

DESAIN DAN ANALISIS TELESKOPIK SILINDER HIDROLIK PADA MESIN PRES HIDROLIK MOBILE

Wahyu Arrozi^{1*}, Agus Widianto², Yoga Guntur Sampurno², Paryanto³, Asri Widowati⁴, Tien Aminatun⁵, Sunarta⁶

¹Program Studi Magister Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia 55584

²Departemen Teknik Mesin dan Otomotif, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta, Kampus UNY Wates 55652

³Departemen Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Kampus UNY Karang Malang 55281

⁴Departemen Pendidikan Sains, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Kampus UNY Karang Malang 55281

⁵Departemen Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Kampus UNY Karang Malang 55281

⁶Departemen Bisnis dan Keuangan, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta Kampus UNY Wates 55652

*Corresponding Author: 23927007@students.uii.ac.id

Abstract

This research explores the design and analysis of a hydraulic telescopic cylinder used in a mobile hydraulic press, focusing on improving mobility and operational efficiency. Through the application of Finite Element Analysis (FEA), the study identifies critical parameters such as stresses, strains and safety factors under diverse operational conditions. This research demonstrates how a telescopic design can address specific challenges in hydraulic press operations, including increased operating range and adaptability to dynamic workloads. From the analysis conducted, it was found that the cylinder experienced a maximum stress of 599.51 MPa and a maximum strain of 0.0030939 mm/mm at the center, which suggested the need for design modifications or material upgrades to improve reliability and durability. Meanwhile, the high factors of safety in most areas indicate that the overall design has good reliability. This study provides useful insights for engineers and machine designers in optimizing the design of telescopic hydraulic cylinders and suggests research areas that can be explored for further development, such as the use of innovative materials and advanced manufacturing techniques. The results of this study can be used to guide the development of more efficient and adaptive mobile hydraulic presses to meet the needs of modern industry.

Keywords: *Hydraulic telescopic, Finite element analysis, Press, Plastic waste*

Abstrak

Penelitian ini mengeksplorasi desain dan analisis dari silinder teleskopik hidrolik yang digunakan pada mesin pres hidrolik mobile, yang memfokuskan pada peningkatan mobilitas dan efisiensi operasional. Melalui penerapan Analisis Elemen Hingga (FEA), studi ini mengidentifikasi parameter kritis seperti tegangan, regangan, dan faktor keamanan dalam kondisi operasional yang beragam. Penelitian ini mendemonstrasikan bagaimana desain teleskopik dapat mengatasi tantangan khusus dalam operasi mesin pres hidrolik, termasuk peningkatan jangkauan operasi dan penyesuaian terhadap beban kerja yang dinamis. Dari analisis yang dilakukan, ditemukan bahwa silinder mengalami tegangan maksimum 599,51 MPa dan regangan maksimum 0,0030939 mm/mm di bagian tengah, yang menyarankan adanya kebutuhan untuk modifikasi desain atau peningkatan material untuk meningkatkan keandalan dan durabilitas. Sementara itu, faktor keamanan yang tinggi di sebagian besar area menunjukkan bahwa desain keseluruhan memiliki keandalan yang baik. Studi ini memberikan wawasan yang bermanfaat bagi insinyur dan desainer mesin dalam mengoptimalkan desain silinder hidrolik teleskopik dan menyarankan area-area penelitian yang dapat dijelajahi untuk pengembangan lebih

lanjut, seperti penggunaan material inovatif dan teknik manufaktur canggih. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk memandu pengembangan mesin pres hidrolik mobile yang lebih efisien dan adaptif dalam menghadapi kebutuhan industri modern.

Kata Kunci: Teleskopik hidrolik, Analisis elemen hingga, Mesin pres, Sampah plastik

PENDAHULUAN

Mesin pres hidrolik merupakan komponen vital dalam industri pengolahan dan manufaktur, berperan dalam pembentukan, pengepresan, dan pemotongan berbagai jenis bahan (Alting, 2020; Awasthi, Saxena, & Arun, 2021; Youssef, El-Hofy, & Ahmed, 2023). Kinerja mesin ini sangat berpengaruh pada throughput produksi, kualitas produk, dan biaya operasional. Beberapa studi menunjukkan bahwa keandalan dan efisiensi mesin hidrolik dapat meningkatkan kapasitas produksi sambil mengurangi downtime dan biaya pemeliharaan (Khan, Broderick, & Taylor, 2021; Siregar, 2024). Selain itu, mesin yang efisien dapat mempercepat proses produksi, memungkinkan perusahaan untuk memenuhi permintaan pasar yang meningkat dengan lebih cepat dan efektif. Optimasi mesin pres hidrolik, termasuk pemilihan komponen yang tepat dan pemeliharaan rutin, menjadi kunci dalam mencapai efisiensi operasional yang maksimal. Dengan demikian, investasi dalam teknologi terbaru dan pelatihan operator yang adekuat menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa mesin beroperasi pada tingkat optimal.

Perkembangan teknologi dan dinamika pasar modern menuntut adaptasi yang cepat dan fleksibel dari alat-alat industri. Mesin pres hidrolik tidak terkecuali dari tuntutan ini, dimana mobilitas dan kemampuan adaptasi menjadi kunci utama dalam persaingan industri. Penelitian oleh Cohen dkk (Cohen, Faccio, Pilati, & Yao, 2019) menyoroti pentingnya integrasi teknologi yang mendukung fleksibilitas operasional untuk menjawab kebutuhan pasar yang fluktuatif. Mesin yang mampu beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan kebutuhan produksi tidak hanya meningkatkan kapasitas produksi tetapi juga mengurangi waktu dan biaya yang dikeluarkan untuk penyesuaian alat (Nurlaila, Yuniawati, Susanti, & Cahyati, 2023). Dalam konteks ini, sistem hidrolik yang modular dan dapat dikonfigurasi ulang memberikan nilai tambah yang signifikan. Solusi seperti sistem kontrol yang dapat diprogram dan sensor canggih meningkatkan otomatisasi dan presisi, memungkinkan mesin untuk beroperasi dengan efisiensi yang lebih tinggi di bawah berbagai kondisi operasional (Widyianto, Yudianto, Sofyan, & Gunadi, 2023).

Penerapan silinder hidrolik teleskopik dalam mesin pres hidrolik menawarkan solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi (Taufiq, Zاتمika, & Firdaus, 2023). Silinder ini memungkinkan mesin untuk menjalankan operasi lebih banyak dalam konfigurasi

yang lebih kompak. Tian (Tian et al., 2024) menyatakan bahwa silinder teleskopik dapat mengurangi waktu pengaturan dan meningkatkan efisiensi operasional dengan memanfaatkan ruang yang lebih efektif. Penggunaan silinder teleskopik juga memfasilitasi penyesuaian cepat terhadap spesifikasi produk yang berubah-ubah tanpa memerlukan investasi besar pada peralatan baru. Selain itu, karena kemampuannya untuk menyediakan kekuatan besar dalam bentuk yang lebih kecil, silinder teleskopik sangat cocok untuk aplikasi di pabrik yang memiliki keterbatasan ruang operasional (Zhang, Gong, & Zhang, 2024). Ini memungkinkan perusahaan untuk meningkatkan output mereka tanpa perlu memperluas fasilitas fisik mereka, memberikan solusi yang cost-effective dan efisien dalam memenuhi tuntutan produksi yang semakin meningkat.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah berfokus pada perancangan dan pembuatan mesin pengepres sampah dengan berbagai mekanisme, seperti sistem hidrolik dan ulir, yang ditujukan untuk mengurangi volume sampah dan mempermudah proses pengelolaan. Misalnya, studi oleh Putra dan Wahid (R. A. Putra & Wahid, 2021) mengembangkan prototipe mesin pengepres hidrolik untuk limbah plastik, yang memudahkan masyarakat dalam mengurangi volume sampah plastik. Sementara itu, penelitian oleh Hermawanto (Tjahjanti, Hermawanto, & Firmansyah, 2023) membahas pembuatan dan pengujian mesin pengepres sampah anorganik dengan sistem ulir, yang efektif dalam mengurangi volume sampah anorganik. Selain itu, perancangan mesin press hidrolik untuk mengurangi kadar air dalam sampah juga telah dilakukan, seperti yang dibahas dalam penelitian oleh Ekaputra (Ekaputra, 2024). Upaya ini bertujuan meningkatkan efisiensi proses pengolahan sampah selanjutnya. Namun, penerapan teknologi mesin pengepres sampah mobile yang dapat mendukung efisiensi pengelolaan sampah terpilah di bank sampah, khususnya di Yogyakarta, masih belum banyak diteliti. Studi mendalam tentang teknologi mobile ini penting karena memberikan solusi yang lebih fleksibel dan dapat diintegrasikan dengan infrastruktur pengelolaan sampah yang sudah ada. Dengan memperkenalkan teknologi mobile, potensi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan sampah di tingkat lokal dapat terwujud, sehingga berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dan peningkatan kesejahteraan lingkungan.

Dalam penelitian ini, analisis dilakukan dengan menggunakan metode desain asistensi komputer (CAD) dan simulasi metode elemen hingga (FEA). Tujuan utama adalah untuk mengevaluasi performa struktural dan operasional dari silinder hidrolik teleskopik dalam aplikasi mesin pres hidrolik mobile. Pendekatan ini diharapkan menghasilkan desain yang tidak hanya memenuhi kebutuhan teknis tetapi juga operasional dan ekonomis. Proses simulasi FEA memungkinkan identifikasi area potensial yang membutuhkan penguatan untuk mencegah kegagalan struktural dan memaksimalkan umur layanan. Selain itu, analisis CAD menyediakan

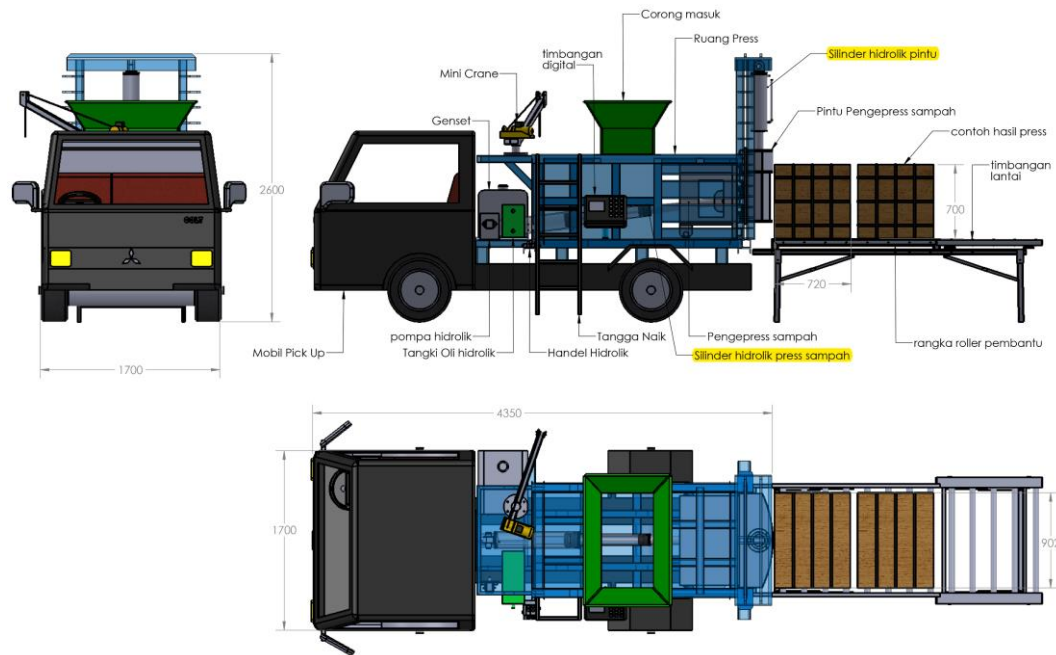
visualisasi terperinci yang membantu dalam iterasi desain yang lebih cepat dan lebih akurat, memungkinkan optimasi komponen sebelum prototipe fisik dibuat. Dengan memanfaatkan kedua metode ini, penelitian ini berupaya untuk merancang sebuah sistem silinder yang lebih ringkas dan lebih efisien yang dapat beradaptasi dengan berbagai kebutuhan produksi tanpa kompromi pada kinerja atau keamanan.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain asistensi komputer/computer-aided design (CAD) untuk pembuatan model 3D dari silinder hidrolik teleskopik, dan simulasi metode elemen hingga/finite element analysis (FEA) untuk analisis struktural. Penggunaan CAD memungkinkan pembuatan model yang sangat akurat dan detail dari silinder hidrolik, memberikan kemungkinan untuk mengeksplorasi berbagai konfigurasi dan dimensi tanpa perlu memproduksi fisik terlebih dahulu. Hal ini sangat efisien dalam menghemat waktu dan biaya dalam fase desain. Di sisi lain, simulasi FEA menyediakan data penting mengenai perilaku material dan komponen saat dikenai beban. Analisis ini membantu menilai kekuatan, kekakuan, dan durabilitas dari silinder, sehingga dapat dilakukan penyesuaian desain untuk memastikan kinerja yang optimal dan keamanan selama operasi. Dengan mengintegrasikan kedua metode ini, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain silinder yang tidak hanya inovatif tetapi juga tahan dan dapat diandalkan dalam kondisi operasional yang beragam.

Gambar 1 menunjukkan desain dari mesin pres hidrolik mobile. Mesin pres diletakkan di atas mobil pick-up untuk meningkatkan mobilitas mesin ini, memungkinkan operasional di berbagai lokasi tanpa perlu instalasi permanen. Secara konstruksi, mesin pres ini memiliki struktur yang kuat dan kokoh dengan dua silinder hidrolik teleskopik yang berfungsi untuk mendukung proses pengepresan sampah secara efisien. Silinder teleskopik pertama digunakan untuk memberikan gaya tekan utama dalam proses pengepresan, memastikan sampah terkompresi secara optimal untuk mengurangi volumenya secara signifikan. Silinder teleskopik kedua berfungsi untuk menutup dan mengunci pintu pengepres, memastikan keamanan dan stabilitas selama proses pengepresan berlangsung.

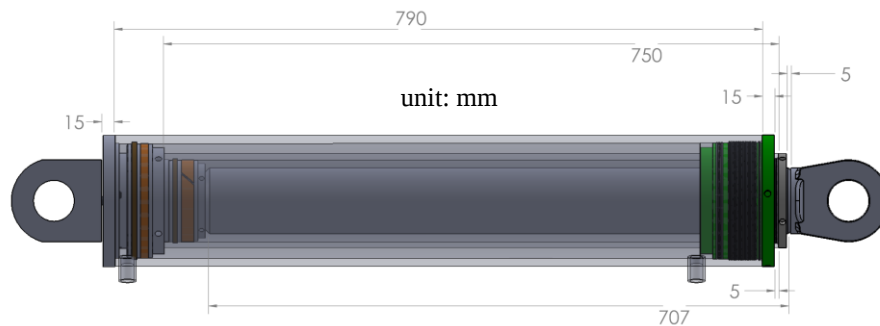
Selain itu, terdapat mini crane yang dipasang di bagian atas mesin untuk membantu dalam proses pengangkatan dan pemindahan sampah ke corong masuk. Mini crane ini dirancang untuk mengurangi tenaga kerja manual dan meningkatkan efisiensi dalam penanganan sampah, terutama sampah dalam jumlah besar atau berukuran besar yang sulit diangkat secara manual. Corong masuk dirancang dengan dimensi yang cukup luas agar dapat menerima berbagai jenis sampah dengan mudah, termasuk sampah organik dan anorganik.



Gambar 1. Desain mesin pres hidrolik mobile

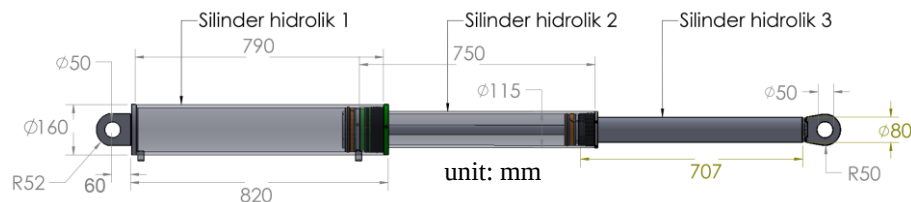
Struktur rangka mesin menggunakan bahan berkekuatan tinggi untuk menjamin daya tahan terhadap tekanan yang tinggi dan kondisi lingkungan operasional yang bervariasi. Sistem hidrolik didesain untuk memberikan tekanan optimal dengan konsumsi energi yang efisien, sehingga mesin dapat beroperasi dalam waktu yang lebih lama tanpa mengalami penurunan kinerja. Sistem kontrol hidrolik juga dioptimalkan agar operator dapat dengan mudah mengontrol pergerakan silinder teleskopik dan mini crane sesuai dengan kebutuhan operasional. Dengan kombinasi fitur ini, mesin pres hidrolik mobile dapat memberikan solusi yang efektif untuk pengelolaan sampah di berbagai lokasi, baik di area perkotaan maupun pedesaan.

Secara detail desain dari teleskopik hidrolik saat tidak bekerja ditunjukkan pada Gambar 2. Saat kondisi tidak bekerja, teleskopik hidrolik ini memiliki panjang sekitar 790 mm, menunjukkan konfigurasi yang sangat kompak untuk penyimpanan atau transportasi. Dalam kondisi ini, silinder hidrolik sepenuhnya ditarik, yang meminimalkan ruang yang diperlukan untuk mesin secara keseluruhan, memudahkan integrasi mesin pada platform mobile seperti mobil pick-up. Kondisi kompak ini sangat penting untuk memungkinkan mesin bergerak melalui area yang memiliki akses terbatas atau ruang operasi yang sempit. Desain teleskopik yang diterapkan juga memastikan bahwa mesin dapat dengan cepat siap beroperasi ketika diperlukan, dengan mengembangkan silinder untuk mencapai ukuran operasional penuh dalam waktu yang singkat. Mekanisme teleskopik dirancang untuk memastikan kecepatan dan kehalusan pergerakan, mengoptimalkan waktu setup tanpa memerlukan penyesuaian manual yang kompleks.



Gambar 2. Desain teleskopik hidrolik saat kondisi tidak bekerja

Material yang digunakan dalam pembuatan silinder teleskopik ini juga dipilih berdasarkan kriteria kekuatan dan ringan. Hal ini penting untuk memastikan bahwa teleskopik hidrolik dapat menahan beban operasional yang berat sambil tetap menjaga efisiensi bahan bakar kendaraan yang membawanya. Penggunaan material seperti baja tahan karat atau aluminium berkualitas tinggi membantu mencapai keseimbangan antara durabilitas dan bobot. Secara fungsional, desain ini tidak hanya praktis tetapi juga efisien dari segi energi. Saat teleskopik hidrolik diperpanjang untuk operasi, sistem hidrolik dirancang untuk menggunakan tekanan yang secara otomatis disesuaikan, memaksimalkan kekuatan pengepresan sambil mengurangi konsumsi energi. Sistem kontrol elektronik terintegrasi memungkinkan penggunaan yang mudah dan presisi, memberikan pengontrolan yang lebih baik atas proses ekstensi dan retraksi, dan meningkatkan keselamatan operasional secara keseluruhan.



Gambar 3. Desain teleskopik hidrolik saat kondisi bekerja

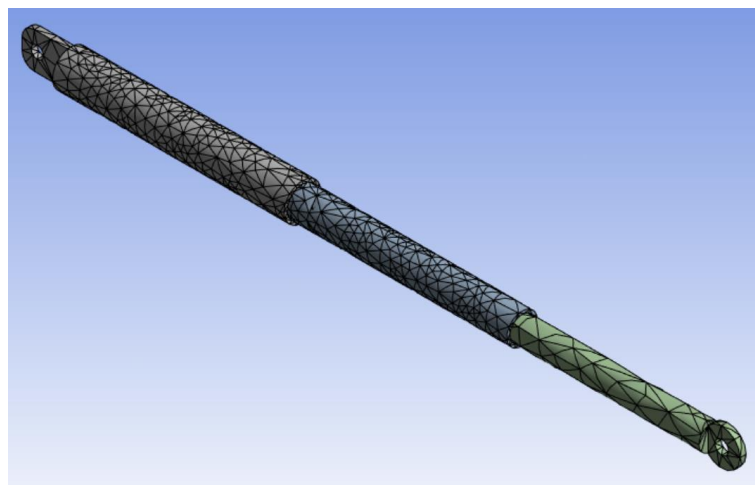
Gambar 3 menunjukkan detail desain teleskopik hidrolik saat kondisi bekerja. Teleskopik hidrolik ini memiliki dua gerakan dengan total panjang mencapai 2247 mm, memungkinkan jangkauan yang luas untuk berbagai aplikasi pengepresan. Desain ini dikonfigurasi untuk memaksimalkan efisiensi operasional dengan memanfaatkan ruang yang ada secara optimal. Ketika aktif, silinder ini mengembang secara teleskopik, memperpanjang panjangnya lebih dari dua kali lipat dari kondisi istirahatnya, sehingga dapat mengatasi berbagai jenis material dan volume tanpa memerlukan penyesuaian fisik yang berat. Dengan dua tingkat ekstensi, teleskopik hidrolik ini dirancang untuk memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam operasional. Tingkat pertama memperpanjang silinder hingga sekitar setengah dari panjang total, ideal untuk operasi yang memerlukan kekuatan tekan lebih rendah atau untuk pengaturan awal. Tingkat kedua memperpanjangnya hingga panjang penuh, memberikan kekuatan tekan maksimal untuk

material yang lebih padat atau dalam jumlah yang lebih besar. Fitur ini sangat berguna dalam aplikasi yang membutuhkan adaptasi cepat terhadap kondisi operasi yang berubah-ubah. Parameter yang digunakan dalam desain teleskopik hidrolik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter pada teleskopik hidrolik

No	Parameter	Angka	Satuan
1.	Jumlah tahap pemindahan	2	tahap
2.	Stroke total	707	mm
3.	Tekanan	100	bar
4.	Aliran	15	l/m
5.	Tahap 1 - diameter luar pemindahan	115	mm
6.	Tahap 2 - diameter luar pemindahan	80	mm
7.	Laras utama - diameter dalam	140	mm
8.	Tahap 1 - diameter bagian dalam sebelumnya	100	mm

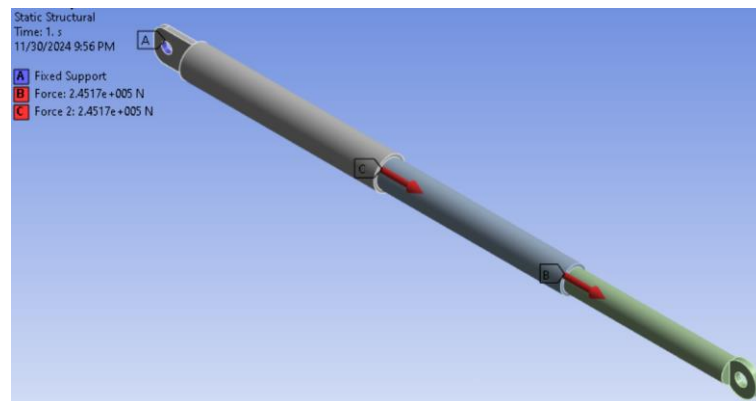
Sistem struktur yang kompleks dapat dianalisis secara komputasional menggunakan Metode Elemen Hingga/Finite Element Method (FEM), yang membaginya menjadi elemen-elemen yang lebih sederhana. Pencacahan atau penggabungan sangat penting untuk menyimulasikan sifat fisik sistem secara akurat. Melalui elemen-elemen hingga, FEM dapat mengevaluasi kuantitas seperti tegangan, regangan, dan deformasi yang sulit atau tidak mungkin dilakukan secara analitis. Karena kelebihanannya, elemen heksahedron dan tetrahedron (metode otomatis) merupakan elemen penggabungan untuk penyelidikan ini. Akurasi dan efisiensi simulasi paling baik dengan elemen heksahedral untuk geometri sederhana. Karena desainnya yang teratur, simpul dan elemen didistribusikan secara merata, menghasilkan keluaran yang lebih akurat dengan daya komputasi yang lebih sedikit. Di area dengan struktur yang tidak seragam, elemen tetrahedral bersifat serbaguna dan dapat menggabungkan bentuk yang kompleks atau tidak beraturan. Elemen-elemen tersebut bekerja sama dengan baik untuk mengintegrasikan elemen desain yang sederhana dan kompleks secara akurat.



Gambar 4. Mesh geometry dari silinder teleskopik hidrolik

Hasil penggabungan untuk berbagai komponen penting mesin pres hidrolik bergerak

ditunjukkan pada Gambar 4. FEA menghasilkan hasil penggabungan ini untuk meniru perilaku mesin dalam berbagai keadaan pembebanan. Temuan jaring menunjukkan bagaimana elemen didistribusikan di seluruh model dan membantu menentukan konsentrasi tegangan, deformasi, dan metrik kinerja mesin lainnya. Gambar 4 menunjukkan mesh geometry silinder teleskopik hidrolik. Analisis ini menyeimbangkan efisiensi dan akurasi komputasi dengan elemen 50 mm. Jaring tersebut menggambarkan distribusi material dan reaksi silinder hidrolik di bawah tegangan dengan 13.075 simpul dan 6.379 elemen. Jaring yang lebih kecil ini secara memadai menangkap area penting di sekitar piston dan segel silinder, memberikan analisis tegangan dan deformasi menyeluruh selama pengepresan. Jaring ini menunjukkan kinerja struktural dan titik kegagalan silinder hidrolik, yang merupakan komponen penting.



Gambar 5. Kondisi batas dari silinder teleskopik hidrolik

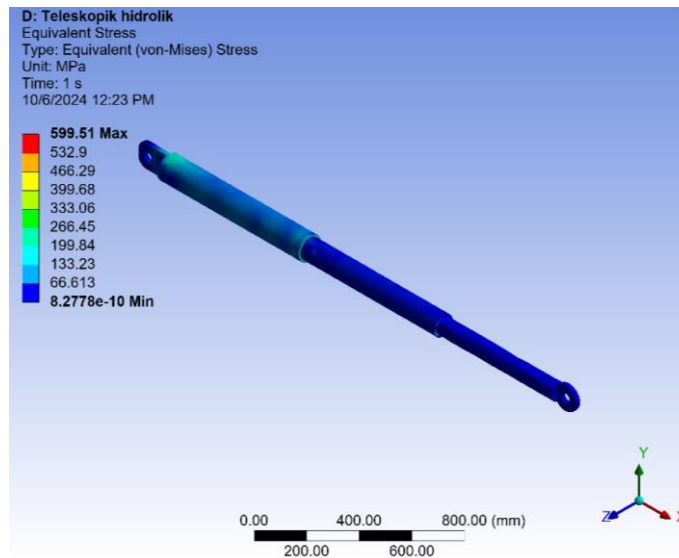
Kondisi batas simulasi untuk setiap komponen mesin press hidrolik bergerak ditunjukkan pada Gambar 5. Kondisi batas ini harus secara tepat mewakili batas fisik dan gaya yang dialami oleh mesin selama pengoperasian. Beban dan penyangga yang realistis memastikan bahwa tegangan, deformasi, dan indikator kinerja lainnya dari setiap komponen diuji dalam kondisi dunia nyata. Penopang tetap menambatkan dasar silinder teleskopik hidrolik (Gambar 5) pada titik A untuk mencegah gerakan translasi atau rotasi. Penyangga tetap ini secara fisik menghubungkan silinder dan rangka alat berat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

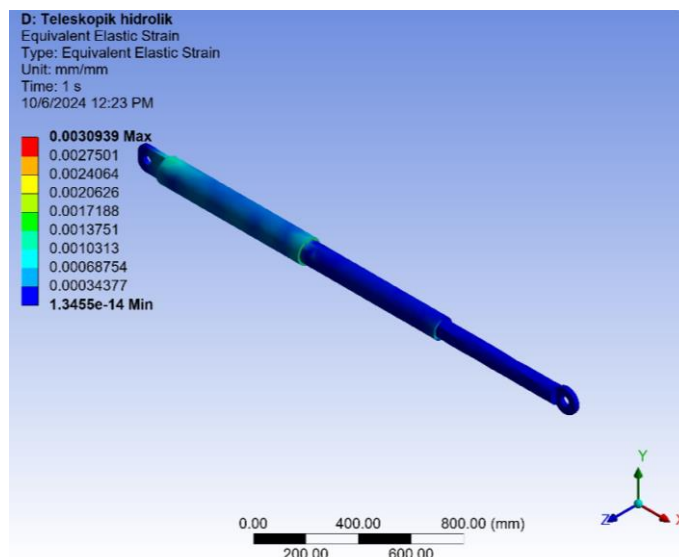
Integritas struktural komponen penting di bawah beban operasional dievaluasi dengan melakukan analisis distribusi tegangan pada mesin press hidrolik bergerak menggunakan Analisis Elemen Hingga (FEA). Temuan ini menjelaskan daerah yang paling banyak mengalami tekanan, yang membantu dalam menentukan titik-titik lemah yang mungkin terjadi dan memastikan keandalan dan efisiensi alat berat. Gambar 6 menunjukkan temuan distribusi tegangan ekuivalen (tegangan von Mises) untuk beberapa bagian mesin press hidrolik portabel.

Performa alat berat dan integritas struktural dinilai di bawah pengaturan operasional menggunakan Analisis Elemen Hingga (FEA), yang memberikan hasil berikut. Silinder teleskopik hidrolik dengan tegangan maksimum 599,51 MPa ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi tegangan silinder teleskopik hidrolik

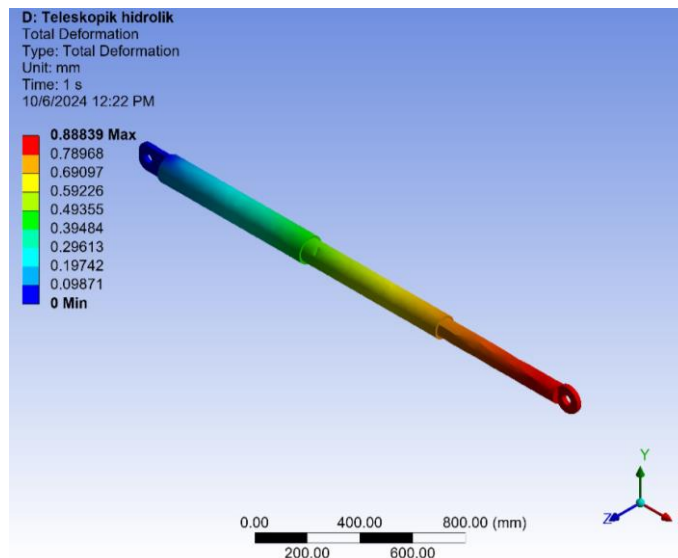
Gambar 7 menampilkan visualisasi hasil simulasi metode elemen hingga (FEA) yang digunakan untuk menganalisis distribusi regangan pada silinder teleskopik hidrolik. Dari data yang ditunjukkan, nilai maksimum regangan yang terjadi adalah 0,0030939 mm/mm, terjadi di bagian tengah silinder, yang menunjukkan zona dengan regangan terbesar. Regangan minimal yang tercatat sangat rendah, hampir mendekati nol, dengan nilai 1.3455e-14 mm/mm, yang terjadi di bagian ujung silinder.



Gambar 7. Distribusi regangan silinder teleskopik hidrolik

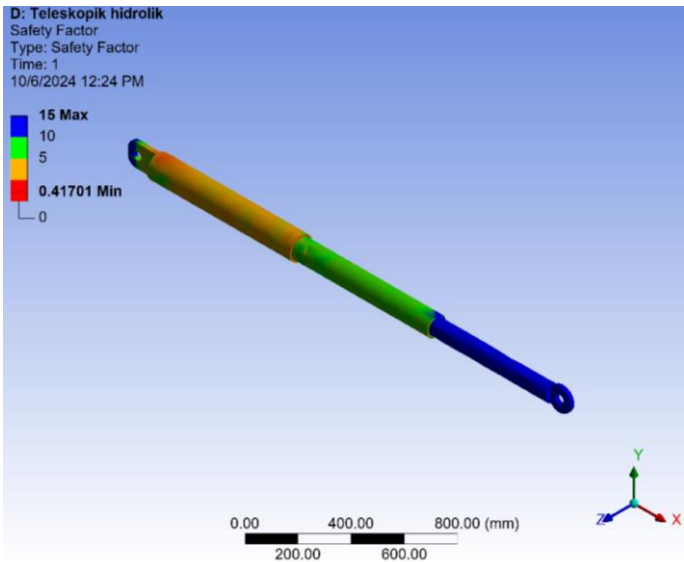
Silinder teleskopik hidrolik, rangka mesin press, dan pintu press limbah merupakan komponen penting dari mesin press hidrolik bergerak. Hasil analisis deformasi keseluruhan untuk komponen-komponen ini ditunjukkan pada Gambar 8. Temuan ini, yang berasal dari

Analisis Elemen Hingga (FEA), menjelaskan bagaimana setiap bagian berubah bentuk saat dikenai beban, menjamin bahwa deformasi tetap berada dalam parameter yang aman untuk fungsi yang efektif dan aman. Hidrolik silinder teleskopik hidrolik dengan deformasi maksimum 0,8839 mm ditunjukkan pada Gambar 8. Pada ujung silinder teleskopik, jauh dari penyangga tetap, gaya aksial dan lentur bergabung untuk menyebabkan deformasi terbesar. Transfer beban yang efisien di sepanjang struktur ditunjukkan oleh distorsi yang berangsur-angsur berkurang saat silinder mendekati tumpuan tetap.



Gambar 8. Deformasi total silinder teleskopik hidrolik

Komponen-komponen penting dari mesin press hidrolik bergerak ini telah melalui analisis faktor keamanan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Nilai faktor keamanan menentukan ketergantungan setiap komponen dan integritas struktural di bawah beban yang diterapkan. Faktor keamanan mengevaluasi zona penyangga dengan membandingkan tekanan operasional yang diharapkan dengan kekuatan struktural. Gambar 9 menunjukkan hasil studi faktor keamanan silinder teleskopik hidrolik, yang menunjukkan bahwa keandalan struktural tinggi, dengan sebagian besar lokasi memiliki faktor keamanan lebih besar dari 5. Namun demikian, 0,4171 adalah angka terendah yang tercatat, dan itu terjadi di dekat titik pemasangan di mana tegangan hidrolik diterapkan secara langsung.



Gambar 9. Faktor keamanan silinder teleskopik hidrolik

Tabel 2 menguraikan secara rinci parameter kinerja dari silinder teleskopik hidrolik yang dioperasikan dalam dua tahap yang berbeda. Data tersebut mencakup stroke, area, volume, durasi, dan kekuatan yang dihasilkan oleh silinder pada masing-masing tahap. Pada kedua tahap, silinder memiliki stroke yang sama yaitu 353,57 mm, menunjukkan desain yang konsisten untuk ekstensi pada masing-masing tahap dengan total ekstensi gabungan mencapai 707 mm. Hal ini memungkinkan silinder untuk mencapai jangkauan yang lebih luas, berguna dalam berbagai aplikasi industri.

Tabel 2. Hasil perhitungan parameter pada teleskopik hidrolik

Parameter		Satuan
Perkiraan Stroke per Tahap		
Tahap 1 - Perkiraan Stroke	353,57	mm
Tahap 2 - Perkiraan Stroke	353,57	mm
Total - Stroke	707,00	mm
Perluas Area		
Tahap 1 - Perluas Area	15.393,53	mm ²
Tahap 2 - Perluas Area	7.851,60	mm ²
Perkiraan Volume Perpanjangan		
Tahap 1 - Perpanjang Volume	5.441.652,34	mm ³
Tahap 2 - Perpanjang Volume	2.776.460,25	mm ³
Total - Perpanjang Volume	8,218,112,60	mm ³
Perpanjang Waktu		
Tahap 1 - Perpanjang Waktu	5,75	detik
Tahap 2 - Perpanjang Waktu	2,93	detik
Total - Perpanjang Waktu	8,68	detik
Perpanjang Kekuatan		
Tahap 1 - Perpanjang Kekuatan	212.273,58	newton
Tahap 2 - Perpanjang Kekuatan	108.300,85	newton

Area silinder berkurang dari 15.393,53 mm² di Tahap 1 menjadi 7.851,60 mm² di Tahap 2, menandakan penurunan diameter dalam silinder yang merupakan karakteristik dari desain

teleskopik. Volume fluida yang diperlukan untuk ekstensi Tahap 1 adalah 5.441.652,34 mm³, sedangkan untuk Tahap 2 adalah 2.776.460,25 mm³, dengan total volume yang dibutuhkan untuk operasi penuh adalah 8.218.112,60 mm³. Waktu yang diperlukan untuk mengaktifkan Tahap 1 lebih lama dibandingkan dengan Tahap 2, yaitu 5,75 detik dibandingkan dengan 2,93 detik, mencerminkan kebutuhan akan penggerakan volume fluida yang lebih besar di Tahap 1. Kekuatan yang dihasilkan juga berbeda signifikan, dengan Tahap 1 menghasilkan kekuatan 212.273,58 newton dan Tahap 2 sebesar 108.300,85 newton, menunjukkan pengaruh langsung dari perbedaan area lintang pada kekuatan output.

Pembahasan

Dari analisis FEA, ditemukan bahwa silinder teleskopik hidrolik mengalami tegangan maksimum sebesar 599,51 MPa. Tegangan von Mises, yang digunakan sebagai acuan dalam analisis, adalah ukuran tegangan yang menggabungkan semua tegangan normal dan geser untuk memberikan satu nilai tegangan ekuivalen yang dapat digunakan untuk menilai kegagalan akibat lelah atau kelelahan material. Tingginya nilai tegangan ini menunjukkan bahwa area tersebut mungkin merupakan titik lemah yang rentan terhadap kegagalan, terutama jika beroperasi di bawah beban berat atau berulang (Syah, 2023). Pengidentifikasian daerah dengan tekanan tinggi ini memungkinkan insinyur untuk mengambil langkah-langkah pencegahan atau untuk merancang ulang komponen tersebut dengan material yang lebih kuat atau dengan desain yang lebih efisien untuk mengurangi tegangan. Dalam beberapa kasus, pengurangan beban operasional atau penambahan dukungan struktural juga dapat menjadi solusi. Gambar 6, yang menyertai analisis ini, tidak hanya memberikan pandangan yang lebih baik tentang distribusi tegangan tetapi juga membantu dalam memvalidasi desain dan menginformasikan modifikasi yang diperlukan untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi dari mesin press hidrolik portabel.

Dari analisis yang dilakukan, tercatat nilai maksimum regangan sebesar 0,0030939 mm/mm pada bagian tengah silinder. Zona ini menjadi area kritis karena mengalami regangan terbesar, yang menunjukkan bahwa bagian ini mungkin menghadapi beban operasional paling tinggi atau mengalami kelemahan struktural. Hal ini dapat memicu kegagalan material jika tidak dirancang dengan tepat atau jika material yang digunakan tidak memenuhi standar yang dibutuhkan untuk menahan beban tersebut. Sebaliknya, regangan yang sangat rendah yang hampir mendekati nol, sebesar 1,3455e-14 mm/mm, tercatat di bagian ujung silinder. Regangan minimal ini menunjukkan bahwa bagian ini kurang terpengaruh oleh beban mekanis dan oleh karena itu, berada dalam risiko kegagalan yang sangat rendah (K. R. Putra, 2020).

Dalam konteks desain dan keandalan, data ini menyarankan bahwa peningkatan pada desain atau material mungkin diperlukan terutama di bagian tengah silinder untuk mengurangi

kemungkinan kegagalan. Pemilihan material yang memiliki sifat mekanik yang lebih baik untuk menahan beban yang lebih tinggi, seperti baja paduan tinggi atau komposit serat karbon, dapat dipertimbangkan. Studi oleh Michael F. Ashby (Ashby & Cebon, 2005) menyediakan kerangka kerja yang berguna dalam memilih material yang tepat berdasarkan properti mekanis yang diperlukan. Selain itu, teknik desain seperti penerapan fitur geometris yang mengurangi konsentrasi tegangan atau penggunaan teknologi manufaktur canggih seperti pemodelan 3D dapat membantu mendistribusikan beban lebih merata sepanjang silinder. Aplikasi praktis dari FEA dalam optimasi desain silinder hidrolik dalam industri berat (Sahu & Gupta). Penelitian ini menekankan pentingnya analisis terperinci mengenai distribusi regangan untuk meningkatkan kinerja dan keamanan produk.

Menurut hasil yang ditunjukkan, silinder teleskopik hidrolik mengalami deformasi maksimum sebesar 0,8839 mm. Deformasi ini terjadi pada ujung silinder, yang jauh dari penyangga tetap, dimana gaya aksial dan lentur berkombinasi menyebabkan deformasi terbesar. Fenomena ini menunjukkan pentingnya desain yang memperhitungkan distribusi beban dan kekuatan material, terutama di area yang mengalami tekanan lebih tinggi. Deformasi yang berangsur-angsur berkurang saat mendekati tumpuan tetap menunjukkan bahwa desain silinder memungkinkan transfer beban yang efisien, yang krusial untuk mempertahankan integritas struktural keseluruhan mesin. Pemahaman tentang bagaimana beban dipindahkan dan diabsorpsi oleh struktur sangat penting untuk desain mesin yang tidak hanya efektif tetapi juga aman. Artikel (Boye, Adeyemi, & Emagbetere, 2017) ini menguraikan metodologi FEA yang digunakan untuk mempelajari pengaruh beban terhadap deformasi dan kegagalan potensial dalam komponen hidrolik. Selain itu, Robert C. Juvinall dan Kurt M. Marshek (Juvinall & Marshek, 2020), juga memberikan penjelasan mendalam tentang faktor desain yang mempengaruhi bagaimana komponen mesin menanggapi beban operasional. Kedua referensi ini menyediakan dasar teori yang solid untuk mengaplikasikan FEA dalam meningkatkan desain komponen mesin press hidrolik dan memastikan operasi mereka yang aman dan efektif.

Dari hasil yang ditampilkan dalam Gambar 9, dapat dilihat bahwa sebagian besar lokasi pada silinder teleskopik hidrolik memiliki faktor keamanan lebih dari 5, menunjukkan bahwa komponen tersebut memiliki keandalan struktural yang tinggi dan cenderung sangat aman di bawah kondisi operasional normal. Nilai faktor keamanan yang tinggi ini memberikan margin yang besar terhadap kegagalan, yang esensial dalam aplikasi yang melibatkan keamanan atau di mana downtime akibat kegagalan akan sangat merugikan. Namun, ada kekhawatiran tentang nilai faktor keamanan yang sangat rendah, yaitu 0,4171, yang tercatat dekat titik pemasangan di mana tegangan hidrolik diterapkan secara langsung. Nilai ini menunjukkan risiko yang lebih tinggi terhadap kegagalan, karena nilai di bawah 1 menandakan bahwa kekuatan material tidak

cukup untuk menahan beban yang diterapkan (Ahmad Rafii, Herli Sumerli, & Yogaswara, 2024). Hal ini bisa menjadi indikasi bahwa perlu ada peninjauan ulang desain, peningkatan spesifikasi material, atau perubahan dalam metode pemasangan komponen tersebut untuk mengurangi tegangan yang terjadi.

SIMPULAN

Penelitian ini mengembangkan dan meningkatkan desain silinder hidrolik teleskopik untuk meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas operasional mesin press hidrolik mobile. Dengan menggunakan Analisis Elemen Hingga (FEA), studi ini berhasil mengidentifikasi dan mengoptimalkan parameter kritis seperti tegangan, regangan, dan faktor keamanan silinder dalam kondisi operasi yang berbeda. Dengan stroke yang konsisten sepanjang 353,57 mm pada kedua tahap, silinder ini mampu mencapai total ekstensi gabungan sebesar 707 mm, memungkinkan jangkauan operasional yang luas. Area silinder yang berkurang antara dua tahap, dari 15.393,53 mm² menjadi 7.851,60 mm², bersama dengan perbedaan signifikan dalam volume fluida yang diperlukan dan waktu aktivasi, menunjukkan efisiensi yang bervariasi dalam respons terhadap beban kerja yang berbeda. Analisis elemen hingga menunjukkan bahwa silinder teleskopik hidrolik mampu mengatasi tantangan operasional dengan efisien, terutama dalam meningkatkan mobilitas dan adaptabilitas mesin dalam berbagai kondisi kerja. Tegangan maksimum yang terdeteksi pada nilai 599,51 MPa dan regangan maksimum pada 0,0030939 mm/mm terjadi di bagian tengah silinder, menandakan kebutuhan untuk peningkatan material atau modifikasi desain di area ini untuk menghindari kegagalan material. Sementara itu, nilai faktor keamanan yang tinggi di sebagian besar area menunjukkan bahwa desain silinder secara keseluruhan adalah aman dan andal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas pendanaan dari Direktorat Pembinaan Pendidikan Tinggi Vokasi melalui skema Program Matching Fund dengan nomor kontrak T/41.2/UN34.9/PT.01.03/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Rafii, D., Herli Sumerli, C., & Yogaswara, Y. (2024). PENENTUAN ALTERNATIF MATERIAL PADA KOMPONEN UTAMA MEJA HYDRAULIC DENGAN PENDEKATAN MULTI CRITERIA DECISION MAKING PROMETHEE-GAIA PADA ZONA PENGECATAN DI PT. PINDAD (PERSERO).
 Alting, L. (2020). Manufacturing engineering processes: CRC Press.

- Ashby, M. F., & Cebon, D. (2005). Materials selection in mechanical design. *Mrs Bull*, 30(12), 995.
- Awasthi, A., Saxena, K. K., & Arun, V. (2021). Sustainable and smart metal forming manufacturing process. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2069-2079.
- Boye, T., Adeyemi, O., & Emagbetere, E. (2017). Design and finite element analysis of double-acting, double-ends hydraulic cylinder for industrial automation application. *Am. J. Eng. Res*, 6, 131-138.
- Cohen, Y., Faccio, M., Pilati, F., & Yao, X. (2019). Design and management of digital manufacturing and assembly systems in the Industry 4.0 era. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105, 3565-3577.
- Ekaputra, B. (2024). Perancangan Mesin Press Hidrolik Untuk Mengurangi Kadar Air Sampah Domestik (Studi Kasus di PLTSa Bratang-Surabaya).
- Juvinall, R. C., & Marshek, K. M. (2020). *Fundamentals of machine component design*: John Wiley & Sons.
- Khan, T., Broderick, M., & Taylor, C. M. (2021). Investigating the industrial impact of hydraulic oil contamination on tool wear during machining and the development of a novel quantification methodology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112, 589-600.
- Nurlaila, Q., Yuniawati, R. I., Susanti, L., & Cahyati, A. (2023). *Lean Manufacturing*: Penerbit Widina.
- Putra, K. R. (2020). TA: ANALISIS PERFORMA JEMBATAN STANDAR BINA MARGA KELAS A TIPE RANGKA BAJA AUSTRIA MENGGUNAKAN DATA WEIGH IN MOTION (WIM).
- Putra, R. A., & Wahid, A. (2021). Perancangan dan pembuatan prototipe mesin pengepress hidrolik limbah plastik. *Journal Mechanical and Manufacture Technology (JMMT)*, 2(1), 27-34.
- Sahu, K. K., & Gupta, V. K. (2023). Effect of wear rings on buckling load capacity of Two-Stage hydraulic cylinder.
- Siregar, M. N. R. (2024). Implementasi Reliability Centered Maintenance II (RCM II) dalam Penentuan Preventive Maintenance pada Mesin Screw Press (Pressing)(Studi Kasus: PT. PP. London Sumatra Tbk).
- Syah, A. J. P. (2023). PENENTUAN FAKTOR DOMINAN PENYEBAB GANGGUAN SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH UNTUK ANALISA INDEKS KEANDALAN PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK UNIT LAYANAN PELANGGAN (ULP) DAYA= DETERMINATION OF THE DOMINANT FACTORS THAT CAUSE INTERFERENCE TO MEDIUM-VOLTAGE LINES FOR ANALYSIS OF THE RELIABILITY INDEX OF ELECTRICITY SUPPLAY AT CUSTOMER SERVICE UNIT (ULP) DAYA.
- Taufiq, M., Zاتمika, A., & Firdaus, J. (2023). *Teknologi Hidrolik: Dasar, Aplikasi, Dan Inovasi*. Penerbit Tahta Media.
- Tian, X., Guo, X., Stump, P., Dessy, G., Vacca, A., Fiorati, S., & Pintore, F. (2024). New Hydraulic Control Technologies for Improving the Energy Efficiency of the Hydraulic System of Agricultural Tractors and Their Implements. *International Journal of Fluid Power*, 203-224.
- Tjahjanti, P. H., Hermawanto, A., & Firmansyah, S. (2023). Effective and efficient design and manufacture of a plastic waste press machine. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 4(2), 223-230.
- Widyianto, A., Yudianto, A., Sofyan, H., & Gunadi, G. (2023). KARAKTERISASI KUALITAS LASAN PADA BAHAN SERUPA AZ31B DENGAN PROSES MICRO-FRICTION STIR SPOT WELDING (μ FSSW) UNTUK APLIKASI KENDARAAN. *Jurnal Pendidikan Vokasi Otomotif*, 5(2), 101-118.

- Youssef, H. A., El-Hofy, H. A., & Ahmed, M. H. (2023). *Manufacturing technology: materials, processes, and equipment*: Crc Press.
- Zhang, C., Gong, J., & Zhang, Y. (2024). Optimization Design and Experimental Analysis of Spraying Device for High Ground Clearance Plant Protection Machine. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 105(4), 1029-1039.