

Penggunaan Sistem Hidrolik Untuk Meningkatkan Efisiensi Energi dan Performa Operasional

Edy Syahputra*¹, Wisnu Prabudi², Baitul Maqdis³, Ferry Suhada⁴

¹Universitas Al-Azhar; Jl. Pintu Air IV No. 214, Kwala Bekala, Medan, Sumatera Utara, Indonesia,
(+62)(61)-8366679

^{2,3,4}Jurusan Mesin, FTEKNIK AL-AZHAR, Medan
e-mail: *¹ edvsaragih260779@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengkaji penggunaan sistem hidrolik pada peralatan industri untuk meningkatkan efisiensi energi dan performa operasional. Melalui pendekatan *systematic literature review*, studi ini menganalisis berbagai aspek implementasi sistem hidrolik dalam konteks industri modern. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem hidrolik menawarkan keunggulan signifikan dalam hal efisiensi energi, dengan potensi penghematan bahan bakar hingga 40% dan efisiensi pemulihan energi mencapai 53%. Berbagai strategi optimalisasi, termasuk kontrol perpindahan dan implementasi *Cyber-Physical Systems (CPS)*, terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja sistem. Meskipun demikian, tantangan seperti biaya awal yang tinggi dan kebutuhan tenaga kerja terampil masih perlu diatasi. Aspek keberlanjutan juga menjadi fokus, dengan penggunaan fluida hidrolik berbasis bio yang dapat mengurangi jejak karbon hingga 30%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pemahaman mendalam tentang *trade-off* antara manfaat dan tantangan sistem hidrolik sangat penting untuk implementasi yang efektif dan aman dalam berbagai konteks industri. Studi ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pemahaman terkini tentang potensi dan tantangan penggunaan sistem hidrolik dalam meningkatkan efisiensi energi dan performa operasional di sektor industri.

Kata kunci— Sistem hidrolik, Efisiensi Energi, Performa Operasional

Abstract

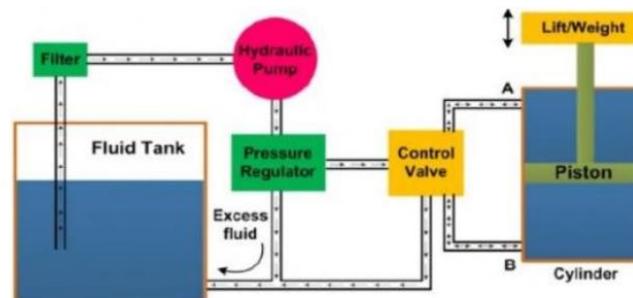
This study examines the use of hydraulic systems in industrial equipment to improve energy efficiency and operational performance. Through a *systematic literature review* approach, this research analyzes various aspects of hydraulic system implementation in the context of modern industry. The results show that hydraulic systems offer significant advantages in terms of energy efficiency, with potential fuel savings of up to 40% and energy recovery efficiency reaching 53%. Various optimization strategies, including displacement control and implementation of *Cyber-Physical Systems (CPS)*, prove effective in enhancing system performance. However, challenges such as high initial costs and the need for skilled labor still need to be addressed. Sustainability aspects are also a focus, with the use of bio-based hydraulic fluids that can reduce the carbon footprint by up to 30%. This study concludes that a deep understanding of the *trade-offs* between the benefits and challenges of hydraulic systems is crucial for effective and safe implementation across various industrial contexts. This research contributes significantly to the current understanding of the potential and challenges of using hydraulic systems to improve energy efficiency and operational performance in the industrial sector.

Keywords— Hydraulic Systems, Energy Efficiency, Operational Performance

1. PENDAHULUAN

Di tengah pesatnya perkembangan teknologi di era kontemporer, sistem hidrolik tetap mempertahankan posisinya sebagai elemen fundamental dalam beragam sektor industri. Teknologi ini menjadi tulang punggung operasional, mulai dari alat berat yang digunakan dalam pembangunan infrastruktur hingga peralatan canggih dalam lini produksi barang konsumen. Keunggulan sistem hidrolik terletak pada kemampuannya menghadirkan kombinasi optimal antara efisiensi operasional, tenaga yang besar, dan tingkat kontrol yang presisi. Karakteristik ini menjadikan teknologi hidrolik sebagai solusi yang tak tergantikan dalam memenuhi tuntutan kompleks industri modern. Meskipun inovasi digital terus bermunculan, sistem hidrolik tetap relevan dan bahkan semakin terintegrasi dengan teknologi baru, membuktikan fleksibilitasnya dalam beradaptasi dengan kebutuhan industri yang terus berevolusi. Penggunaan sistem hidrolik pada berbagai peralatan industri telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi energi sekaligus mengoptimalkan kinerja operasional secara keseluruhan [1].

Sistem hidrolik, yang memanfaatkan prinsip-prinsip mekanika fluida untuk mentransmisikan daya, menawarkan keunggulan signifikan dibandingkan dengan sistem mekanik konvensional. Kemampuannya untuk mentransmisikan daya dengan losses minimal dan fleksibilitas dalam pengaturan tekanan dan aliran fluida memungkinkan optimalisasi penggunaan energi sesuai dengan kebutuhan spesifik setiap aplikasi. Selain itu, kemampuan sistem hidrolik untuk menghasilkan gaya yang besar dengan dimensi yang relatif kompak memberikan fleksibilitas dalam desain dan tata letak peralatan industri [2].



Gambar 1 Skema Sistem Hidrolik

Kontrol presisi yang ditawarkan oleh sistem hidrolik modern juga berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas produksi. Dengan kemampuan untuk mengatur kecepatan, tekanan, dan posisi secara akurat, sistem hidrolik memungkinkan operasi yang lebih halus dan konsisten. Hal ini sangat penting dalam industri-industri yang membutuhkan tingkat akurasi tinggi, seperti manufaktur komponen presisi atau industri pengemasan.

Dalam konteks Industri 4.0, integrasi sistem hidrolik dengan teknologi digital dan sistem otomasi membuka peluang baru untuk optimalisasi proses produksi. Sensor-sensor canggih yang terpasang pada komponen hidrolik dapat memberikan data real-time tentang kinerja sistem, memungkinkan pemantauan kondisi dan perawatan prediktif. Hal ini tidak hanya meningkatkan keandalan sistem, tetapi juga membantu mencegah downtime yang tidak direncanakan dan memperpanjang masa pakai peralatan.

Aspek keselamatan dan fleksibilitas juga menjadi keunggulan sistem hidrolik. Fitur-fitur keselamatan seperti katup pengaman dan sistem redundansi dapat diintegrasikan dengan mudah, meningkatkan tingkat perlindungan bagi operator dan peralatan. Sementara itu, kemampuan sistem hidrolik untuk beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan beban tanpa mengorbankan efisiensi memungkinkan industri untuk lebih responsif terhadap permintaan pasar yang berfluktuasi.

Perkembangan material baru dan fluida hidrolik yang ramah lingkungan juga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kinerja sistem hidrolik. Penggunaan material yang lebih ringan namun kuat memungkinkan desain komponen hidrolik yang lebih efisien dan tahan lama [3]. Sementara itu, fluida berbasis air atau minyak nabati semakin banyak digunakan sebagai alternatif yang lebih aman dan berkelanjutan, mengurangi risiko pencemaran lingkungan dan meningkatkan keamanan operasional[4].

Integrasi sistem hidrolik dengan sumber energi terbarukan dan standarisasi komponen juga menjadi tren yang menjanjikan. Penggunaan energi surya atau angin untuk menggerakkan pompa hidrolik membuka peluang untuk sistem yang lebih berkelanjutan dan mandiri energi [5]. Sementara itu, standarisasi dan modularisasi komponen hidrolik berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi operasional dengan memudahkan proses perawatan dan penggantian, serta meningkatkan fleksibilitas dalam konfigurasi sistem.

Meskipun demikian, implementasi sistem hidrolik yang optimal masih menghadapi beberapa tantangan, seperti biaya awal yang relatif tinggi, kebutuhan akan tenaga kerja terampil, serta kompleksitas dalam desain sistem terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan terus dilakukan untuk mengatasi tantangan-tantangan ini, dengan fokus pada penyederhanaan desain, peningkatan keandalan, dan pengurangan biaya total kepemilikan.

Mengingat potensi dan tantangan yang ada, penelitian lebih lanjut mengenai optimalisasi sistem hidrolik dalam konteks industri modern menjadi sangat penting. Studi ini bertujuan untuk mengeksplorasi secara mendalam bagaimana penggunaan sistem hidrolik pada peralatan industri dapat secara efektif meningkatkan efisiensi energi dan performa operasional. Dengan memahami faktor-faktor kunci yang mempengaruhi kinerja sistem hidrolik dan mengidentifikasi area-area potensial untuk inovasi, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi hidrolik yang lebih efisien, andal, dan berkelanjutan untuk aplikasi industri di masa depan.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* untuk menganalisis dan mensintesis literatur yang ada mengenai penggunaan sistem hidrolik pada peralatan industri, dengan fokus pada peningkatan efisiensi energi dan performa operasional. Pengumpulan data akan dilakukan melalui pencarian komprehensif pada berbagai database akademik seperti Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, dan ScienceDirect, serta database paten seperti Google Patents dan USPTO. Selain itu, literatur abu-abu termasuk laporan teknis, white paper industri, dan prosiding konferensi juga akan dipertimbangkan untuk memberikan perspektif yang lebih luas.

Strategi pencarian akan menggunakan kombinasi kata kunci utama seperti "sistem hidrolik", "efisiensi energi", "performa operasional", dan "peralatan industri", dengan menggunakan operator Boolean untuk mengoptimalkan hasil pencarian. Pencarian akan dilakukan dalam Bahasa Inggris dan Indonesia untuk mencakup literatur yang relevan dari kedua bahasa tersebut. Kriteria inklusi akan mencakup artikel *peer-reviewed*, paten, dan laporan teknis dari tahun 2010 hingga 2024, sementara studi non-empiris, artikel opini, dan literatur dalam bahasa selain Inggris dan Indonesia akan dieksklusi.

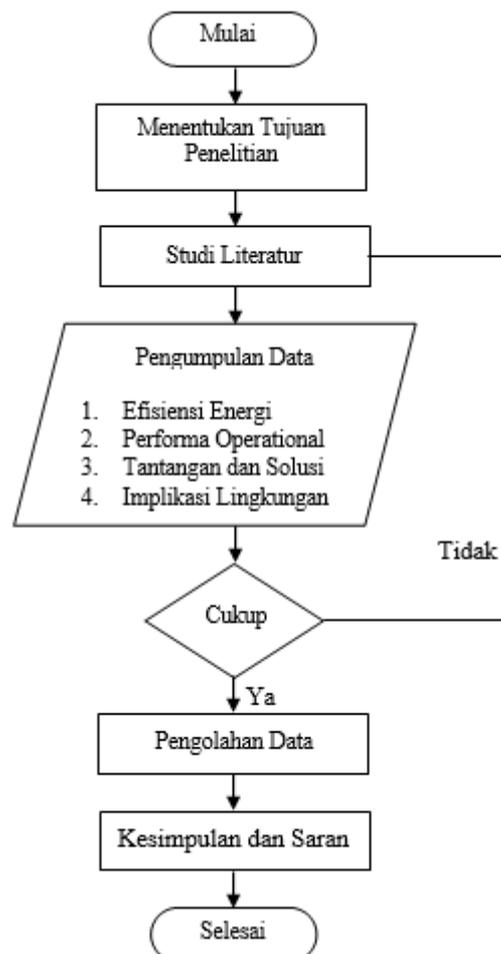
Proses seleksi literatur akan melibatkan *screening* awal dengan meninjau judul dan abstrak untuk relevansi, serta menghilangkan duplikasi menggunakan software manajemen referensi. Artikel yang lolos *screening* awal akan melalui *full-text review* untuk menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi secara lebih ketat. Selanjutnya, metode *snowballing* akan digunakan untuk melakukan *forward* dan *backward citation tracking* pada artikel-artikel kunci.

Ekstraksi data akan dilakukan menggunakan kerangka coding yang dikembangkan khusus untuk mengekstrak informasi relevan dari literatur. Data yang diekstrak akan mencakup karakteristik studi, jenis sistem hidrolik yang dibahas, metrik efisiensi energi dan performa

operasional, temuan utama, rekomendasi, serta konteks industri dan aplikasi. Kualitas metodologi setiap studi akan dinilai menggunakan checklist yang sesuai, seperti CASP untuk studi kualitatif.

Analisis dan sintesis data akan melibatkan analisis tematik untuk mengidentifikasi tema dan pola utama dalam literatur, menggunakan software analisis kualitatif seperti NVivo untuk coding dan analisis. Analisis tren akan dilakukan untuk melihat perkembangan sistem hidrolik dari waktu ke waktu dan mengidentifikasi gap dalam penelitian. Jika memungkinkan, meta-analisis akan dilakukan pada data kuantitatif yang tersedia untuk mengukur efek gabungan dari implementasi sistem hidrolik.

Untuk memastikan validitas penelitian, proses peer debriefing akan melibatkan minimal dua peneliti independen untuk meninjau proses seleksi dan analisis. Jika memungkinkan, ahli industri akan dilibatkan dalam proses member checking untuk memvalidasi interpretasi temuan. Hasil penelitian akan dilaporkan dalam bentuk sintesis naratif dari temuan utama, disertai dengan representasi visual menggunakan grafik, tabel, dan diagram. Diagram PRISMA akan disusun untuk mengilustrasikan proses seleksi literatur secara transparan. Dengan pendekatan systematic literature review ini, diharapkan penelitian dapat memberikan tinjauan komprehensif tentang state-of-the-art penggunaan sistem hidrolik dalam meningkatkan efisiensi energi dan performa operasional di industri, sekaligus mengidentifikasi peluang untuk inovasi dan penelitian lebih lanjut di bidang ini.



Gambar 2 *Flowchart* Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penggunaan Sistem Hidrolik pada Peralatan Industri

Hasil dari penelitian mengenai penggunaan sistem hidrolik dalam industri menunjukkan bahwa teknologi ini menawarkan berbagai keuntungan signifikan untuk meningkatkan efisiensi energi dan performa operasional. Sistem hidrolik memanfaatkan fluida bertekanan untuk menggerakkan komponen, yang menghasilkan daya besar dalam ukuran komponen yang relatif kecil[6]. Teknologi ini efisien dalam mentransmisikan tenaga, mengurangi konsumsi energi, dan meningkatkan akurasi serta stabilitas dalam pengoperasian peralatan industri.

Penggunaan sistem hidrolik sangat fleksibel dan bisa disesuaikan untuk berbagai aplikasi industri, termasuk pengerjaan logam, mesin berat, dan peralatan otomatisasi. Misalnya, dalam industri manufaktur, sistem ini mempermudah proses seperti pengepresan, pemotongan, dan pembentukan material [2]. Selain itu, dalam konteks efisiensi energi, teknologi ini mampu mengurangi kehilangan tenaga mekanis dibandingkan dengan sistem konvensional, yang pada akhirnya meningkatkan performa operasional keseluruhan pabrik.

Pada industri manufaktur sistem hidrolik digunakan dalam proses seperti pengepresan, pemotongan, dan pembentukan material. Misalnya, mesin press hidrolik dapat menghasilkan gaya tekan hingga ribuan ton untuk membentuk logam[7]. Dalam produksi plastik, sistem hidrolik digunakan untuk menggerakkan unit clamping dan injection pada mesin injection molding, memungkinkan pembentukan produk plastik dengan presisi tinggi[8].

Pada konstruksi serta pertambangan excavator dan bulldozer menggunakan sistem hidrolik untuk menggerakkan boom, bucket, dan blade, memungkinkan penggalian dan pemindahan material dengan efisien[9]. Pada crane sistem hidrolik memungkinkan pengangkatan beban berat dengan kontrol yang presisi[10].

Pada industri aerospace sistem kontrol penerbangan pada pesawat modern menggunakan hidrolik untuk menggerakkan flap, aileron, dan rudder, memastikan respons yang cepat dan akurat terhadap input pilot[11].

Pada otomotif sistem rem hidrolik pada kendaraan memanfaatkan tekanan fluida untuk mentransmisikan gaya pengereman dari pedal ke caliper rem[12]. Sementara itu, power steering hidrolik mengintegrasikan pompa sentrifugal yang digerakkan mesin dengan sirkuit hidrolik kompleks, menghasilkan bantuan steering yang responsif dan variabel berdasarkan kecepatan[13]. Kedua sistem ini memanfaatkan sifat non-kompresibilitas fluida dan transmisi tekanan omnidireksional untuk mencapai efisiensi mekanis yang tinggi, meskipun trade-off antara performa dan efisiensi energetik tetap menjadi pertimbangan dalam evolusi desain otomotif kontemporer.

3.2 Efisiensi Energi

Implementasi sistem hidrolik modern telah menunjukkan peningkatan efisiensi energi yang signifikan dibandingkan dengan sistem konvensional. Studi terbaru mengungkapkan beberapa temuan penting terkait efisiensi energi dan penghematan bahan bakar dalam sistem hidrolik industri. Hasil penelitian Mahato & Ghoshal, 2021, menunjukkan bahwa strategi perbaikan proses dapat mencapai efisiensi pemulihan energi maksimum hingga 53%, dengan potensi penghematan bahan bakar yang berkisar antara 20% hingga 40%. Pada sistem ekskavator yang menggunakan kontrol perpindahan, kemampuan penghematan bahan bakar mencapai sekitar 40% ketika diterapkan strategi penghematan energi untuk meningkatkan kinerja peralatan. Dalam konteks Cyber-Physical Systems (CPS), potensi pemulihan energi pengereman maksimum yang dapat dicapai adalah sekitar 78% dari total energi yang terbuang. Sementara itu, strategi pengurangan kehilangan energi menunjukkan potensi penghematan energi maksimum sekitar 56%. Lebih lanjut, implementasi konsep switching lembut terbukti dapat meningkatkan efisiensi hingga 66,1%. Temuan-temuan ini menggambarkan berbagai

pendekatan yang efektif dalam mengoptimalkan penggunaan energi pada sistem hidrolik di berbagai aplikasi industri [14].

Tabel 1 A summary of different energy-saving strategies of a hydraulic system.

Strategies	Sub-strategies		Parameters of energy-saving potensial			
			Energy recovering efficiency	Fuel-saving potential	Braking energy recovery potential	Throttling energy saving
System design	Open and closed loop system		NA	NA	NA	NA
	Central or distributed system		NA	NA	NA	NA
	Displacement controlled hydraulic system		NA	40%	NA	NA
	Load sensing system					
	Common pressure rail (CPR) HST system		NA	NA	32%-66%	NA
	Hydraulic hybrid (HH) system	Parallel hydraulic hybrid (PHH) system	63%	10%-25%	NA	NA
		Series hydraulic hybrid (SHH) system		20%-40%	NA	NA
Electric hybrid (EH) system		53%	NA	NA	NA	
Improving the function of the hydraulic system	Energy recovery, storage and regeneration system		NA	NA	78%	NA
	Individual metering		NA			
	Control algorithm	Electro-hydraulic actuators (EHA) system	NA			
		Digital displacement technology	NA	20%	NA	NA
Reduction of energy losses	Hydraulic system with soft switching concept		NA	NA	NA	56%-66.1%

3.3 Tantangan dan Solusi

Meskipun menunjukkan banyak keunggulan, implementasi sistem hidrolik juga menghadapi beberapa tantangan. Tantangan yang dihadapi dalam penerapan sistem hidrolik termasuk biaya awal yang tinggi dan kebutuhan tenaga kerja yang terampil. Namun, dengan adanya penelitian dan inovasi di bidang material dan fluida hidrolik yang lebih ramah lingkungan, tantangan ini mulai teratasi. Fluida yang lebih efisien dan ramah lingkungan membantu mengurangi dampak lingkungan serta meningkatkan keamanan operasional.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Akbar & Supryatna, 2024 [15], penerapan sistem hidrolik dalam industri menghadapi beberapa tantangan signifikan. Salah satu kendala utama adalah biaya komponen dan peralatan hidrolik yang cenderung mahal. Selain itu, sistem hidrolik umumnya beroperasi pada tekanan fluida yang tinggi, yang dapat menimbulkan risiko keamanan jika tidak dikelola dengan tepat. Tantangan lain yang diidentifikasi adalah potensi kegagalan sistem yang dapat terjadi jika perawatan dan pemeliharaan tidak dilakukan secara memadai. Lebih lanjut, sistem hidrolik memiliki keterbatasan aplikasi di beberapa sektor industri, terutama di industri yang memerlukan tingkat kebersihan tinggi seperti industri

makanan, karena adanya risiko kontaminasi. Akbar menekankan bahwa setiap aspek kekurangan ini perlu dipertimbangkan dengan seksama ketika memilih dan mengimplementasikan sistem hidrolik dalam lingkungan industri. Pemahaman mendalam tentang trade-off antara manfaat dan tantangan sistem hidrolik sangat penting untuk memastikan penggunaannya yang efektif dan aman dalam konteks industri yang spesifik.

Tantangan lainnya seperti sistem hidrolik rentan terhadap kebocoran, yang dapat menyebabkan inefisiensi dan masalah lingkungan. Namun hal ini bisa di atasi dengan penggunaan seal dan material yang lebih tahan lama untuk mengurangi risiko kebocoran [16].

Sistem hidrolik pada mesin injection moulding menghadapi sejumlah tantangan operasional yang signifikan. Permasalahan utama meliputi kontaminasi oli hidrolik, penurunan efektivitas filter oli hingga kerusakan, degradasi seal aktuator yang mengakibatkan kebocoran, keausan bearing motor, akumulasi kotoran pada valve, kebocoran pada jalur distribusi oli hidrolik, serta munculnya anomali akustik dalam sistem[17].

Guna mempertahankan kinerja optimal dan memperpanjang masa pakai komponen, implementasi strategi perawatan preventif dan korektif yang komprehensif menjadi imperatif. Pendekatan proaktif ini mencakup inspeksi rutin, penggantian komponen secara terjadwal, pemantauan kondisi real-time, serta analisis prediktif berbasis data. Dengan mengadopsi paradigma perawatan yang sistematis dan terencana, potensi kegagalan sistem dapat diminimalisir secara substansial, menjamin kontinuitas operasional, dan memaksimalkan efisiensi produksi[18].

Optimalisasi program perawatan tidak hanya berfokus pada aspek mekanis, tetapi juga mempertimbangkan faktor-faktor seperti kualitas oli hidrolik, kondisi lingkungan operasional, dan pola penggunaan mesin[19]. Integrasi teknologi sensor dan sistem monitoring canggih dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang kondisi sistem, memungkinkan intervensi tepat waktu sebelum terjadi kegagalan katastrofik. Pendekatan holistik terhadap perawatan sistem hidrolik tidak hanya menjamin keandalan operasional, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan efisiensi energi dan pengurangan downtime, yang pada akhirnya berdampak positif pada produktivitas dan profitabilitas keseluruhan proses injection moulding[20].

3.3 Implikasi Lingkungan

Aspek lingkungan dari penggunaan sistem hidrolik juga menjadi fokus penelitian terkini. Penggunaan fluida hidrolik berbasis bio dapat mengurangi jejak karbon sistem hingga 30% dibandingkan dengan fluida berbasis minyak mineral. Ini membuka peluang baru untuk pengembangan sistem hidrolik yang lebih ramah lingkungan.

4. KESIMPULAN

Sistem hidrolik telah terbukti memberikan manfaat signifikan dalam industri, terutama dalam hal efisiensi energi, fleksibilitas penggunaan, dan peningkatan performa operasional. Penelitian terkini menunjukkan potensi penghematan energi yang substansial, dengan efisiensi pemulihan energi mencapai 53% dan penghematan bahan bakar hingga 40% pada beberapa aplikasi. Berbagai strategi pengoptimalan energi, seperti kontrol perpindahan pada ekskavator dan implementasi Cyber-Physical Systems (CPS), telah dikembangkan dan menunjukkan hasil yang menjanjikan. Meskipun demikian, penerapan sistem hidrolik juga menghadapi tantangan, termasuk biaya awal yang tinggi, kebutuhan tenaga kerja terampil, dan potensi risiko keamanan terkait tekanan fluida yang tinggi. Untuk mengatasi hal ini, upaya pengembangan terus dilakukan, terutama dalam penelitian material dan fluida hidrolik yang lebih ramah lingkungan. Aspek keberlanjutan juga menjadi fokus, dengan studi menunjukkan bahwa penggunaan fluida hidrolik berbasis bio dapat mengurangi jejak karbon sistem hingga 30% dibandingkan dengan fluida konvensional. Pemahaman mendalam tentang keseimbangan antara manfaat dan

tantangan sistem hidrolik sangat penting untuk memastikan implementasi yang efektif dan aman dalam berbagai konteks industri.

5. SARAN

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan studi kasus spesifik pada berbagai sektor industri guna mengukur dampak nyata dari implementasi sistem hidrolik terhadap efisiensi energi dan performa operasional. Selain itu, pengembangan model prediktif untuk optimalisasi sistem hidrolik berdasarkan data operasional real-time dapat menjadi area penelitian yang menjanjikan. Penelitian lebih lanjut juga diperlukan untuk mengeksplorasi integrasi sistem hidrolik dengan teknologi energi terbarukan dan untuk mengembangkan solusi inovatif dalam mengatasi tantangan biaya dan keahlian yang dibutuhkan dalam implementasi sistem hidrolik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Al-Azhar atas dukungan fasilitas penelitian yang telah disediakan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para reviewer anonim yang telah memberikan masukan berharga untuk meningkatkan kualitas penelitian ini. Tidak lupa, penulis juga berterima kasih kepada rekan-rekan di Jurusan Mesin, FTEKNIK AL-AZHAR, Medan atas diskusi dan pertukaran ide yang membantu memperkaya perspektif dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Taufiq, A. Zاتمika, dan J. Firdaus, "Teknologi Hidrolik: Dasar, Aplikasi, Dan Inovasi," *Penerbit Tahta Media*, 2023, Diakses: 22 September 2024. [Daring]. Tersedia pada: <http://tahtamedia.co.id/index.php/issj/article/view/419>
- [2] H. U. Syarif *dkk.*, *Sistem Hidrolik*. CV. Gita Lentera, 2024. Diakses: 22 September 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://books.google.com/books?hl=id&lr=&id=wMUWEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Penggunaan+sistem+hidrolik+sangat+fleksibel+dan+bisa+disesuaikan+untuk+berbagai+aplikasi+industri,+termasuk+pengerjaan+logam,+mesin+berat,+dan+peralatan+otomatisasi.+&ots=xqUrwMyEQd&sig=Cy-armdcrL9FOxUcuVp6JNYlhJY>
- [3] Z. Fuadi dan D. Rahmadiawan, *Tribologi Pelumasan: Pelumas Terbarukan*. Syiah Kuala University Press, 2023. Diakses: 22 September 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://books.google.com/books?hl=id&lr=&id=-4TOEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Perkembangan+material+baru+dan+fluida+hidrolik+yang+ramah+lingkungan+juga+memberikan+kontribusi+signifikan+terhadap+peningkatan+kinerja+sistem+hidrolik.+Penggunaan+material+yang+lebih+ringan+namun+kuat+memungkinkan+desain+komponen+hidrolik+yang+lebih+efisien+dan+tahan+lama&ots=CRrNvSRJnr&sig=N5JcLYE5S6_TJFateVDkuDzZFpI
- [4] Z. Arifin *dkk.*, *GREEN TECHNOLOGY: Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan Berbagai Bidang*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023. Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://books.google.com/books?hl=id&lr=&id=ncS7EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA56&dq=,+fluida+berbasis+air+atau+minyak+nabati+semakin+banyak+digunakan+sebagai+alternatif+yang+lebih+aman+dan+berkelanjutan,+mengurangi+risiko+pencemaran+lingkungan+dan+meningkatkan+keamanan+operasional&ots=pMqmn1ExTp&sig=8XREOdXgKDZT6d_lh3OZrhBDofg

- [5] C. R. Handoko, "Studi Peningkatan Daya Turbin pada Sistem Konversi Energi Arus Laut Berbasis TSR Dibantu Motor Listrik," 2024, Diakses: 22 September 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.its.ac.id/113559/1/Disertasi%20Catur%20edited%20FINAL.pdf>
- [6] W. T. Bhirawa, "Sistem Hidrolik Pada Mesin Industri," *Jurnal Teknologi Industri*, vol. 6, 2021, Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://journal.universitassuryadarma.ac.id/index.php/jti/article/view/756>
- [7] S. E. Nurul Hidayat *dkk.*, *Eksplorasi Proses Manufaktur Untuk Masa Depan Teknologi Dan Produksi*. Cendikia Mulia Mandiri, 2024. Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://books.google.com/books?hl=id&lr=&id=ZvYWEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Pada+industri+manufaktur+sistem+hidrolik+digunakan+dalam+proses+seperti+pengepresan,+pemotongan,+dan+pembentukan+material.+&ots=rxL33M2Gi&sig=10ZH8ksxiHXTBtOq2YMleCQ7Who>
- [8] D. Joshua, "Perancangan Mesin Plastic Injection Molding Vertical Menggunakan Sistem Pneumatik dengan Volume Cetakan 300 Cm³," 2024, Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/23812>
- [9] P. Yonas, "Kajian Peralatan Berat Pada Proyek Konstruksi", Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.unkris.ac.id/id/eprint/1947/1/Buku%20Referensi%20%28Tahun%20Akademik%202022%29.pdf>
- [10] I. W. Aprilia, A. E. Kristiyono, T. Pribadi, S. Sonhaji, dan W. M. Sandi, "Prototype Pendeteksi Beban Berlebih Untuk Keamanan Operasi Hydraulic Crane Di Kapal Penumpang," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, vol. 3, no. 3, hlm. 15–31, 2024.
- [11] M. H. Rajabi, "Rancang Bangun Miniatur Reservoir Sistem Hidrolik Pada Pesawat DC-9 Sebagai Media Pembelajaran (Pembuatan)," PhD Thesis, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2021. Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <http://eprints.polsri.ac.id/11286/>
- [12] K. D. W. Samoedra, "Simulasi Keseimbangan Distribusi Tekanan Hidrolik Sistem Pengereman Kereta Api Tiga gerbong," PhD Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2021. Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://repository.its.ac.id/88915/1/02111740000112-Undergraduate_Thesis.pdf
- [13] N. A. Handoyono dan S. Purnomo, "Teknologi Chasis Otomotif," 2023, Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://osf.io/preprints/edarxiv/dj93a/>
- [14] A. C. Mahato dan S. K. Ghoshal, "Energy-saving strategies on power hydraulic system: An overview," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, vol. 235, no. 2, hlm. 147–169, Feb 2021, doi: 10.1177/0959651820931627.
- [15] M. Akbar dan D. Supryatna, "Studi Literature Sistem Hidrolik Pada Mesin Industri," *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 12, hlm. 21–30, 2024.
- [16] M. Zakir, "Optimalisasi Perawatan Intercooler Untuk Menunjang Kinerja Mesin Induk Di Km Fajar Bahari 3," 2023, Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <http://103.187.215.46/bitstream/handle/123456789/3605/Zakir%20Muhammad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [17] G. M. A. Sari dan R. Firdaus, "Transforming Industry Through Hydraulic Solutions, Enhancing Productivity," *Procedia of Engineering and Life Science*, vol. 7, hlm. 563–570, 2024.
- [18] S. Noermala Atika, "Perancangan Sistem Perawatan Berdasarkan Kondisi Pada Mesin Perkakas Bubut Bemato di Laboratorium Mekanik Polman Babel," PhD Thesis, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, 2022. Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <http://repository.polman-babel.ac.id/id/eprint/585/1/SKRIPSI%20NOERMALA%20BENAR.pdf>
-

-
- [19]W. Gunawan, “Upaya Mempertahankan Kinerja Mesin Towing Winch Hidrolik Dalam Menunjang Kelancaran Operasional Di Asd Tug Maju Loyalty,” 2024, Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <http://simdokumentasi.stipjakarta.ac.id/bitstream/handle/123456789/4524/Wahyu%20Gunawan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [20]W. N. S. Alamsyah, “Revolusi Ketenagalistrikan: Mengintegrasikan Teknologi Untuk Efisiensi Energi,” *WriteBox*, vol. 1, no. 3, 2024, Diakses: 12 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://writebox.cloud/index.php/wb/article/view/168>
-