motor ini menggunakan jenis motor listrik AC tiga fasa. Kecepatan mengangkat beban dapat bervariasi tergantung pada model, namun umumnya berkisar antara beberapa

meter per menit hingga puluhan meter per menit. Motor electric winch 380 volt dengan ukuran dengan sling 10 mm² ini juga dilengkapi sistem rem yang kuat untuk menahan beban agar tidak jatuh secara tiba-tiba. Motor ini memiliki fitur keamanan seperti limit switch untuk mencegah beban terangkat terlalu tinggi atau terlalu rendah.

- e) Daya Rencana maksimum = 30 kW
- f) Putaran maksimum (ninp) = 1000 rpm

Tabel 1. Working Radius dan Max Inted Load Crane

Working Radius	Max Inted Load (Kg)			
	5.15 m	7.35 m	9.35 m	12.85 m
2.50	12000	8180	7500	
3.00	9700	7710	7310	6000
3.50	8000	7170	6670	5200
4.00	7000	6500	6020	4500
4.50	6400	5860	5420	4300
5.00		5310	4890	4100
5.50		4820	4370	3900
6.00		4400	3990	3700
6.50		4000	3690	3500
7.00		3500	3420	3250
7.50			3210	3020
8.00			2990	2800
8.50			2800	2630
9.00			2700	2470
9.50				2300
10.00				2180
10.50				2060
11.50				1980
12.00				1920
12.50				1850

Sumber: (Rukendo, 1994)

4.2. Pembahasan

Dari hasil perhitungan Analisa Teoristis yang dilakukan pada komponen crane pada tiap elemen boom dengan kemiringan 45° diperoleh distribusi beban yang diizinkan yaitu pada Boom pertama (W1”) dengan panjang boom 5 m diperoleh nilai sebesar 18,5 T sehingga dikategorikan Aman untuk beban rencana 2 Ton, pada Boom kedua (W2”) dengan panjang boom 9,5 m diperoleh nilai sebesar 9,3 T sehingga dikategorikan Aman untuk beban rencana 2 Ton. Dan untuk kemiringan 75° diperoleh distribusi beban yang diizinkan yaitu pada Boom pertama (W1”) dengan panjang boom 5 m diperoleh nilai sebesar 6,95 T sehingga dikategorikan

Aman untuk beban rencana 2 Ton, pada Boom kedua (W2'') dengan panjang boom 9,5 m diperoleh nilai sebesar 2,93 T sehingga dikategorikan Aman untuk beban rencana 2 Ton. Dari hasil perhitungan torsi, dapat diketahui torsi yang digunakan dari hasil perhitungan daya rencana dan putaran input yang didapatkan dalam spesifikasi rencana motor yang akan digunakan, sehingga didapat hasil torsi 29220 kg.mm

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil Analisa dan desain yang telah dibuat, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Jenis material yang digunakan adalah baja ASTM A36 karena dianggap memiliki sifat mekanik yang sangat baik dengan biaya yang rendah. Baja ASTM A36 memiliki kekuatan luluh 36,000 Psi dan kekuatan Tarik 58,000-80,000 Psi. Pelat baja ASTM 36 adalah salah satu baja structural karbon yang paling banyak digunakan di industry.
- Hasil analisa teoritis yang dilakukan pada komponen crane pada tiap elemen boom dengan masing-masing kemiringan 45° dan 75°. Untuk kemiringan 45° diperoleh distribusi beban yang diizinkan pada boom pertama (W1'') dengan panjang boom 5 m diperoleh nilai sebesar 18,5 T dan pada boom kedua (W2'') dengan panjang boom 9,5 m diperoleh nilai sebesar 9,3 T sehingga keduanya dikategorikan Aman untuk beban rencana 2 Ton. Dan pada kemiringan 75° diperoleh distribusi beban yang diizinkan pada Boom pertama (W1'') dengan panjang boom 5 m diperoleh nilai sebesar 6,95 T dan pada Boom kedua (W2'') dengan panjang boom 9,5 m diperoleh nilai sebesar 2,93 T sehingga keduanya dikategorikan Aman untuk beban rencana 2 Ton.

5.2. Saran

- Setiap merencanakan suatu rancangan yang rumit, disarankan lebih banyak mencari lebih banyak referensi dan menggali informasi kepada ahli dalam bidang tersebut mengenai informasi yang lebih baik dan rinci.
- Disarankan penelitian ini lebih dikembangkan dan disempurnakan lagi untuk penelitian selanjutnya agar menjadi penelitian yang kompleks dan dapat direalisasikan dikemudian hari.
- Pada penelitian selanjutnya, dalam penentuan struktur crane agar dapat menentukan dan memilih struktur yang lebih efisien sehingga tidak memiliki gap yang tinggi antara distribusi beban yang diizinkan dengan beban rencana berat.

DAFTAR PUSTAKA

Al Fatah, M. W. (2023). *Pengembangan objek wisata Side Land Kaduella, Kabupaten Kuningan* (Doctoral dissertation, Universitas Swadaya Gunung Jati).

Eliza, F., Myori, D. E., & Yanto, D. T. P. (2019). Peningkatan kompetensi guru sekolah menengah kejuruan melalui pelatihan software engineering. *Jurnal Vokasi Mekanika*, 5(1).

Gandhere, K. (2014). Design optimization of jib crane boom using evolutionary algorithm. *International*

Journal of Scientific Engineering and Research, 3(5), 5.

Hengki Rahmanto, R. (2013). Analisis disain optimum penyerapan energi material twistlock pada harbour mobile gantry crane tipe EH 12. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(2), 54.

Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2015). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 134 Tahun 2015 tentang penyelenggaraan penimbangan kendaraan bermotor di jalan*. Jakarta: Kementerian Perhubungan RI.

Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2017). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor SK.736/AJ.108/DRJD/2017 pedoman teknis penyelenggaraan penimbangan kendaraan bermotor di jalan*. Jakarta: Kementerian Perhubungan RI.

Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor KP.4084/AJ.005/DRJD/2020 standar operasional prosedur penyelenggaraan penimbangan kendaraan bermotor*. Jakarta: Kementerian Perhubungan RI.

Kurniawan, A. (2014). *Analisa kekuatan struktur crane hook*. Universitas Bengkulu. <http://repository.unib.ac.id/10422/>

Pangaribuan, J., Sastrodiyoto, A., Purnama, S., Boer, N. A., & Anggada, S. (2016). Pengaruh dimensi muatan terhadap jumlah berat yang diijinkan mobil bak muatan terbuka. *Jurnal Penelitian Sekolah Tinggi Transportasi Darat*, 7(2), 230–244.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (2012). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2012 tentang kendaraan*.

Rudenko, N. (1994). *Mesin pengangkat*. Erlangga.

Rudy, H. H. S., Wardhani, S., & Hery, C. (2008). Sistem informasi pengawasan kendaraan angkutan barang pada jembatan timbang untuk penentuan pelanggaran muatan lebih dan damage motor (studi kasus daerah istimewa Yogyakarta). *Forum Teknik Sipil*, XVIII, 822.

Soemartomo, B., & Sutikno. (2014). Studi tentang pemilihan jenis crane untuk proyek bangunan industri. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*.

Srivastava, A. K., Goering, C. E., & Rohrbach, R. P. (1993). *Engineering principles of agricultural machines*. American Society of Agricultural Engineers.

Sularso, & Suga, K. (2004). *Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin* (Edisi ke-11). Pradnya Paramita.

Suresh Bollimpelli, K. (2015). Design and analysis of column of mounted JIB crane. *International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, 3(1), 38.

Wibawa, L. A. N. (2019). Pengaruh pemilihan material terhadap kekuatan rangka main landing gear untuk pesawat UAV. *Jurnal Teknologi dan Terapan Bisnis*, 2(1), 48–52.

Zainuri, A. M. (2006). *Mesin pemindah bahan*. CV Andi Offset

Pengaruh Sambungan Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Material *Wear Plate*

Hendro^{1*}, Muhammad Balfas², Akhiruddin Pasdah³

¹ Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

^{2,3} Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

* Penulis Korespondensi.

J-MOVE
JURNAL TEKNIK MESIN



Riwayat Artikel

Diterima: 24 Januari 2026
Selesai Revisi: 25 Februari 2026
Disetujui: 12 Maret 2026
Tersedia daring: 15 Maret 2026

Alamat E-mail

¹ hendro032@gmail.com
² balfas@umi.ac.id
³ ahiruddin.ahiruddin@umi.ac.id

Abstrak

Pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan logam yang umum digunakan dalam industri. Penelitian ini fokus pada pengelasan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) untuk menghubungkan dua bagian logam menggunakan sumber panas dan bahan tambah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro dari material uji Hardox 400. Material uji Hardox 400 diperoleh dari PT. Vale Indonesia dan pengujian dilakukan di BLKI Makassar untuk pengujian tarik, serta di Laboratorium Material Teknik Universitas Muslim Indonesia untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa material Hardox 400 yang telah dilas dengan metode SMAW memiliki tegangan tarik maksimum sebesar 591,266 MPa dan regangan sebesar 6,567%. Sebagai perbandingan, spesimen tanpa pengelasan (normal) memiliki tegangan tarik maksimum sebesar 777,512 MPa dan regangan sebesar 6,980%. Dalam hal kekerasan, nilai rata-rata kekerasan tertinggi terjadi pada daerah *Base metal* sebelah kanan sebesar 68 N/mm², HAZ kanan sebesar 61 N/mm², daerah las (*weld metal*) sebesar 55,33 N/mm², HAZ sebelah kiri sebesar 61 N/mm², dan *Base metal* sebelah kiri sebesar 68 N/mm². Spesimen tanpa pengelasan (normal) memiliki nilai kekerasan sebesar 66,8 N/mm². Analisis struktur mikro menunjukkan bahwa pada daerah las (*weld metal*) terdapat fasa austenit, sementara daerah HAZ terdiri dari fasa Martensit dan Bainit. Daerah *Base metal* didominasi oleh fasa Martensit.

Kata kunci: Pengelasan, SMAW, Hardox 400, Kekuatan tarik, Kekerasan, Struktur mikro.

Abstract

Welding is one of the commonly used metal joining techniques in industry. This research focuses on welding using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method to connect two metal parts using heat sources and additives. The purpose of this study was to evaluate the tensile strength, hardness, and microstructure of the Hardox 400 test material. Hardox 400 test material was obtained from PT. Vale Indonesia and tests were carried out at BLKI Makassar for tensile testing, as well as at the Engineering Materials Laboratory of the Muslim University of Indonesia for hardness and microstructure testing. The tensile test results showed that Hardox 400 material that had been welded with the SMAW method had a maximum tensile stress of 591.266 MPa and a strain of 6.567%. In comparison, unwelded (standard) specimens have a maximum tensile stress of 777.512 MPa and a strain of 6.980%. In terms of hardness, the highest average hardness values occurred in the right base metal area of 68 N/mm², the right HAZ of 61 N/mm², the weld metal area of 55.33 N/mm², the left HAZ of 61 N/mm², and the left base metal of 68 N/mm². Unwelded (standard) specimens have a hardness value of 66.8 N/mm². Microstructure analysis showed that in the weld metal area, there is an austenitic phase, while the HAZ area consists of Martensite and Bainite phases. The Martensite phase dominates the base metal region.

Keywords: Welding, SMAW, Hardox 400, Tensile strength, Hardness, Microstructure.

1. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya teknologi produksi dan bahan baku logam tidak dapat dipisahkan dari pemanfaatan teknologi penyambungan logam. Di era globalisasi sekarang ini perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat berpengaruh terhadap perindustrian didalam negeri, maka dari itu setiap individu dituntut untuk selalu mengikuti kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi ini

terlihat dari kemampuan individu seseorang dalam penyambungan logam yang terdapat beberapa jenis variasi dalam pengelasan logam. Teknik pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan antara dua bagian logam atau lebih menjadi satu sambungan yang tetap dengan menggunakan sumber panas dan bahan tambah.

Lingkup penggunaan pengelasan dalam pekerjaan konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, alat berat, sarana transportasi, pipa dan lain

sebagainya. Juga dengan bangunan konstruksi menggunakan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun, karena sambungan las merupakan salah satu proses pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi dan keahlian yang mumpuni bagi seorang *Welder* agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Masalah yang sering terjadi pada sambungan las selama ini dilapangan yaitu sering tedapatnya: retak, porositas, *under cut* dan *slag inclusion*, kejadian ini disebabkan oleh beberapa hal diantaranya: Arus pengelasan yang digunakan terlalu besar, elektroda yang digunakan masih lembab atau terkena air, Proses pembersihan Slag yang kurang bersih sehingga tertumpuk oleh lasan bisa juga disebabkan oleh penggunaan sambungan las yang tidak sesuai sehingga menyebabkan sambungan atau daerah lasan cepat rusak dan tidak sesuai dengan perkiraan waktu penggunaannya.

Pengelasan yang sering digunakan dalam dunia kontruksi secara umum adalah pengelasan dengan menggunakan metode pengelasan dengan busur nyala logam terlindung atau biasa disebut *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Metode SMAW banyak digunakan pada masa ini karena penggunaannya lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya, dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien. Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur yang tinggi yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun penyusutan saat pendinginan. Hal itu menyebabkan terjadinya tegangan sisa dan kekerasan yang tinggi pada daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ).

Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (meliputi: pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh) (Wirjosumarto, 2000).

Salah satu proses *maintenance* rutin dilakukan di PT Vale Indonesia adalah proses perbaikan "*Feed Chute*" di Area *Dryer*. Fungsi dari *Feed Chute* tersebut adalah tempat untuk memasukkan material *Wet Ore* ke dalam *Dryer* untuk di proses. Adapun dalam proses perbaikan *Feed Chute* yang umum dilakukan adalah penggantian *body Feed Chute* yang telah mengalami korosi atau penipisan dinding dengan proses pengelasan sambungan antara material dinding lama dan material baru yang mana material yang digunakan adalah *Wear Plate Hardox 400*.

2. KAJIAN PUSTAKA

Pengelasan berdasar sumber energi panasnya dapat dibedakan menjadi tiga yaitu mekanik, listrik dan kimia, sedangkan dari cara pengelasan dibedakan menjadi tiga bagian yaitu pengelasan cair (*Fusion Welding*), pengelasan tekanan (*Pressure Welding*), dan pematrian (Wirjosumarto, 2000).

Definisi pengelasan menurut DIN (Deutsche Industrie Norman) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las

merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Berdasarkan definisi dari *American Welding Society* (AWS) pengelasan adalah proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur las, yang dilakukan dengan atau tanpa menggunakan tekanan dan dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi. Definisi tersebut dapat diartikan lebih lanjut bahwa pengelasan adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama ataupun berbeda titik maupun strukturnya (Alip, 1989).

Ada beberapa penelitian tentang pengelesan antara lain yaitu Penelitian yang dilakukan (Haeruddin, H, dkk 2022) tentang analisis perbandingan kekuatan tarik pada baja ST. 37 dengan proses pengelasan SMAW, GMAW dan GTAW. Proses pengelasan logam material yang di gunakan harus sama dengan elektroda yang digunakan pada proses pengelasan agar sambungan Las dapat menyatu sempurna tetapi didalam proses pengelasan tidak selamanya hasil di dapatkan baik hasilnya karena ada beberapa factor yang dapat mempengaruhi, diantaranya Faktor Kualifikasai atau kompetensi welder, bahan tambah atau elektroda dan mesin las serta gas pelindung bagi proses GMAW dan GTAW. Hasil pengelasan yang dihasilkan oleh proses pengelasan SMAW dan GMAW dapat di ketahui dengan melakukan pengujian dengan metode Destruktif test yaitu pengujian tarik untuk mengetahui beban tarik maksimum, tegangan tarik dan kemampuan material tersebut merentang dari material baja ST 37 hingga putus. Pengujian tarik pada pengelasan SMAW, GMAW dan GTAW di dapatkan hasil bahwa nilai kekuatan tarik dari spesimen baja karbon ST 37 melebihi dari spesimen yang raw materil, yang artinya sifat mekanik dari material tersebut setelah dilas semakin kuat. Pada spesimen raw material beban tarik maksimum yaitu 51.399 N dengan tegangan tarik 43,79 kg/mm² dan regangan tarik 36,9 % sedangkan untuk rata rata beban tarik maksimum SMAW 53.671 N rata rata Tegangan Tarik 43,79 kg/mm², rata rata regangan tarik 21,2 %, sedangkan rata rata beban tarik pada pengelasan GMAW sebesar 51.308 N, sedangkan pada pengelasan GMAW rata rata tegangan tarik sebesar 41,90 kg/mm² dan pada pengelasan GMAW rata rata regangan tarik sebesar 20,2 %. Pada pengelasan GTAW beban tarik rata rata sebesar 52.952 N, sedangkan pada tegangan tarik rata rata sebesar 43.20 kg/mm² dan pada regangan tarik rata rata sebesar 19,1% .

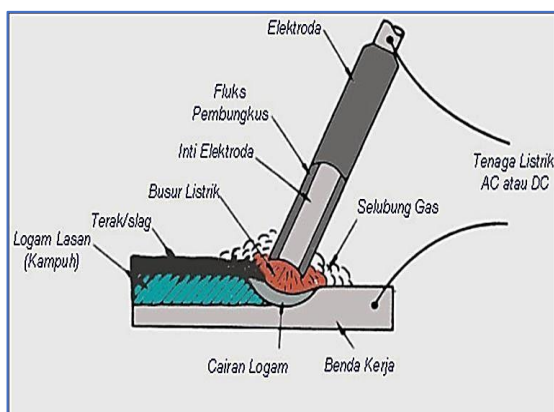
Penelitian yang dilakukan (Sahional I dkk, 2020) tentang Analisis Sambungan Las MIG pada Baja Karbon Rendah Variasi Kampuh Las V, I dan K terhadap Kekuatan Tarik. Sambungan las sangat berpengaruh terhadap pemilihan arus dan kampuh pengelasan dengan bahan tambah yang sesuai dengan logam induk. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kekuatan las MIG pada baja karbon rendah terhadap variasi kampuh las dan arus listrik pengelasan. Hasil pengujian dari variasi arus listrik yang diberikan menunjukkan bahwa masing-masing kampuh las membutuhkan arus yang berbeda untuk menghasilkan sambungan las yang baik. Data hasil pengujian tarik menggunakan standar ASTM E-8 menghasilkan nilai tegangan tarik tertinggi pada

pengelasan MIG dengan menggunakan kempuh I dengan arus 150 ampere sebesar $45,582 \text{ kg/mm}^2$. Semakin besar arus selain itu juga terlihat ukuran butiran yang semakin rapat dan semakin halus pada daerah weld metal.

2.1. Las SMAW

Berdasarkan definisi dari *American Welding Society* (AWS) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pada proses pengelasan logam dengan teknik pengelasan *Shield metal arc welding* (SMAW) kuat arus listrik yang digunakan dalam proses penyambungan logam merupakan indikator penting yang perlu di perhatikan, Hal ini di karenakan kuat arus listrik menentukan besarnya panas yang di dihasilkan dari busur listrik pada nyalaan ujung elektroda yang di gunakan, semakin besar kuat arus listrik yang di berikan maka semakin besar pula (*heat input*) panas yang di dihasilkan untuk mencairkan logam dasar dan logam penyambung (elektroda), dan sebalik nya semakin kecil kuat arus yang di berikan maka semakin kecil pula panas yang di dihasilkan untuk mencairkan logam induk dan logam penyambung atau elektroda (Joko Santoso, 2006).

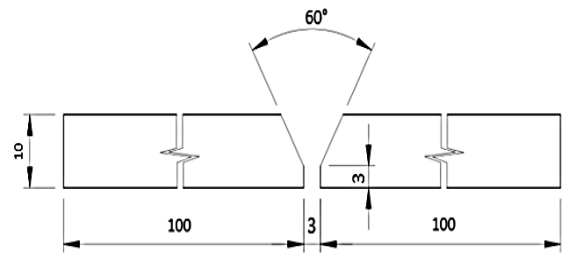
Pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) Merupakan pengelasan yang di klasifikasikan sebagai las busur gas dan fluks. pada proses pengelasan *Shield Metal Arc Welding* bahan penyambung (elektroda) berupa logam yang telah lapisan fluks (slag las) yang berfungsi melapisi logam las dari gas oksidasi dari luar (Mizhar Susri dkk, 2014). Sebagaimana di jelaskan dalam *American Welding Society* (AWS) prinsip dari pengelasan *Shield metal arc welding* adalah menggunakan panas dari busur listrik dari ujung sebuah consumable elektroda tertutup dengan tegangan listrik yang dipakai 23 - 45 Volt, dan untuk pencairan digunakan arus listrik hingga 500 ampere yang pada umum digunakan berkisar antara 80-200 ampere.



Gambar 1. Las SMAW (Wiryosumarto, 2000)

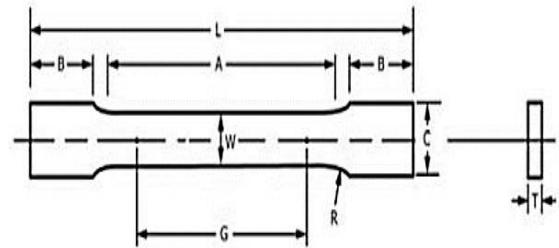
3. METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan difokuskan pada pengelasan dengan menggunakan Hardox 400 yang merupakan salah satu bahan yang sering digunakan pada PT. Vale Indonesia Tbk.



Gambar 2. Kempuh V

Dengan spesimen uji tarik menggunakan standar ASTM E8-04.



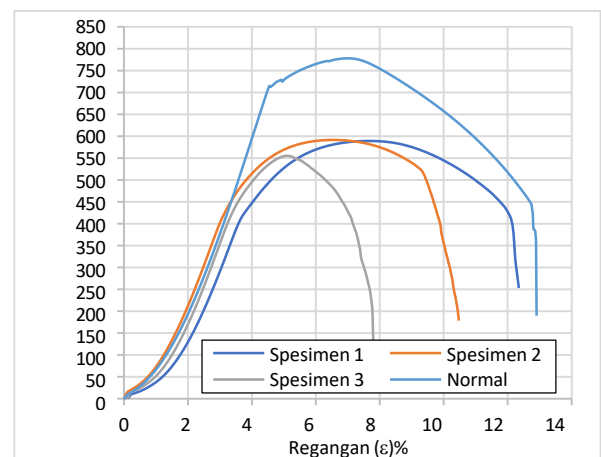
Gambar 3. Spesimen uji tarik

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian tarik material Hardox 400 yang telah mengalami proses pengelasan SMAW dengan kempuh V maka diperoleh kekuatan tarik pada Hardox 400 yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini .

4.1. Hasil Pengujian Tarik

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan pada hardox 400 hasil pengelasan SMAW yang terbagi atas 4 spesimen menghasilkan tegangan dan regangan yang berbeda-beda, Dimana setelah spesimen mencapai kekuatan tarik maksimum material hardox 400 mengalami patah.



Gambar 4. Grafik hubungan antara tegangan dan regangan

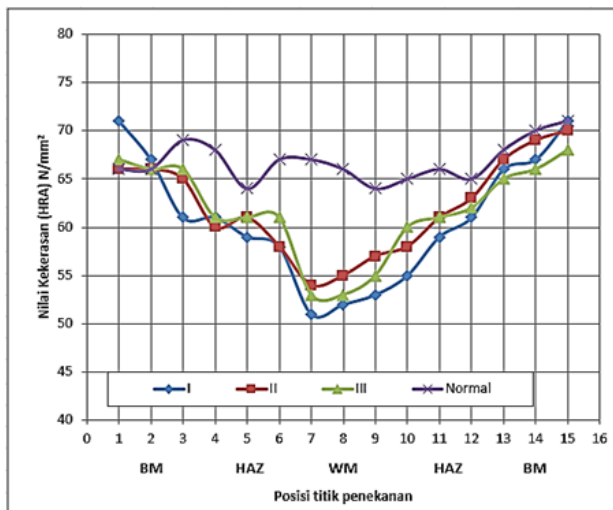
Pada spesimen 1 menghasilkan tegangan tarik maksimum sebesar 588,916 mpa dan regangan tarik sebesar 7,625 %, spesimen 2 menghasilkan tegang tarik maksimum sebesar 591,266 mpa dan regangan sebesar 6,567 %, spesimen 3 menghasil tegangan maksimum sebesar 554,649 mpa dan regangan sebesar 5,124 %, sedangkan pada spesimen normal tegangan tarik maksimum yang dihasilkan sebesar 777,512 mpa dan regangan sebesar 6,980 %. Tegangan tarik yang dihasilkan

pada hardox 400 lebih rendah dibandingkan dengan spesimen normal hal ini disebabkan Zona Terpengaruh Panas (*Heat Affected Zone, HAZ*): Selama proses pengelasan, terjadi pemanasan yang tinggi di sekitar daerah pengelasan. Pemanasan yang ekstrem ini dapat mengubah struktur mikro material di sekitar HAZ. Perubahan ini dapat mengurangi kekerasan dan kekuatan material. Disamping itu Zona Pengelasan (*Weld Zone*) yaitu daerah di sekitar titik pengelasan, yang dikenal sebagai zona pengelasan, mengalami perubahan struktur mikro dan termokimia akibat pengaruh panas dan penggunaan material pengisi. Perubahan ini dapat mengakibatkan penurunan kekuatan tarik material. Kualitas pengelasan yang buruk, seperti celah pengelasan yang tidak terisi penuh, pengelasan tidak merata, atau cacat pengelasan lainnya. faktor lain yang menyebabkan penurunan kekuatan tarik pada material yang mengalami pengelasan karena Penting untuk memperhatikan parameter pengelasan yang tepat, seperti arus pengelasan, kecepatan pengelasan, perlakuan panas pasca-pengelasan, dan pemilihan material pengisi (elektroda) yang sesuai.

4.2. Hasil Pengujian Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada spesimen 1 daerah logam induk bagian kiri (BM kiri) menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 68 N/mm², HAZ kiri sebesar 58,33 N/mm², daerah las (*weld metal*) sebesar 52 N/mm², HAZ kanan sebesar 59,33 N/mm², logam induk bagian kanan (BM kanan) sebesar

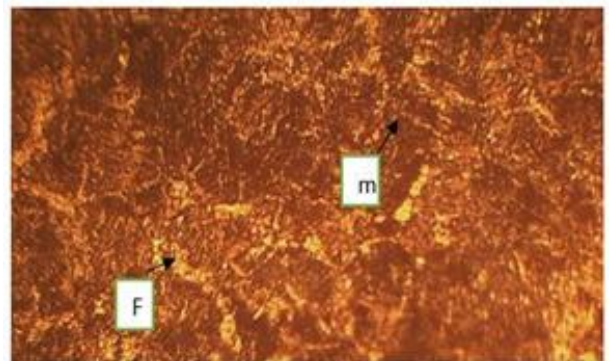
68 N/mm². pada spesimen 2 daerah logam induk bagian kiri (BM kiri) menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 68,67 N/mm², HAZ kiri sebesar 60,67 N/mm², daerah las (*weld metal*) sebesar 55,33 N/mm², HAZ kanan sebesar 59,67 N/mm², logam induk bagian kanan (BM kanan) sebesar 65,67 N/mm². Spesimen 3 daerah logam induk bagian kiri (BM kiri) menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 66,33 N/mm², HAZ kiri sebesar 61 N/mm², daerah las (*weld metal*) sebesar 53,67 N/mm², HAZ kanan sebesar 61 N/mm², logam induk bagian kanan (BM kanan) sebesar 66,33 N/mm² sedangkan pada spesimen normal menghasilkan nilai kekerasan rata-rata 66,8 N/mm².



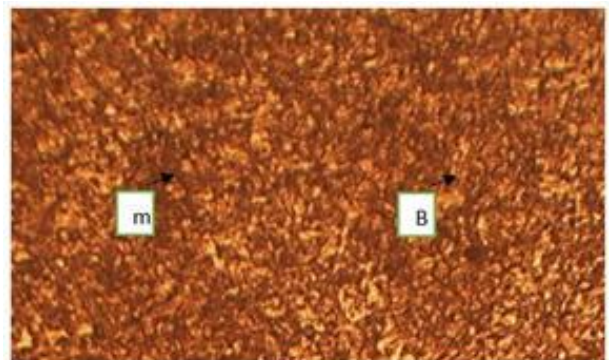
Gambar 5. Posisi titik penekanan

4.3. Struktur Mikro

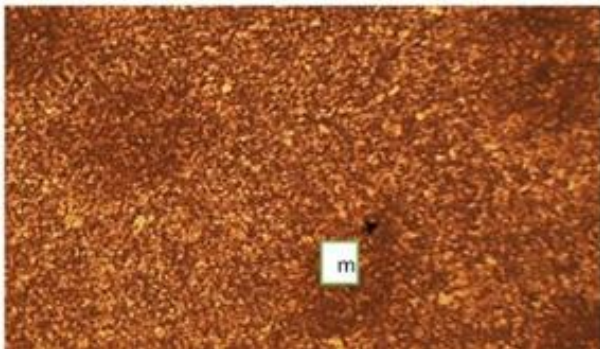
Hasil pengamatan struktur mikro pada Hardox 400 dengan pembesaran 40x dapat dilihat pada gambar 6, 7 dan 8. pada gambar 6. merupakan struktur mikro pada daerah pengelasan (*weld metal*) meliputi austenit, ferit dan karbida. Ferit juga dapat ditemukan dalam struktur mikro Hardox 400 hasil pengelasan. Ferit terbentuk sebagai hasil dari larutan paduan dalam struktur martensit. Fase ferit biasanya memiliki struktur mikro yang lebih lembut dibandingkan dengan martensit sedangkan karbida seperti karbida kromium (Cr₇C₃), juga dapat terbentuk pada struktur mikro Hardox 400 hasil pengelasan. Karbida terbentuk karena adanya elemen paduan seperti kromium dalam komposisi baja. Karbida dapat berfungsi sebagai partikel dispersi yang menghalangi pergerakan dislokasi dan meningkatkan ketangguhan material. Pada daerah HAZ Hardox 400, struktur mikro dapat mengalami perubahan akibat pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan. Struktur mikro yang terbentuk dalam HAZ dapat mempengaruhi sifat mekanis dan kinerja material. Rekristalisasi adalah proses di mana butiran logam yang terdeformasi kembali menjadi butiran yang lebih halus dan memiliki orientasi kristal yang lebih acak. Pada daerah HAZ, pemanasan yang tinggi dapat memicu rekristalisasi pada beberapa bagian material, menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan kurang deformed. Struktur mikro yang terdapat pada daerah HAZ adalah Martensit dan bainit. *Base metal* terdapat struktur mikro didominasi oleh struktur martensit.



Gambar 6. Struktur mikro pada daerah las (*weld metal*)



Gambar 7. Struktur mikro pada daerah HAZ



Gambar 8. Struktur mikro pada daerah logam induk (*base metal*)

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian hasil pengelasan SMAW pada material Hardox 400 maka dapat disimpulkan bahwa :

- Hasil pengujian tarik pada hasil pengelasan SMAW material hardox 400 diperoleh tegangan tarik maksimum sebesar 591,266 MPa dan regangan sebesar 6,567%, sedangkan pada spesimen normal tegangan tarik maksimum yang dihasilkan sebesar 777,512 MPa dan regangan sebesar 6,980%.
- Nilai kekerasan rata-rata tertinggi yang dihasilkan material Hardox 400 hasil pengelasan SMAW pada daerah *base metal* sebelah kanan sebesar 68 N/mm², HAZ kanan sebesar 61 N/mm², daerah las (*weld metal*) sebesar 55,33 N/mm², HAZ sebelah kiri sebesar 61 N/mm² dan *base metal* sebelah kanan sebesar 68 N/mm² sedangkan spesimen tanpa pengelasan (normal) nilai kekerasan rata-rata yang dihasilkan sebesar 66,8 N/mm².
- Presentase struktur mikro yang terlihat pada daerah las (*weld metal*) terdapat fasa austenit, pada daerah HAZ Martensit dan Bainit sedangkan pada daerah *Base metal* didominasi oleh martensit.

DAFTAR PUSTAKA

- Alip, M. (1989). *Teori dan praktek las*. Yogyakarta: IKIP Yogyakarta.
- Andi, B. A. S., Asiri, M. H., & Balfas, M. (2020). Analisis uji rotary bending dan struktur mikro pada welding baja AISI 1045 berdasarkan variasi arus pengelasan SMAW. Makassar: Universitas Muslim Indonesia.
- American Society for Metals. (1993). *ASM handbook: Welding, brazing, and soldering* (Vol. 6). ASM International.
- Data Sheet. (2016). *Hardox 400*.
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (4th ed., p. 456). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Haeruddin, H., Balfas, M., Habib, F., & Fitrah, M. A. (2022). Analisis perbandingan kekuatan tarik pada baja ST 37 dengan proses pengelasan SMAW, GMAW, dan GTAW. Makassar: Universitas Muslim Indonesia.
- Joko, S. (2006). Pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan las SMAW dengan elektroda E7018. *Jurnal Teknik Mesin UNNES*, 3(11), 206–220. ISSN 2102–7491.

- Nastiti, G., Handani, S., & Bandriyana, B. (2014). Pengaruh proses oksidasi pada logam paduan Zr–2,5Nb untuk material bioimplan. *Jurnal Fisika Unand*, 3(4), 205–207.
- Riyadi, T. W. B., & Aji, L. (2015). Pengaruh variasi arus terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan sambungan pada proses pengelasan aluminium dengan metode MIG. Surakarta.
- R. E. Smallman, & Bishop, R. J. (2000). *Modern physical metallurgy and materials engineering*. New York: Hill International Book Company.
- Sahional, I., Asiri, M. H., & Kamil, K. (2020). Analisis sambungan las MIG pada baja karbon rendah variasi kampuh las V, I, dan K terhadap kekuatan tarik. Makassar: Universitas Muslim Indonesia.
- Sasi, K., & Amri, A. (2014). *Pengaruh tempering pada baja ST 37 yang mengalami karburasi dengan bahan padat terhadap sifat mekanis dan struktur mikro*. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Sack, R. J. (1997). *Welding: Principles and practices*. New York: McGraw-Hill.
- Sonawan, H. (2006). *Pengelasan logam*. Bandung: Alfabeta.
- Sriati, J. (1996). *Metallurgi mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Susri, M., & Pandiangan, I. H. (2014). Pengaruh masukan panas terhadap struktur mikro, kekerasan, dan ketangguhan pada pengelasan shield metal arc welding (SMAW) dari pipa baja diameter 2,5 inci. *Jurnal Dinamis*, 14(2), 16–21.
- Surdia, T., & Saito, S. (1985). *Pengetahuan bahan teknik* (Edisi ke-4). Jakarta: Pradnya Paramita.
- V. E. Gromov, Kormyshev, V. E., Glezer, A. M., Konolalov, S. V., Ivanov, Y. F., & Semin, A. P. (2017). Microstructure and wear properties of Hardox 450 steel surface modified by Fe–C–Cr–Nb–W powder wire surfacing and electron beam treatment. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd.
- Widharto, S. (2001). *Petunjuk kerja las*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wiryosumarto, H. (2000). *Teknologi pengelasan logam*. Jakarta: Erlangga.

Analisis Pengaruh Kepadatan Kendaraan Terhadap Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) di Kota Makassar

Ahmad Rahman^{1*}, Sattar Yunus², Sulaiman Borahima³

¹ Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

^{2,3} Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

* Penulis Korespondensi.



Riwayat Artikel

Diterima: 25 Januari 2026

Selesai Revisi: 27 Februari 2026

Disetujui: 13 Maret 2026

Tersedia daring: 15 Maret 2026

Alamat E-mail

¹ ahmadjie51@gmail.com

² sattar.teknik@umi.ac.id

³ sulaiman.borahima@umi.ac.id

Abstrak

Mobilisasi dari suatu tempat ke tempat lain menggunakan alat transportasi kian dibutuhkan untuk menunjang kehidupan manusia. Namun, sektor transportasi merupakan penyumbang terbesar emisi gas buang yang disebabkan karena adanya peningkatan pemakaian kendaraan bermotor yang meningkat dari tahun ke tahun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kualitas udara akibat pengaruh kepadatan bermotor dengan menggunakan alat pengambilan sampel gas yaitu *IMPINGER* dan partikel yaitu *HVAS*. Pengambilan data bersamaan dengan data jumlah kendaraan dengan rentang interval waktu 1 jam tiap lokasi penelitian yaitu Jalan Simpang Lima Bandara, Jalan Sultan Alauddin dan Jalan Andi Pangeran Pettarani. Berdasarkan Hasil Penelitian menyatakan bahwa Konsentrasi Gas CO pada beberapa ruas jalan Kota Makassar masih berada di batas aman dengan Standar Baku Mutu Udara Ambien Nasional. Rata-rata kepadatan kendaraan terbanyak di Jalan A.P Pettarani dan jumlah rata-rata kendaraan paling sedikit di Jalan Simpang Lima Bandara. Rata-rata kadar SO₂ adalah 43,86 µg/Nm³, rata-rata kadar CO adalah 461,96 µg/Nm³. Ada hubungan kepadatan Kendaraan dengan konsentrasi gas CO, di beberapa ruas Jalan Kota Makassar dengan rata – rata nilai koefisien determinasi, CO sebesar 90,3%.

Kata kunci: Kepadatan kendaraan, Kualitas udara, *Impinger*, *HVAS*.

Abstract

Mobilization from one place to another using means of transportation is increasingly needed to support human life. However, the transportation sector is the most significant contributor to exhaust gas emissions caused by the increase in the use of motor vehicles, which increases from year to year. The study aims to determine the level of air quality due to the influence of motor density by using gas sampling tools, namely IMPINGER, and particles, namely HVAS. Data collection was taken together with data on the number of vehicles with a time interval of 1 hour for each research location, namely Jalan Simpang Lima Bandara, Jalan Sultan Alauddin, and Jalan Andi Pangeran Pettarani. Based on the results of the study, it is stated that the concentration of CO Gas on several roads in Makassar City is still within safe limits with the National Ambient Air Quality Standards. The average density of vehicles is the highest on Jalan A.P. Pettarani and the lowest average number of vehicles on Jalan Simpang Lima Bandara. The average SO₂ level is 43.86 µg/Nm³, and the average CO level is 461.96 µg/Nm³. There is a relationship between vehicle density and CO gas concentration on several sections of Makassar City Road, with an average determination coefficient value of CO of 90.3%.

Keywords: Vehicle density, Air quality, *Impinger*, *HVAS*.

1. PENDAHULUAN

Mobilisasi dari suatu tempat ke tempat lain menggunakan alat transportasi kian dibutuhkan untuk menunjang kehidupan manusia. Namun, sektor transportasi merupakan penyumbang terbesar emisi gas buang yang disebabkan karena adanya peningkatan pemakaian kendaraan bermotor yang signifikan (Zahra, 2017). Oleh sebab itu dengan adanya kenaikan tren pertumbuhan kendaraan bermotor ini seharusnya sudah menjadi tanggung jawab setiap individu untuk lebih bijak dalam menggunakan kendaraan bermotor, selain itu diperlukan peran serta dari instansi terkait seperti

kementerian perindustrian dan perdagangan untuk dapat mendisiplinkan sekaligus memperketat kebijakan dalam produksi otomotifnya (Priyambodo, 2018). Penggunaan bahan bakar minyak untuk mesin-mesin penggerak kendaraan bermotor salah satunya menimbulkan emisi karbon monoksida. Gas karbon monoksida yang masuk ke udara 75 % berasal dari sektor transportasi (Damara, Wardhana, & Sutrisno, 2017).

Daerah yang berpotensi makin bertambahnya polutan adalah perkotaan. Aktivitas di kota yang lebih banyak dibandingkan di daerah pedesaan baik dari sisi transportasi maupun industri yang merupakan

penyumbang polutan terbanyak merupakan salah satu penyebabnya.

Kota Makassar adalah salah satu dari empat pusat pertumbuhan utama di Indonesia, bersama dengan kota lainnya. Dengan memiliki wilayah seluas 175,77 km² dan jumlah penduduk lebih dari 1,5 juta jiwa, kota ini berada di urutan ketujuh kota terbesar di Indonesia (Bappenas, 2022).

Menurut data badan pusat statistik jumlah kendaraan bermotor tercatat Perkembangan jumlah sepeda motor dengan berbagai merek berjumlah 115.023.039 unit, mobil penumpang berjumlah 15.797.746 unit, mobil bis berjumlah 233.261 unit, mobil barang berjumlah 5.083.405 unit, (BPS, 2020).

2. KAJIAN PUSTAKA

Emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Emisi transportasi adalah pancaran atau pelepasan gas buang yang berasal dari sektor transportasi. Gas buang yang dimaksud adalah gas buang yang berasal dari kendaraan bermotor yang dipancarkan atau diemisikan ke udara ambien.

Emisi gas buang kendaraan bermotor diukur dalam gram per kendaraan per km dari suatu perjalanan dan terkait dengan beberapa faktor seperti tipe kendaraan, umur kendaraan, ambang temperatur dan ketinggian. Kendaraan dengan usia dan jenis bahan bakar yang berbeda akan menghasilkan kadar emisi yang berbeda juga (Zahra, 2017). Sumber emisi gas buang dari proses pembakaran bahan bakar motor menghasilkan gas buang yang secara teoritis mengandung unsur H₂O (air), HC(hidro karbon), gas CO (karbon monoksida), CO₂ (karbon dioksida), dan NO_x (senyawa nitrogen oksida), NO₂ (nitrogen dioksida), SO₂ (sulfur dioksida) dan partikulat debu termasuk timbal (Pb) (Zahra, 2017). Kendaraan bermotor dapat meningkatkan kadar partikular debu yang berasal dari permukaan jalan, komponen ban dan rem.

Karbon monoksida merupakan suatu gas yang terdapat di alam sebagai hasil akhir dari pembakaran yang tidak sempurna, dengan karakteristik tidak berasa, tidak berwarna, serta tidak berbau. Konsentrasi karbon monoksida di udara sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti kecepatan emisi, kecepatan dispersi hingga pembersihan CO dari udara. Untuk kecepatan dispersi sendiri juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yang disebut faktor meteorologi, yang terdiri seperti turbulensi udara, stabilitas atmosfer, arah dan kecepatan angin. Faktor meteorologi udara di perkotaan memiliki gerakan udara yang terbatas karena padatnya kendaraan yang bergerak, oleh karena itu potensi timbulnya Karbon Monoksida semakin besar (Prabowo & Muslim, 2018).

3. METODOLOGI

Prosedur Pengambilan sampel CO merujuk pada Standar Nasional Indonesia No. SNI 7119.10:2011.

3.1. Peralatan

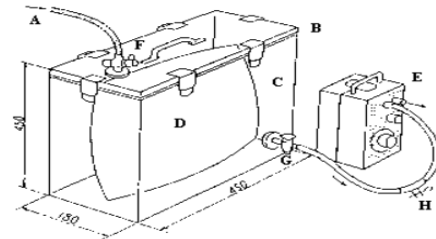
Peralatan yang digunakan antara lain:

- Kantong pengumpul contoh uji Konsentrasi ; dan
- Alat ukur Konsentrasi dengan detektor NDIR.

3.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam metode ini adalah:

- Gas nol (zero gas) : N₂ atau He berisi kurang dari 0,1 ppm
- Gas rentang induk : gas standar CO, untuk skala penuh 80 % digunakan untuk kalibrasi rentang instrumen; dan
- Gas rentang kerja : gas standar yang diperlukan untuk uji linieritas dengan rentang 10 %; 20 %; 50 % dan 80 % dari skala penuh.



Gambar 1. Impinger

Keterangan Gambar:

- Aliran udara masuk;
- Kotak hampa udara (vakum);
- Pompa vakum;
- Kran buka tutup Tedlar bag;
- Ruang vakum;
- Kran Pengatur
- Kran Pengatur Vakum
- Kran pengatur laju alir.

3.3. Perhitungan

Konsentrasi gas CO dibaca langsung dari pencatat (*recorder*) dengan satuan ppm. Konversi ke satuan µg/Nm³

$$C_2(\mu\text{g}/\text{Nm}^3) = \frac{C_1(\text{ppm}) \times BM}{22,4} \times 1000 \quad (1)$$

dengan,

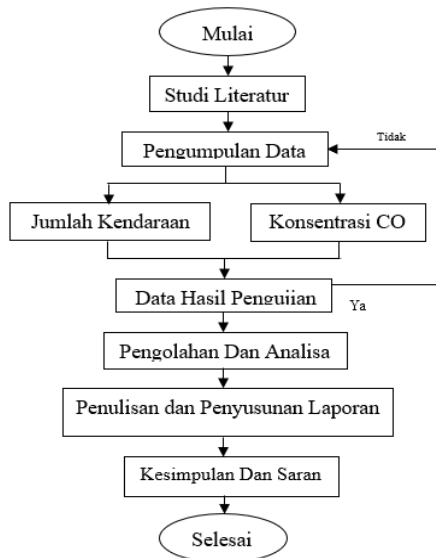
C₂ = konsentrasi CO dalam udara ambien (µg/Nm³);

C₁ = konsentrasi CO dalam udara ambien (ppm);

BM = berat molekul CO

22,4 = volume gas pada kondisi normal 25°C, 760 mmHg

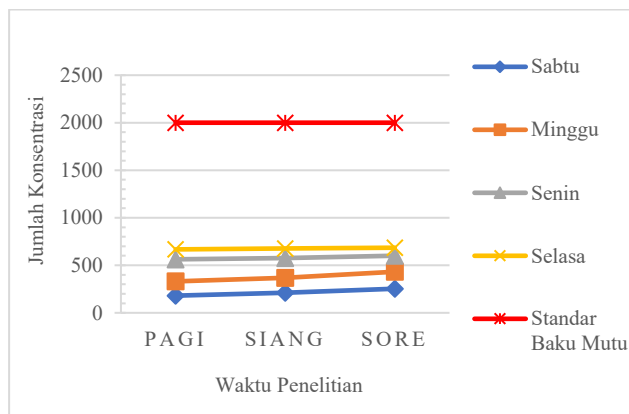
$$\begin{aligned} \text{CO Titik 1} &= \frac{4^{ppm} \times BM}{24,45} \times 1000 \\ &= 4,581 \mu\text{g}/\text{Nm}^3 \end{aligned}$$



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian / *flowchart*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan persentase grafik bahwa seluruh lokasi sampling dengan nilai konsentrasi Karbon Monoksida masih berada di batas aman dengan standar baku mutu yaitu $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dapat dilihat dari nilai grafiknya yang berada ada di bawah tanda garis berwarna merah yang terkhusus pada konsentrasi karbon monoksida karena berada jauh dibawah standar baku mutu maka nilai batas aman pada grafik berada pada $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021.



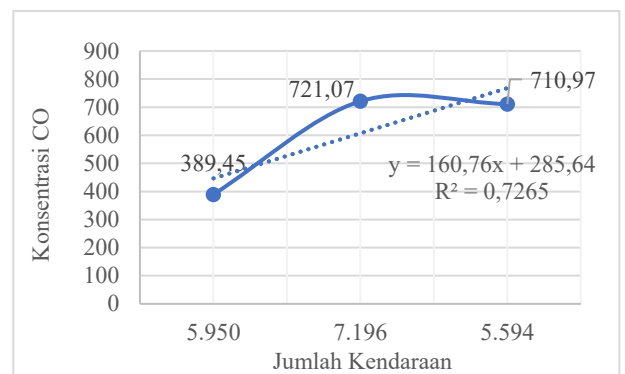
Gambar 3. Hubungan Antara Waktu Penelitian Dan Jumlah Konsentrasi CO

Berdasarkan penelitian pengukuran konsentrasi karbon monoksida dengan variasi waktu dan lokasi Sampling secara keseluruhan yang terdapat pada Gambar 3 diketahui jika nilai rata rata konsentrasi tertinggi pada ketiga titik lokasi tepatnya pada hari Selasa sore dengan nilai rata rata konsentrasi sebesar $684,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan nilai rata rata konsentrasi terendah secara keseluruhan terjadi pada hari Sabtu pagi dengan nilai rata rata konsentrasi sebesar $180,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Hubungan Konsentrasi Parameter CO Dengan Kepadatan Kendaraan.

4.1. Jalan Simpang Lima Bandara

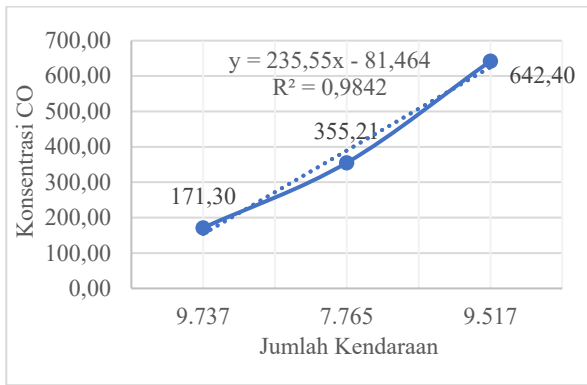
Berdasarkan Gambar 4, hasil analisa penelitian pada jalan Simpang Lima bandara, dengan nilai rata-rata pada pagi hari (07.30-08.30) jumlah kendaraan sebesar 5.950 unit/hari dan konsentrasi CO sebesar $389,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, di siang hari (13.30-14.30) Jumlah kendaraan naik sebesar 7.196 unit/hari dan konsentrasi CO sebesar $721,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan sore hari (17.30-18.30) Jumlah kendaraan turun sebesar 5.594 unit/hari konsentrasi SO_2 sebesar $710,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$. menyatakan persamaan regresi linear sederhana pada hubungan satu variabel bebas/ *predictor* (X) adalah Jumlah Kendaraan dan variabel terikat/*predictor* (Y) adalah Konsentrasi SO_2 , menghasilkan persamaan $Y = 160,76X + 285,64$. Nilai koefisien determinasi berganda (R^2) yang didapatkan menyatakan bahwa jumlah kendaraan mempengaruhi konsentrasi CO yaitu sebesar $R^2 = 0,7265$ hal ini menunjukkan bahwa semua variabel secara simultan memiliki pengaruh sebesar 72,7 % sedangkan sisanya sebesar 27,3% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak diuji dalam penelitian.



Gambar 4. Hubungan Jumlah Kendaraan Dengan Konsentrasi CO Pada Jalan Simpang Lima Bandara

4.2. Jalan Sultan Alauddin

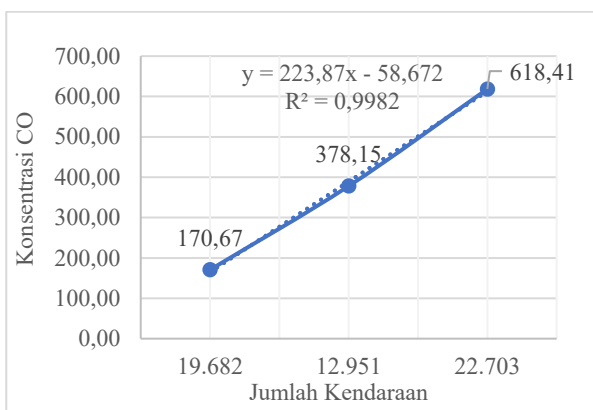
Berdasarkan Gambar 5, hasil analisa penelitian pada jalan Sultan Alauddin, dengan nilai rata-rata pada pagi hari (07.30-08.30) jumlah kendaraan sebesar 9.737 unit/hari dan konsentrasi CO sebesar $171,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, di siang hari (13.30-14.30) Jumlah kendaraan naik sebesar 7.765 unit/hari dan konsentrasi CO sebesar $355,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan sore hari(17.30-18.30) Jumlah kendaraan turun sebesar 9.517 unit/hari konsentrasi CO sebesar $642,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. menyatakan persamaan regresi linear sederhana pada hubungan satu variabel bebas/ *predictor* (X) adalah Jumlah Kendaraan dan variabel terikat/*predictor* (Y) adalah Konsentrasi CO, menghasilkan persamaan $Y = 235,55X - 81,464$. Nilai koefisien determinasi berganda (R^2) yang didapatkan menyatakan bahwa jumlah kendaraan sangat mempengaruhi konsentrasi CO yaitu sebesar $R^2 = 0,9842$ hal ini menunjukkan bahwa semua variabel secara simultan memiliki pengaruh sebesar 98,4% sedangkan sisanya sebesar 01,6% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak diuji dalam penelitian.



Gambar 5. Grafik Hubungan Jumlah Kendaraan Dengan Konsentrasi CO Pada Jalan Sultan Alauddin

4.3. Jalan AP.Pettarani

Berdasarkan Gambar 6, hasil analisa penelitian pada jalan A.P Pettarani, dengan nilai rata-rata pada pagi hari (07.30-08.30) jumlah kendaraan sebesar 19.682 unit/hari dan konsentrasi CO sebesar 170,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, di siang hari (13.30-14.30) Jumlah kendaraan naik sebesar 12.951 unit/hari dan konsentrasi CO sebesar 378,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan sore hari (17.30-18.30) Jumlah kendaraan turun sebesar 22.703 unit/hari konsentrasi CO sebesar 618,41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. menyatakan persamaan regresi linear sederhana pada hubungan satu variabel bebas/ *predictor* (X) adalah Jumlah Kendaraan dan variabel terikat/*predictor* (Y) adalah Konsentrasi CO, menghasilkan persamaan $Y = 223,87X - 58,672$. Nilai koefisien determinasi berganda (R^2) yang didapatkan menyatakan bahwa jumlah kendaraan sangat mempengaruhi konsentrasi CO yaitu sebesar $R^2 = 0,9982$ hal ini menunjukkan bahwa semua variabel secara simultan memiliki pengaruh sebesar 99,8 % sedangkan sisanya sebesar 0,2 % dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak diuji dalam penelitian.



Gambar 6. Grafik Hubungan Jumlah Kendaraan Dengan Konsentrasi CO Pada Jalan A.P Pettarani

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Jumlah kendaraan pada ketiga ruas Jalan Kota Makassar dibedakan pada pagi hari berada pada kisaran rata-rata 11.789 unit/hari Rata-rata kepadatan kendaraan, pada Siang Hari berada pada kisaran rata-rata 9.304 unit/hari dan Sore Hari berada pada kisaran

rata-rata 2.604 unit/hari. Rata-rata kepadatan kendaraan terbanyak di Jalan A.P Pettarani dan jumlah rata-rata kendaraan paling sedikit di Jalan Simpang Lima Bandara.

- Kadar karbon monoksida (CO) menunjukkan rentang rata-rata antara 180,61 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ – 684,97,08 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Rata-rata kadar CO udara ambien adalah 461,96 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan nilai tertinggi berada pada Jalan Simpang Lima Bandara dan terendah di Jalan A.P Pettarani.
- Berdasarkan hasil penelitian menyatakan bahwa seluruh konsentrasi gas pada beberapa ruas jalan Kota Makassar masih berada di batas aman dengan Standar Baku Mutu Udara Ambien Nasional.
- Ada hubungan kepadatan Kendaraan dengan konsentrasi gas CO, di beberapa ruas Jalan Kota Makassar dengan rata – rata nilai koefisien determinasi SO_2 sebesar 84%, CO sebesar 90,3%, dan 9,7% dipengaruhi oleh variabel lainnya.

5.2. Saran

- Rutin melakukan perawatan dan pengecekan kondisi kendaraan bermotor.
- Menggunakan bahan bakar minyak dengan angka oktan tinggi untuk mesin bensin, dan bahan bakar minyak dengan angka cetane tinggi untuk mesin diesel.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk variabel lain yang mempengaruhi nilai konsentrasi di ruas jalan kota Makassar seperti faktor meteorologi yang berpengaruh terhadap nilai konsentrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainul Ghurri, S. T., M. T., Ph. D. (2016). *Pedoman praktikum emisi gas buang*. Universitas Udayana.
- Aly, S. M. (2015). *Emisi transportasi*. Jakarta: Penebar Plus.
- Anggraeni, N. I. S. (2009). *Pengaruh lama paparan asap knalpot dengan kadar CO 1800 ppm terhadap gambaran histopatologi jantung pada tikus Wistar* [Skripsi, Universitas Diponegoro]. Semarang: Fakultas Kedokteran, Universitas Diponegoro.
- Bachtiar, V. S., & Hidayat, T. (2014). Peningkatan gas karbon monoksida (CO) akibat peningkatan kendaraan bermotor Kota Padang selama satu dekade. *Prosiding SNSTL, 1*.
- Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2022). *Kota Makassar dalam angka 2022*. Diakses dari https://id.wikipedia.org/wiki/Kota_Makassar
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2018). *Jumlah kendaraan bermotor menurut kabupaten/kota dan jenis kendaraan di Provinsi Sulsel*. Diakses dari <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/perkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis.html>
- Damara, D. Y., Wardhana, I. W., & Sutrisno, E. (2017). Analisis dampak kualitas udara karbon monoksida (CO) di sekitar Jl. Pemuda akibat kegiatan car free day menggunakan program CALINE4 dan Surfer (Studi kasus: Kota Semarang).
- Handayani, D., Jaya, Y. I., & Legowo, S. J. (2017). Analisis emisi gas buang akibat mobil di kampus

- Universitas Sebelas Maret. *Matriks Teknik Sipil*, *X*, 1016–1024.
- Honda Cengkareng Motor. (2016). *Tabel bahan bakar ideal motor Honda sesuai rasio kompresi mesin*. Diakses dari <https://www.hondacengkareng.com/faq/tabel-bahan-bakar-ideal-motor-honda-sesuai-rasio-kompresi-mesin/>
- Ismayati, Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, *1*(3), 241–248.
- Jung, S., Kim, J., Kim, J., Hong, D., & Park, D. (2017). An estimation of vehicle kilometer traveled and on-road emissions using the traffic volume and travel speed on road links in Incheon City. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *54*, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.12.040>
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). *Pedoman penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional: Buku II – Volume 1 metodologi penghitungan tingkat emisi gas rumah kaca kegiatan pengadaan dan penggunaan energi (INV/KLH/290612)*.
- Kusuma, Y. (2013). Pengaruh bahan bakar pada aktivitas transportasi terhadap pencemaran udara. *Sigma-Mu*, *5*(1), 88–101.
- Meneguzzar, C., Gastaldi, M., Rossi, R., Gecchele, G., & Prati, M. V. (2017). Comparison of exhaust emissions at intersections under traffic signal versus roundabout control using an instrumented vehicle. *Transportation Research Procedia*, *25*, 1597–1609. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.204>
- Muziansyah, D., Sulistyorini, R., & Sebayang, S. (2015). Model emisi gas buangan kendaraan bermotor akibat aktivitas transportasi (Studi kasus: Terminal Pasar Bawah Ramayana Kota Bandar Lampung). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, *3*(1), 57–70.
- Muzayyid. (2014). *Studi konsentrasi kadar karbon monoksida (CO) di Jalan A. P. Pettarani Kota Makassar tahun 2014* [Skripsi, UIN Alauddin Makassar].
- Nugraha, B. S., & Sriyanto, J. (2007). Aplikasi teknologi injeksi bahan bakar elektronik (EFI) untuk mengurangi emisi gas buang sepeda motor. *Jurnal Ilmiah Populer dan Teknologi Terapan*, *5*(2), 692–706.
- Octradha, K. A., Huboyo, H. S., & Samadikun, B. P. (2017). Estimasi emisi berdasarkan kecepatan kendaraan di beberapa ruas jalan Kota Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, *6*(2), 1–14.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Prabowo, K., & Muslim, B. (2018). *Bahan ajar kesehatan lingkungan: Penyehatan lingkungan*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Priyambodo, P. (2018). Analisis korelasi jumlah kendaraan dan pengaruhnya terhadap PDRB di Provinsi Jawa Timur. *Warta Penelitian Perhubungan*, *30*(1), 59–65. <https://doi.org/10.25104/warlit.v30i1.634>
- Putri, N. H., & Irawan, M. Z. (2015). Mikrosimulasi mixed traffic pada simpang bersinyal dengan perangkat lunak Vissim (Studi kasus: Simpang Tugu, Yogyakarta). *Proceeding The 18th FSTPT International Symposium*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Rencher, A. C. (2002). *Methods of multivariate analysis*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Rosianasari, N. (2016). *Analisis karakteristik emisi CO dan CO₂ kendaraan roda dua di kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin* [Skripsi, Universitas Hasanuddin]. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- SNI 7119-10:2017. (2011). *Cara uji kadar karbon monoksida (CO) menggunakan metode non-dispersive infrared (NDIR)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Suryati, I., & Khair, A. (2016). Potensi penurunan emisi karbon monoksida di ruas jalan Kota Medan dengan penerapan transportasi masal. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL)*, *2*, Padang, 19 Oktober 2016.
- Vadrevu, K. P., Ohara, T., & Justice, C. (2014). Air pollution in Asia. *Environmental Pollution*, *195*, 233–235.
- Wardhana, A. W. (2004). *Dampak pencemaran lingkungan* (Cet. ke-3). Yogyakarta: Andi Offset.
- Zahra, A., & Hanami. (2017). *Analisis hubungan kecepatan kendaraan terhadap emisi bergerak sepeda motor dengan parameter CO₂ dan CO di ruas jalan arteri Kota Makassar* [Skripsi, Universitas Hasanuddin].

Analisis Kinerja Orifice Plate Geometri Sudut Runcing (Short Square Edged Orifice with Back Bevel Angle)

Mahmuddin^{1*}, Wahida², Sulaiman Borahima³

^{1,3} Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

² Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

* Penulis Korespondensi.



Riwayat Artikel

Diterima: 25 Januari 2026
Selesai Revisi: 1 Maret 2026
Disetujui: 14 Maret 2026
Tersedia daring: 15 Maret 2026

Alamat E-mail

¹ mahmuddin@umi.ac.id
² wahida321@gmail.com
³ sulaiman.borahima@umi.ac.id

Abstrak

Orifice plate meter adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran volume di dalam saluran pipa berdasarkan prinsip beda tekanan untuk mengendalikannya sesuai *setpoint* agar mencapai optimasi proses aliran fluida di dalam pipa. Pengukuran variabel proses sangat penting dalam dunia industri, terutama pada industri *oil and gas*. *Orifice meter* termasuk alat ukur laju aliran dengan metode rintangan aliran, karena geometrinya sederhana, biayanya rendah, serta mudah penggunaannya. Dalam penelitian ini, membahas aliran fluida melalui *orifice plate* yang memiliki perbedaan geometri *orifice plate* sudut runcing (*short square-edged orifice with back bevel angle*).

Hasil perhitungan diperoleh nilai koefisien discharge (*Cd*), beda tekanan (*dp*) pada *orifice short square-edged orifice with back bevel angle*, diperoleh nilai *Cd* rata-rata sebesar 0,629; dan beda tekanan pada sisi *upstream* dan *downstream* diperoleh 2284 Pa, 1796 Pa dan 1474 Pa. Sedangkan *permanent pressure loss maksimum* terjadi pada tipe orifice pelat sudut runcing (*short square-edged orifice with back bevel angle*) sebesar 74%. Serta penurunan tekanan hingga mencapai tekanan minimum terjadi di *vena contracta*.

Kata kunci: koefisien pelepasan, kehilangan tekanan, dan kerugian tekanan permanen.

Abstract

*An orifice plate meter is a tool used to measure the volumetric flow rate in a pipeline based on the principle of pressure difference, and it is controlled according to the setpoint to optimize the fluid flow process in the pipeline. Measurement of process variables is very important in industry, especially in the oil and gas industry. Orifice meters are flow-rate measuring devices that use the flow-obstacle method; because their geometry is simple, their cost is low, and they are easy to use. In this study, we discuss the flow of fluid through the orifice plate, which has a difference in geometry due to the back bevel angle. The results of the calculation obtained the value of the discharger coefficient (*Cd*), pressure difference (*dp*) in the short square-edged orifice with back bevel angle, with an average *Cd* value of 0.629, and the difference in pressure on the upstream and downstream sides was obtained at 2284 Pa, 1796 Pa, and 1474 Pa. Meanwhile, the maximum permanent safety loss occurs for the orifice type with a pointed angle plate (*short square-edged orifice with a back bevel angle*), at 74%. As well as a decrease in pressure until it reaches the minimum at the *vena contracta*.*

Keywords: discharge coefficient, pressure loss, and permanent pressure loss.

1. PENDAHULUAN

Salah satu dari berbagai macam metode pengukuran aliran fluida dalam pipa adalah dengan menggunakan *Orifice meter*. *Orifice meter* adalah alat ukur yang menggunakan *orifice plate* sebagai komponen utama dalam pengukuran natural gas. *Orifice plate* merupakan pelat yang tipis memiliki lubang di tengah. *Orifice plate* pada umumnya dibuat dengan sudut lingkaran yang tajam siku-siku dan dipasang konsentris dengan pipa. *Orifice plate* memiliki banyak kelebihan, yaitu: geometri yang tersusun rapat, ekonomis, tidak adanya bagian yang bergerak, dan cocok untuk nilai laju aliran yang besar (Singh & Tharakan, 2015). *Orifice plate* juga dapat digunakan sebagai disipasi energi pada aliran (He & Zhao,

2010). Walaupun demikian, tingkat akurasi pengukuran menggunakan *orifice plate* rendah (Boom, 1991). Geometri umum dari *Orifice plate* sudah mempunyai standar sendiri yang tertulis pada ISO 5167-2 (2013). Terlepas dari standar, terdapat banyak bentuk aplikasi *orifice plate* di lapangan, seperti: bentuk *concentric* dengan sudut lingkaran pelat yang *square, quadrant, dan conical*. Terdapat juga bentuk *orifice plate* yang *eccentric dan segmented*.

Laju aliran fluida dalam sebuah pipa penting untuk diketahui, khusus pada industri-industri yang memanfaatkan pipa sebagai media penyalur fluida, sebab dapat mempengaruhi biaya dan proses produksi dari industri-industri tersebut. *Orifice meter* merupakan alat untuk mengukur laju aliran dengan prinsip beda tekanan

atau disebut juga *Bernoulli's principle* yang mengatakan bahwa terdapat hubungan antara tekanan fluida dan kecepatan fluida. Jika kecepatan meningkat, tekanan akan menurun begitu pula sebaliknya. Dengan pengurangan luas penampang lintasan aliran, perbedaan tekanan tercipta di cairan. Di belakang *orifice plate*, terjadi *pressure drop* yang signifikan yang menciptakan (aliran) *turbulen* di dalam pipa sehingga menyebabkan aliran balik tertunda. Penting untuk memulihkan aliran secepat mungkin untuk menurunkan biaya energi yang terkait dengan penurunan tekanan yang diperlukan untuk pengukuran aliran (A. A. Aly, A. Chong, F. Nicolleau, S. Beck, 2010) menyelidiki *pressure drop* setelah *orifice* berbentuk *geometri* dan mengukur pemulihan tekanan.

Kapasitas aliran dapat diukur dengan berbagai macam cara. Salah satunya adalah pengukuran aliran berbasis beda tekanan, dimana kapasitas aliran dihitung berdasar beda tekanan antara dua titik setelah melintasi sebuah penghalang yang dipasang untuk menimbulkan beda tekanan tersebut. Penurunan tekanan tersebut akan dipulihkan pada jarak tertentu pada arah hilir, namun tidak bisa dipulihkan secara keseluruhan. Penurunan tekanan yang tidak bisa dipulihkan tersebut disebut *irrecoverable pressure drop* atau *permanent pressure drop*.

Hubungan antara penampang melintang area aliran dan lubang *orifice plate* sangat kompleks karena jarak bebas, *chamfer*, dan faktor lain sebagai akibat dari keterbatasan pemrosesan. (P. Kumar, M. W. Bing, 2011) menyelidiki pengaruh perforasi geometris yang berbeda pada kinerja lubang *orifice* dan hasil simulasi menunjukkan bahwa bentuk perforasi tidak berpengaruh pada tekanan diferensial, tetapi, sedikit pemulihan tekanan yang lebih baik diamati dengan perforasi persegi panjang yang memiliki rasio aspek $l/w=3,0$. Pengaruh distribusi lubang pada pelat *orifice* pada kinerja karakteristik aliran dipelajari oleh (Barki dkk, 2014) menggunakan perangkat lunak FLUENT dan menemukan bahwa *orifice plate* multi lubang memiliki karakteristik aliran yang lebih baik dibandingkan dengan *orifice plate* lubang tunggal yang memiliki area keluar yang sama. (Ding dan Wang, 2015) membandingkan tiga geometri *orifice plate* yang berbeda dan menunjukkan bahwa untuk rasio dan ketebalan yang sama, *orifice plate* bentuk geometri *sharp-edge orifice plate* memiliki kapasitas pelepasan energi tertinggi. Selain parameter lain, geometri *orifice plate* juga memiliki efek yang signifikan terhadap penurunan tekanan. Oleh karena itu, maka perlu melakukan penelitian dan mempelajari bagaimana pengaruh geometri *orifice plate* pada *permanent pressure drop*, penurunan tekanan pada sisi *upstream* dan *downstream*. Tujuan yang dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana nilai *coefisien discharge* (C_d), *pressure loss*, dan *permanent pressure loss* dan *pressure drop* terhadap bilangan *Reynolds* pada variasi *geometri orifice plate*.

2. KAJIAN PUSTAKA

Flow meter merupakan sebuah alat untuk mengukur nilai kuantitatif laju aliran dari fluida yang mengalir. *Flow meter* terdiri dari dua bagian utama: *primary device* dan *secondary device* (Miller, 1996). *Primary device*

merupakan alat yang terpasang langsung pada aliran fluida sebagai penangkap sinyal, sedangkan *secondary device* adalah penangkap sinyal yang terbaca untuk memproses sinyal tersebut. Pemrosesan sinyal menghasilkan output berupa nilai yang ditampilkan pada suatu display atau respon terhadap aktuator untuk merubah nilai aliran fluida. Contoh dari *primary device* adalah *pressure tap*, pipa, pengkondisian aliran (*Nozzle, Venturi, Orifice*), sedangkan untuk *secondary device* seperti *valve, tubing, differential-pressure transmitter*, dan lain-lain. *Flow meter* memiliki banyak prinsip, salah satu yang banyak digunakan adalah *differential pressure*. Dalam pemilihan prinsip dan jenis *flow meter* perlu mempertimbangkan akurasi, jarak pengukuran, biaya, kerumitan dan kemudahan dalam membaca.

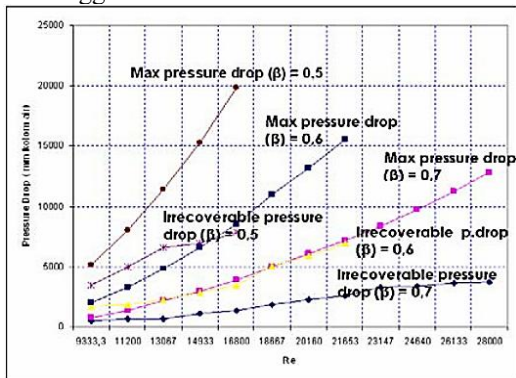
Bentuk geometri *orifice plate* sangat mempengaruhi pola aliran yang melaluinya yang pada akhirnya mempengaruhi hasil pengukuran. Dimana partikel-partikel dari air yang datang dari segala arah menuju *orifice* dan diantaranya terdapat partikel-partikel yang bergerak turun dan berputar disekitar *orifice* akhirnya keluar melalui *orifice* itu sehingga akan terjadi kehilangan energi. Setelah meninggalkan *orifice*, pancaran ini mengalami kontraksi, dan kontraksi maksimum terjadi pada daerah dimana lebar dari ini dipengaruhi oleh ukuran *orifice* dan head dari air. Daerah pada saat kontraksinya maksimum biasa disebut *vena kontraksa*. Maka jika aliran melalui *orifice* tipis maka aliran akan mengalami gangguan yang tak berarti atau *vena contracta* yang terbentuk tidak begitu berarti. Namun apabila aliran melewati *orifice plate* yang tebal maka akan terbentuk suatu *vena contracta* yang lebih besar pada arah depan aliran setelah melewati bagian depan *orifice plate*. Berdasarkan persamaan *Bernoulli* dan kontinuitas, kecepatan fluida akan mencapai nilai tertinggi dan tekanannya terendah pada *vena contracta*. Setelah melewati peralatan pengukur dan *vena contracta* akan terjadi penurunan kecepatan sampai pada level sebelum melewati penghalang. *Vena contracta* adalah luasan minimum yang terjadi pada bagian terdepan hilir aliran setelah penghalangan oleh *orifice*. Tekanan akan kembali naik namun lebih rendah dari tekanan sebelum melewati penghalang (Fossa, M & Guglielmini, G., 2002).

Pengujian *orifice flow meter* telah dilakukan dengan menggunakan *orifice plate* dan pipa berbahan akrilik. *Orifice plate* dibuat dengan memberikan sedikit bevel pada bagian sisi masuknya dengan rasio diameter (β) = 0.5 dengan tebal *orifice plate* 10 mm. Pengujian dilakukan dengan mengalirkan air melintasi *orifice plate*. Kapasitas aktual dari *orifice flow meter* dapat diukur pada *V-notch weir* dan *sight glass*. Sedangkan untuk kapasitas teoritis dari *orifice flow meter* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan *Bernoulli* yang dimodifikasi. Septiadi (2008) sebelumnya sudah melakukan eksperimen pada *orifice plate* yang memiliki bentuk sudut lubang *quadrant* dengan variasi tebal pelat dan rasio restriksi dalam *range* bilangan *Reynolds*.

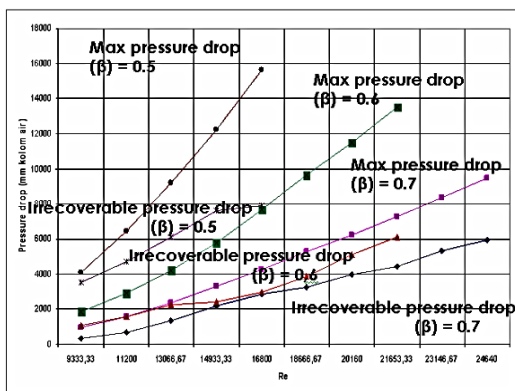
Hasilnya Dari bahwa *maximum pressure drop* tertinggi pada rasio striksi yang paling kecil yaitu $\beta = 0.5$, seperti kurva pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Kurva p[ada Gambar 1 dan 2 menjelaskan grafik bahwa semakin kecil rasio diameter (β) maka nilai

maksimum *pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop* semakin tinggi.

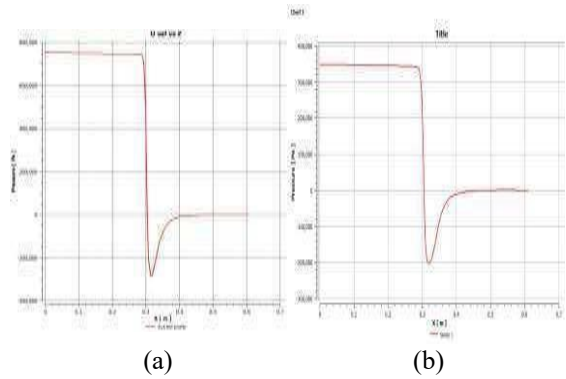


Gambar 1. Grafik maksimum *pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop* pada tebal orifice plate $t = 10$ mm (Septiadi, 2008).



Gambar 2. Grafik maksimum *pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop* pada tebal orifice plate $t=20$ mm (Septiadi, 2008).

Drop tekanan yang terjadi pada bagian *orifice plate* dengan tebal 10 mm lebih kecil jika dibandingkan dengan pengukuran pada *orifice plate* 20 mm yakni tekanan yang terbaca pada manometer *orifice plate* 10 mm yang paling rendah mencapai 760 mm untuk rasio 0.7; -766 mm untuk rasio 0.6 dan -1177 mm untuk rasio 0.5 sedangkan yang terbaca pada manometer pada *orifice plate* 20 mm yang paling rendah adalah -157 mm untuk rasio 0.7, -625 mm untuk rasio 0.6 dan -744 mm untuk rasio 0.5. Sehingga dalam hal ini ketebalan dari pelat *orifice* yang semakin besar mengurangi *pressure drop* yang terjadi. Maka *pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop* serta C_d dari *orifice flow meter* tidak hanya dipengaruhi oleh letak posisi pengukuran beda tekanan tetapi juga dipengaruhi oleh tebal *orifice plate*, keadaan sisi masuk *orifice plate* dan rasio diameter dari pelat *orifice* (β). Tipe pelat *orifice* terdiri dari *square-edged*, *square-edged with 45° back-cut*, *sharp-edged*, *streamlined-approach*, *sloping-approach* dan *quadrant-edged*. Hasil pengujian yang dilakukan oleh (Sanghani, 2016) menganalisis pengaruh perbandingan geometri *orifice* terhadap *pressure drop* menggunakan pipa berdiameter 28 mm di mana plat *orifice* dipasang 300 mm dari inlet dengan tebal plat *orifice* 3,92 mm menggunakan analisis CFD. Grafik *pressure drop* dari dua jenis plat *orifice* yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik *pressure drop* : (a) *Square-Edged with 45° Back-cut* (b) *Streamlined-Approach* (Sanghani, 2016)

Penurunan tekanan pada rasio diameter dan ketebalan plat *orifice* yang sama dapat digambarkan bahwa *maximum pressure drop* terjadi pada plat *orifice square-edged with 45° back-cut* sedangkan *minimum pressure drop* terjadi pada plat *orifice streamlined-approach*. Ketebalan plat *orifice* sangat berpengaruh terhadap pola aliran dalam suatu saluran sehingga akan turut mempengaruhi hasil pengukuran. Hal itu terjadi akibat partikel-partikel yang datang dari segala arah menuju *orifice*, partikel itu menyebabkan tumbukan pada area sekitar *orifice* sehingga air yang melaluinya akan mengalami kehilangan energi.

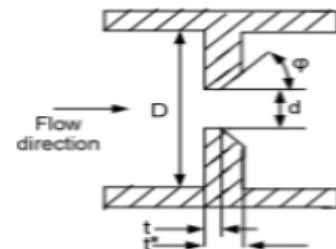
3. METODOLOGI

Bagian metodologi berfungsi untuk menjelaskan secara sistematis bagaimana penelitian dilakukan, sehingga pembaca dapat memahami, mengulangi, atau memverifikasi hasil penelitian. Penulisan metodologi harus jelas, logis, dan terstruktur, mencakup hal-hal berikut:

3.1. Bahan dan Alat

a) Alat

Seperangkat alat penelitian *orifice meter* seperti pada Gambar 4. *Orifice plate* sebagai alat uji dimana yang digunakan terdiri dari tiga bentuk geometri *orifice plate* yakni tipe A (*plate sudut runcing/ short square edged orifice with back bevel angle*).



Gambar 4. Geometri *orifice plate* Geometri Sudut Runcing (*short square edged orifice with back bevel angle*)

dimana :

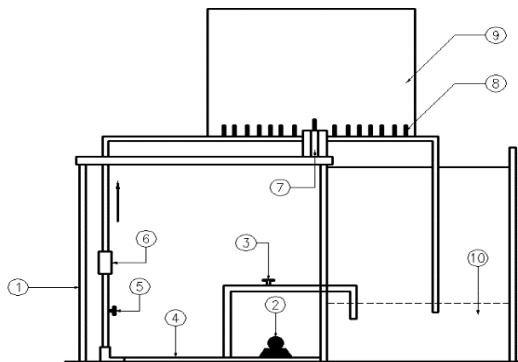
- Diameter Pipa (D) = 24 mm
- Diameter Orifice (d) = 12 mm
- Ketebalan (s/d) tetap = 0.833 mm
- d/D = tetap
- Beta rasio (β) = 0.5
- Sudut (θ) = 45°

- b) Bahan
- Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah air sebagai fluida kerja.
 - Cairan pewarna, untuk memudahkan pembacaan tinggi cairan manometer

3.2. Skema Instalasi Alat Uji

Untuk mengetahui distribusi tekanan arah *upstream* dan *downstream*, *pressure drop* dan *discharger coefficient* maka *pressure tap* dipasang pada jarak 24 mm dari *orifice plate* untuk arah *upstream* dan 12 mm dari *orifice plate* untuk arah *downstream*. Pengukuran tekanan dilakukan pada kondisi *steady* yang meliputi:

- Pengukuran tinggi cairan *manometer* statis bagian *centerline* pada *orifice plate*.
- Pengukuran dilakukan pada *orifice meter* meliputi pengukuran tinggi cairan *manometer* tekanan statis dinding di saluran uji arah *upstream* sebelum *orifice*.
- Pengukuran tekanan statis di setiap penampang melintang saluran uji arah *downstream* setelah melewati *orifice*.



Gambar 5. Skema Alat uji

Keterangan Gambar 5:

1. Tangki sebagai penampung fluida.
2. Pompa digunakan untuk mensirkulasikan aliran fluida pada instalasi penelitian.
3. Katup dipasang sebelum alat ukur debit aliran (*flow meter*), digunakan untuk mengatur debit aliran.
4. Termometer digunakan untuk mengukur temperature fluida.
5. Manometer untuk mengukur tinggi cairan manometer pada tekanan *upstream* dan *downstream* pada *orifice*.
6. *Flow meter* untuk mengukur debit fluida.

3.3. Prosedur Penelitian

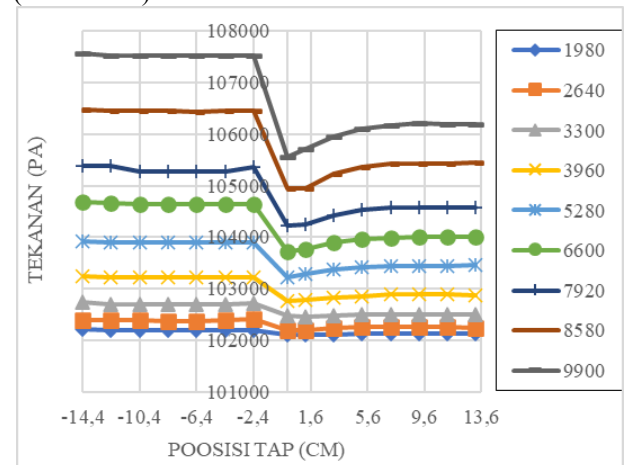
- Pastikan instalasi penelitian dan alat pendukung lainnya dipastikan dalam kondisi baik.
- Ketegaklurusan pemegang *orifice* harus mempertahankan posisi *plate orifice* tegak lurus pada sudut 90° terhadap sumbu *tube meter*.
- Orifice plate* dibuat dari *plate* dengan ketebalan (*s*) dan diameter lubang (*d*) *plate orifice* serta diameter pipa (*D*) yang sama atau tetap yakni (*s*) = 1 cm, (*d*) = 12 mm, (*D*) = 24 mm, dan geometri *plate* yang berbeda yaitu tipe A (*plate* sudut runcing/ *short square edged orifice with back bevel angle*), tipe B (*plate full* sudut/ *knife edged orifice with back bevel angle*) dan tipe C (*plate* lurus/ *long square edged orifice*).
- Hubungkan manometer dengan *tapping* pada saluran

- upstream* sebelum *orifice* dan pengukuran tekanan statis di setiap penampang melintang saluran uji arah *downstream* setelah melewati *orifice*.
- On kan pompa untuk mensirkulasikan air kemudian mengatur debit aliran air pada *flow meter* pada skala 1.8 LPM.
- Ketika aliran sudah *stabil*, melakukan pengukuran tinggi cairan manometer mencatat pada arah *upstream*, *centerline* dan *downstream orifice plate*.
- Melakukan pengukuran tinggi cairan manometer seperti pada poin 6 dengan debit aliran 2, 4, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 LPM.
- Bila pengukuran sudah cukup dan sudah benar maka, pompa dimatikan dengan memutus arus listrik dari sumber.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Distribusi Tekanan

Pada bagian ini akan dianalisa *pressure drop* dan *permanen pressure loss* serta *coeffisien discharger (Cd)* yang terjadi pada setiap variasi geometri *orifice plate*. Dimana analisa dilakukan berdasarkan perhitungan analitik dari hasil data pengukuran pada titik *tapping* (manometer).



Gambar 6. Grafik tekanan pada titik *tapping* tipe A (*plate* sudut runcing/ *short square edged orifice with back bevel angle*) pada Re 1980-9900

Gambar 6 di atas memiliki pola yaitu tekanan *upstream* memiliki nilai yang lebih besar dari pada tekanan *downstream*, hal ini sesuai dengan teori tentang aplikasi dari *orifice* sendiri yang digunakan untuk menciptakan perbedaan tekanan dari sisi *upstream* dan *downstream*, tekanan pada arah *downstream* memiliki distribusi tekanan yang lebih kecil dari pada tekanan *upstream* dikarenakan terdapat pertambahan kecepatan setelah fluida air melewati *orifice* tersebut. Dan hal ini sesuai dengan prinsip *Bernoulli* yang menyebutkan hubungan antara kecepatan dengan tekanan dimana prinsip *Bernoulli* menyatakan bahwa semakin besar kecepatan fluida dalam suatu pipa maka tekanannya makin kecil dan sebaliknya makin kecil kecepatan fluida dalam suatu pipa maka semakin besar tekanannya. Penjelasan ini juga didasari dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Nurisma (2023). Dan tekanan *downstream* yang tertinggi yakni 10718 N/m² terjadi ketika kecepatan aliran fluida mencapai 0,377 m/s dan bilangan *Reynolds*

11221. Berdasarkan dari Gambar 4 maka, ΔP adalah sebagai berikut:

$$P = P_{Upstream} - P_{vena contracta} \quad (1)$$

$$= 108665 - 106381 = 2284 \text{ Pa}$$

4.2. Permanent Pressure Loss

Perbandingan *orifice plate* didasarkan pada perhitungan ΔP yang telah dilakukan dan nilai ΔP dari tersebut akan di jadikan *inputan* untuk mendapatkan *permanent pressure loss* yang terjadi pada masing -masing *orifice plate*.

Hasil perhitungan menjelaskan bahwa nilai dari *pressure drop* yang dihasilkan *orifice* memiliki nilai yang berbeda-beda tergantung dari geometri *orifice* yang digunakan. Penjelasan ini didasari hasil penelitian yang dilakukan oleh C.R Dobariya dkk (2016) yang menggunakan metode numerik dengan menggunakan software *Computational Fluid Dynamics (CFD)*.

Untuk perhitungan *permanent pressure loss* menggunakan persamaan seperti yang ditampilkan sebagai berikut:

$$\frac{\text{Permanent Pressure Loss}}{\text{Maximum Pressure Drop}} \times (100\%) = \frac{P_{upstream (D)} - P_{Recovery point}}{\Delta P} \times (100\%) \quad (2)$$

$$P_{upstream} = \text{Tekanan upstream (Pa)} \quad (3)$$

$$P_{recovery point} = \text{Tekanan downstream saat recovery point (Pa)} \quad (4)$$

$$P_{vena contracta} = \text{Tekanan minimum downstream di vena contracta (Pa)} \quad (5)$$

$$\Delta P_{max} = P_{upstream} - P_{vena contracta} = \text{maksimum pressure drop (Pa)} \quad (6)$$

$$\text{Centerline} = \frac{108665 \text{ Pa} - 106986 \text{ Pa}}{108665 \text{ Pa} - 106381 \text{ Pa}} \times 100\%$$

$$= 73.51 \%$$

Perhitungan nilai *permanent pressure loss* menggunakan dua referensi tekanan yakni *centerline pressure* dan divalidasi dengan perhitungan analitis oleh Miller (1996) sebagai berikut.

$$\frac{\text{permanent pressure loss}}{\text{maximum pressure drop}} = (1 - 0.24 \beta - 0.52 \beta^2 - 0.16 \beta^2) \times 100\%$$

$$(1 - 0.24 (0.5) - 0.52 (0.5)^2 - 0.16 (0.5)^3) \times 100\% = 71.0\%$$

Hasil perhitungan *permanent pressure loss* dengan referensi *centerline* diperoleh rata-rata 74 % dan searah dengan hasil yang diperoleh Miller (1996) sebesar 71 % dan Nurisma dan Mahmuddin diperoleh 69 %.

4.3. Coefficient of Discharge (Cd)

Berdasarkan analisis ISO 5167-2 (2013) dengan

nilai $\beta = 0.5$ untuk *orifice* standar untuk mencari nilai *coefisien discharge (Cd)* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_d = f(\beta) + 91.71 \beta^{2.5} Re_d^{-0.75} + \frac{0.09 \beta^4}{1 - \beta^4} F_1 - 0.0337 \beta^3 F_2 \quad (7)$$

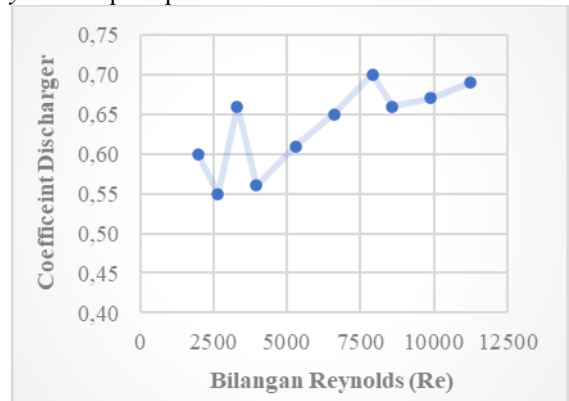
$$F_1 = 0.4333 ; F_2 = 0.47 \quad (8)$$

$$f(\beta) = 0.5959 + 0.0312 (0.5)^{2.1} - 0.18(0.5)^8 = 0.602 \quad (9)$$

$$\text{Maka, } C_d = 0.602 + 91.71(0.5)^{2.5}(1980)^{-0.75} + \frac{0.09(0.5)^4}{1 - (0.5)^4} 0.433 - 0.0337(0.5)^3 0.47 = 0.657$$

Hasil perhitungan C_d untuk angka Reynolds 1980-9900 rata-rata diperoleh 0,629 dan dibandingkan dengan ISO 5167-2 (2013) diperoleh sebesar 0,627 serta dibanding hasil penelitian Nurisma dan Mahmuddin 0,621. Dengan demikian bahwa nilai *Coefficient of Discharge (Cd)* hasil penelitian ini besarnya hampir sama.

Nilai C_d untuk referensi *centreline* setiap variasi geometri *orifice plate* dapat dipetakan dengan bilangan Reynolds seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. *Coefficient of Discharge (Cd)* pada variasi geometri *orifice plate* pada bilangan Reynolds 1980–9900

Pengujian ini menunjukkan hasil yang searah dengan pengujian yang dilakukan oleh Kavya P dkk (2018) yang menggunakan metode numerik dengan menggunakan software *Computational Fluid Dynamics (CFD)* yakni Ansys Fluent 6.3.26 dan peneliti terdahulu.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Nilai C_d tidak signifikan berpengaruh terhadap kenaikan angka Reynolds, C_d rata-rata diperoleh 0,629 dan dibandingkan dengan ISO 5167-2 (2013) diperoleh sebesar 0,627
- Besar *permanent pressure loss* dengan referensi *centerline* diperoleh rata-rata 74 % dan searah dengan hasil yang diperoleh Miller (1996) sebesar 71 %.
- Tekanan aliran berangsur-angsur tueun hingga

mecapai terendah pada *vena contracta*. Setelah melewati *vena contracta* tekanan akan mulai meningkat hingga mencapai level pemulihan.

5.2. Saran

Penelitian ini dapat dikembangkan menjadi penelitian unggulan dengan geometrik orifice pelat yang berbeda dengan viskositas fluida kental.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen., & Ackland. (2016). Hubungan koefisien gesek pada aliran laminar, transisi dan turbulen. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*.
- Chilton., & Stainsby. (1998). Koefisien kerugian yang terjadi pada aliran laminar, transisi dan turbulen. *Rang Teknik Journal*.
- Draad. (1998). Analisis aliran dalam pipa untuk mengetahui koefisien gesek terhadap bilangan Reynolds. *Jurnal Reaktom*.
- Faila, R. N. (2018). *Studi numerik karakteristik aliran fluida melalui rectangular elbow 90° dengan diamond inlet disturbance body ($d/D_h = 0.064, 0.080, \text{ dan } 0.100$)*. Fakultas Teknologi Industri.
- Gracia. (2017). Korelasi eksperimental pada bilangan Reynolds dan faktor gesekan pada pipa. *Dinamika Teknik Mesin*.
- Karyoni, I. Y. (2009). *Analisa aliran berkembang penuh dalam pipa*. Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia.
- Khusaeni, A. (2010). *Pengujian karakteristik aliran fasa tunggal aliran air vertikal ke atas pada penukar kalor saluran rektanguler bercelah sempit*. Universitas Sebelas Maret.
- Lestari, D. (2019). *Identifikasi besaran fisis fluida pada aliran*. Universitas Jember.
- Makhsud, A. (2012). *Mekanika fluida (teori dan aplikasi)*. Kretakupa Print.
- Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (1940). *Fundamentals of fluid mechanics* (7th ed.). United States of America.
- Mustakim., Indarto., & Purnomo. (2012). Pengurangan intensitas fluktuasi tekanan pada pembesaran mendadak aliran udara-air searah horizontal dengan penempatan ring. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin*.
- Nasution, H. (2008). Definisi fluida. Dalam H. Nasution, *Mekanika fluida dasar* (hlm. 1). Bung Hatta University Press.
- Rahayu, P., Putri, D. K., Rosalina., & Indriyani, N. (2021). Pengaruh diameter pipa pada aliran fluida terhadap nilai head loss. *AGITASI*.
- Widodo. (2017). Analisa head loss sistem jaringan pipa pada sambungan pipa kombinasi diameter berbeda. *Jurnal Suara Teknik*, 4(1).
- Zainudin., Sayoga, I. M. A., & Nuarsa, I. M. (2012). Analisa pengaruh variasi sudut sambungan belokan terhadap *head losses* aliran pipa. Universitas Mataram.