

Analisis Performa Motor Wiper Dalam Menggerakkan Tuas Pengangkat Forklift *Handstacker*

Zakky Mizanulfikri Ash Sodiq¹, Dian Retno Sawitri²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang

¹zakkymizan1@gmail.com, ²drsawitri@dsn.dinus.ac.id

Article Info

Keyword:

Forklift

Handstacker

Motor Wiper

Mekanisme slider-crank

Otomasi Pengangkatan

Hidrolik

Copyright © 2025 -SNTE
All rights reserved

ABSTRACT (11 PT)

Abstrak— *Handstacker* umumnya dioperasikan dengan memompa tuas hidrolik secara manual, sehingga performa angkat dipengaruhi tempo dan kondisi operator. Penelitian ini mengusulkan otomasi penekanan tuas menggunakan motor wiper yang digabungkan dengan mekanisme *slider-crank*, dengan tujuan meningkatkan konsistensi waktu angkat dan menurunkan beban ergonomi. Prototipe direalisasi pada *handstacker* hidrolik komersial dan dievaluasi melalui pengukuran durasi pengangkatan untuk selisih ketinggian yang sama (Δh) pada tiga skenario beban (0, 50, 100 kg) dan dua level tegangan (12 V, 24 V). Hasil menunjukkan operasi 24 V mempersingkat waktu angkat sekitar 3,0–3,4 kali dibanding 12 V pada seluruh skenario. Dibanding metode manual, sistem bermotor wiper belum lebih cepat pada beban ringan ketika kondisi operator masih segar, tetapi unggul pada beban 100 kg dan cenderung menyamai atau melampaui manual pada 50 kg dalam konteks kerja sehari-hari akibat penurunan frekuensi ayunan tuas pompa hidrolik. Integrasi *slider-crank* menyederhanakan antarmuka kendali dan memungkinkan operator dialihkan ke tugas yang lain. Rancangan menunjukkan potensi pemakaian motor wiper untuk meningkatkan ergonomi pengoperasian *handstacker*.

Corresponding Author:

Zakky Mizanulfikri Ash Sodiq,

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang,

Jln Imam Bonjol No.207, Pedirikan Kidul, Kec. Semarang Tengah, Kota Semarang, Jawa Tengah, 50131

Email: zakkymizan1@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Forklift merupakan kendaraan industri dengan platform bercabang yang digerakkan tenaga untuk menaikkan dan menurunkan beban, sehingga memudahkan proses pengangkutan dan pemindahan material [1]. Forklift digunakan secara luas di berbagai lokasi seperti bandara, pelabuhan, dan lingkungan industri. Ada perancangannya, unit penggerak dapat berupa bensin, diesel, gas, atau listrik, sedangkan sistem pengangkatan umumnya memanfaatkan teknologi hidrolik dan kelistrikan [2].

Penggunaan forklift mencakup lingkungan dalam dan luar ruangan. Forklift medan kasar menggunakan bahan bakar gas atau diesel dan ditujukan untuk operasi luar ruangan. Sebaliknya, forklift listrik yang mengandalkan baterai lebih sesuai untuk penggunaan di dalam ruangan karena tidak menghasilkan emisi berbahaya dan relatif senyap, sehingga ideal untuk aplikasi pergudangan [3]. Secara umum, adopsi forklift

berkontribusi pada peningkatan efisiensi dan keselamatan kerja melalui pengurangan ketergantungan pada tenaga manusia [4].

Pada segmen material handling berkapasitas kecil–menengah, jenis forklift *handstacker* banyak digunakan karena konstruksinya sederhana, biaya terjangkau, dan mudah dirawat. *Handstacker* mengandalkan dongkrak hidrolis yang dioperasikan secara manual melalui tuas, prinsip kerjanya mengikuti Hukum Pascal, tekanan fluida dalam ruang tertutup diteruskan merata sehingga beban terangkat ketika tuas dipompa [5]. Ketergantungan pada penggerak tuas manual ini membuat waktu siklus pemindahan material bergantung pada kondisi operator (kelelahan, konsistensi tempo), yang pada dapat memengaruhi estimasi dan percepatan waktu perpindahan serta menimbulkan risiko ergonomi dan keselamatan di lapangan [6], [7], [8].

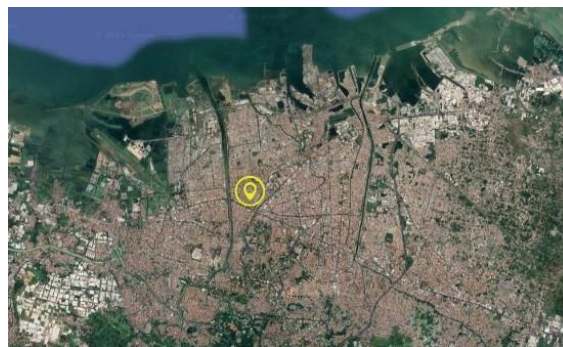
Otomasi tuas diupayakan untuk mengurangi kebutuhan tenaga manual dan meningkatkan laju perpindahan material. Salah satu pendekatan ialah menambahkan aktuator berupa motor pada mekanisme penggerak tuas tanpa mengubah fungsi utama forklift, sebagaimana ditunjukkan pada modifikasi *handstacker* dengan penambahan motor dan sistem mekanis otomatis. Konversi gerak rotasi-ke-linear melalui mekanisme *slider-crank* digunakan sebagai dasar rancangan penggerak tuas.

Secara ringkas, kontribusi makalah ini adalah: (1) perancangan dan integrasi mekanisme *slider-crank* pada tuas pengangkat *handstacker* yang digerakkan motor wiper, (2) realisasi prototipe dan demonstrasi fungsional, serta (3) evaluasi eksperimental melalui pengukuran waktu pengangkatan dan parameter kerja motor pada variasi tegangan.

II. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di fasilitas PT Dian Nuswantoro Rekayasa Teknologi (DIRECT) pada Januari–Agustus 2024, menggunakan forklift tipe *handstacker* hidrolis sebagai objek uji pada alur produksi *paving block* berbahan campuran plastik.



Gbr. 1 Lokasi PT Dian Nuswantoro Rekayasa Teknologi

B. Perancangan dan Modifikasi

Perancangan dimulai dengan studi observasi lapangan dan time–motion study di area kerja untuk memetakan skenario pemindahan material berkapasitas kecil–menengah. Observasi ini mencakup bagaimana forklift dioperasikan, termasuk mekanisme pengangkatan, pengukuran dimensi fisik forklift, seperti tinggi, lebar, panjang, dan kapasitas angkatnya. Setelah itu, dibuat model 3D dari forklift menggunakan perangkat lunak desain komputer untuk menganalisis strukturnya secara mendetail, yang membantu dalam menentukan penambahan rangka dan model desain yang diperlukan untuk memodifikasi forklift *handstacker* dengan kebutuhan operasional.



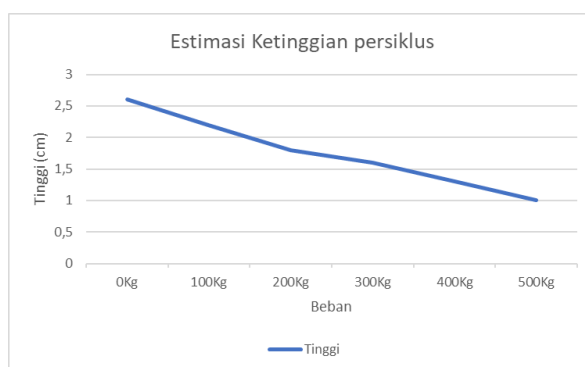
Gbr. 2 Forklift *Handstacker*

C. Prinsip Kerja *Handstacker*

Prinsip dasar *handstacker* ini adalah mengubah gaya kecil yang diberikan operator menjadi gaya angkat yang lebih besar melalui sistem tuas dan pompa hidrolik [9].

Ketika tuas pompa ditekan oleh operator, fluida hidrolik di dalam silinder akan tertekan sehingga menghasilkan tekanan yang diteruskan ke piston utama. Tekanan hidrolik tersebut mendorong piston bergerak ke atas, sehingga rangka garpu (fork) ikut terangkat dan mampu mengangkat beban [10]. Mekanisme ini mengikuti hukum Pascal, yaitu bahwa tekanan pada fluida dalam ruang tertutup akan diteruskan sama besar ke segala arah [5]. Dengan demikian, gaya kecil dari operator dapat dikalikan sehingga menghasilkan gaya angkat yang cukup besar.

Berdasarkan observasi yang dilakukan, diperoleh hasil pengukuran ketinggian garpu (*forklift arm*) pada setiap satu kali siklus pompa, baik dalam kondisi tanpa beban maupun dengan beban tertentu. Hasil pengukuran tersebut ditampilkan dalam grafik berikut



Gbr. 3 Estimasi Ketinggian persiklus

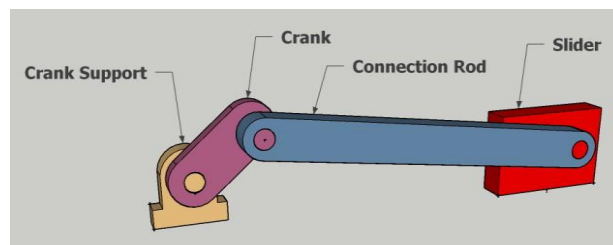
Pada gambar 3 menunjukkan hubungan antara beban yang diangkat dengan kenaikan ketinggian garpu *handstacker* per satu siklus pompa. Terlihat bahwa semakin besar beban yang diberikan, kenaikan ketinggian per siklus semakin menurun. Pada kondisi tanpa beban (0 kg), ketinggian yang dicapai mencapai sekitar 2,6 cm, namun saat beban bertambah hingga 500 kg, kenaikan ketinggian hanya sekitar 1 cm per siklus. Hal ini mengindikasikan bahwa efektivitas kerja sistem hidrolik berkurang seiring meningkatnya beban, karena sebagian energi dari pompa digunakan untuk menahan beban sehingga perpindahan fluida yang mendorong piston berkurang.

Dalam melakukan observasi tersebut, tidak banyak *handstacker* dapat bekerja secara optimal. Salah satu kekurangan yang ditemukan adalah ketika penekanan tuas pompa hidrolik dilakukan dengan kecepatan yang lambat atau tidak konsisten, maka dapat terjadi pembalikan sebagian fluida hidrolik melalui katup pengaman. Kondisi ini menyebabkan terjadinya penurunan ketinggian garpu meskipun piston sedang bergerak naik. Dengan demikian, efisiensi pengangkatan berkurang dan beban tidak terangkat yang membuat operator bekerja kelelahan.

Untuk mencegah pembalikan fluida (*backflow*) pada saat pengangkatan, sistem mengandalkan integritas seal hidrolik dan kestabilan putaran motor. Kebocoran internal di piston/rod seal, O-ring, atau seat katup dapat menurunkan tekanan di sisi silinder dan memicu aliran balik. Di sisi penggerak, menggunakan motor dengan putaran stabil, agar debit pompa per satu siklus menjadi rata, fluktuasi tekanan berkurang, dan gaya balik yang mendorong fluida kembali ke *reservoir* dapat diminimalkan. Kombinasi perbaikan seal dan kestabilan putaran motor ini menjaga tekanan kerja tetap berada di atas ambang katup penahan, sehingga beban tidak turun selama proses angkat maupun saat berhenti.

D. Desain slider-crank

Berdasarkan prinsip kerja forklift *handstacker* dan observasi lapangan, penambahan mekanik dengan desain *slider-crank* dapat diterapkan untuk menghubungkan motor wiper dengan tuas pengangkat pada forklift. Desain *slider-crank* memungkinkan konversi gerakan rotasi motor wiper menjadi gerakan linear yang dibutuhkan untuk mengoperasikan tuas hidrolik. Dengan menggunakan sistem ini, motor wiper dapat menggantikan peran operator manual dalam menekan tuas, sehingga pengoperasian forklift menjadi lebih efisien dan meminimalkan kebutuhan akan tenaga manusia.



Gbr. 4 Slider-crank

Slider-crank adalah mekanisme yang terdiri dari beberapa komponen utama: crank (poros engkol), slider (penggeser), dan batang penghubung [11]. Mekanisme ini bekerja dengan prinsip bahwa gerakan rotasi crank diubah menjadi gerakan linear pada slider [12]. Perumusan dan desain dari mekanisme ini disesuaikan dengan artikel [11] [13] [14], yang memberikan pedoman teknis dalam menentukan dimensi dan kekuatan material yang digunakan, serta analisis dinamika.

Berdasarkan observasi di unit hand stacker, satu kali penekanan tuas pompa memerlukan perpindahan linear sekitar 12 cm dari posisi awal (default) menuju posisi bawah. Karena itu, jarak geser (stroke efektif) slider ditetapkan $S \approx 12$ cm. Pada mekanisme slider-crank, hubungan posisi slider terhadap sudut poros adalah:

$$X(\theta) = r \cos \theta + \sqrt{L^2 + (r \sin \theta)^2}$$

dengan r jari-jari crank, L panjang batang penghubung, dan θ sudut poros.

Untuk konfigurasi garis lurus yang segaris dengan sumbu poros, stroke teoritis

$$S = X_{max} - X_{min} = 2r$$

sehingga untuk target $S \approx 12$ cm dipilih $r \approx 6$ cm.

Selanjutnya dilakukan simulasi kinematika untuk mengeksplorasi kombinasi r dan L yang paling sesuai dengan batas ruang pemasangan, posisi titik engsel pada tuas pompa, dan kebutuhan kelancaran gerak.

E. Spesifikasi Motor Wiper

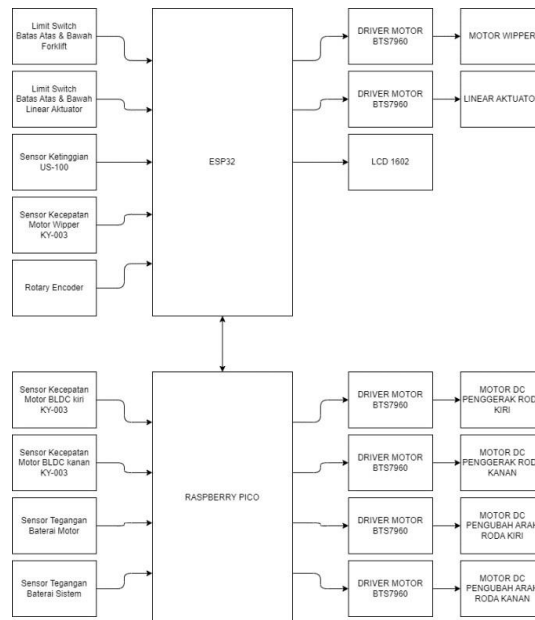
Dengan menggunakan motor wiper dengan spesifikasi berikut:

Tabel 1 Spesifikasi Motor Wiper

Tegangan operasi	12V ~ 24V
Arus	1A
Kecepatan	60 rpm pada 12V
Torsi	3 N.m pada 12V

F. Sistem Kontroller Forklift

Dalam sistem kontroller forklift, digunakan mikrokontroler ESP32 dan Raspberry Pi Pico. Masing-masing mikrokontroler memiliki fungsi pengendalian yang berbeda. ESP32 bertanggung jawab untuk mengendalikan ketinggian forklift, menampilkan informasi pada layar, dan menerima perintah dari remot kendali. Sementara itu, Raspberry Pico mengendalikan pergerakan empat motor. Kedua mikrokontroler ini saling berkomunikasi menggunakan koneksi serial untuk memaksimalkan kinerja sistem secara keseluruhan.

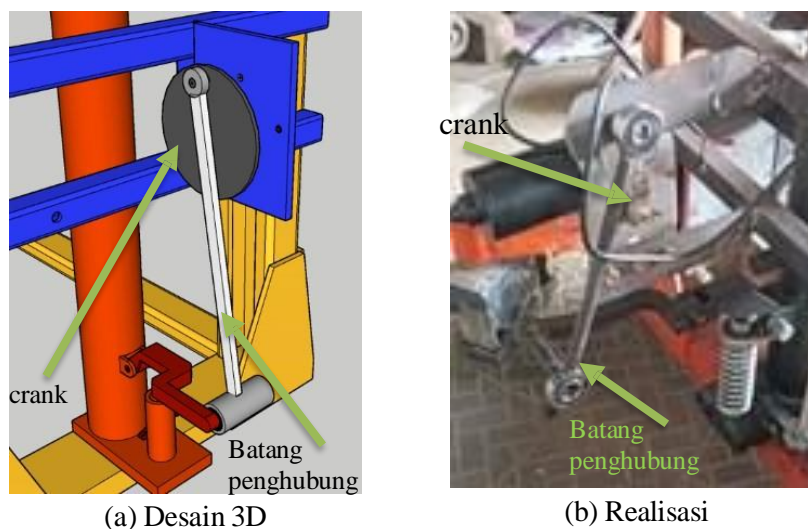


Gbr. 5 Sistem Kontroller Forklift *Handstacker*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Desain

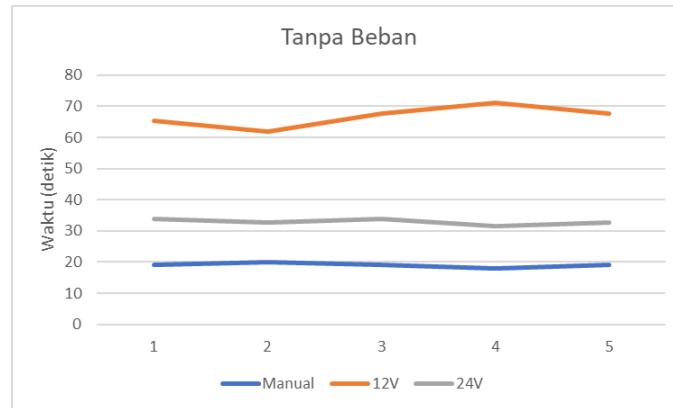
Dalam hasil realisasi yang dibuat, forklift *handstacker* akan ditingkatkan fungsinya dengan penambahan desain *slider-crank* yang terhubung pada motor wiper dan tuas pengangkat forklift. Dengan dimensi jari-jari crank sebesar 6cm, batang penghubung sebesar 40cm, dan slider berupa tuas pengangkat pada forklift *handstacker*.



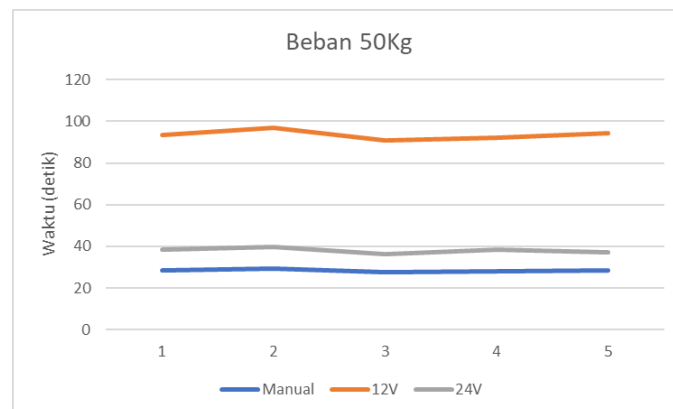
Gbr. 6 Hasil Desain Tuas Forklift

B. Pengujian

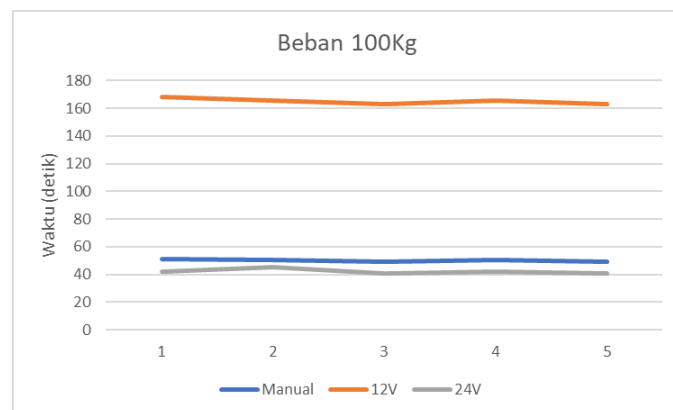
Pengujian dilakukan dengan membandingkan kinerja pengangkatan *handstacker* bermotor pada dua kondisi suplai tegangan, 12 V dan 24 V, menggunakan tiga skenario beban: tanpa beban, 50 kg, dan 100 kg. Parameter yang diamati adalah durasi waktu pengangkatan forklift saat mencapai ketinggian 30cm sebanyak 5 kali pengulangan, yang divisualisasikan pada Gambar 6–8.



Gbr. 7 Estimasi waktu saat tanpa beban



Gbr. 8 Estimasi waktu dengan beban 50Kg



Gbr. 9 Estimasi waktu dengan beban 100Kg

Hasil menunjukkan bahwa pada seluruh skenario, suplai tegangan 24 V menghasilkan durasi operasi lebih cepat dibanding 12 V, dengan selisih sekitar 3,0–3,4 kali. Dibandingkan pengoperasian manual, motor wiper belum lebih cepat pada tanpa beban dan 50 kg, tetapi lebih unggul pada 100 kg. Temuan ini selaras dengan

peningkatan suplai daya yang menaikkan kemampuan kerja motor, sehingga laju siklus pompa bertambah pada tegangan lebih tinggi.

C. Analisis

Pada *handstacker* yang dimodifikasi, penggerak tuas pompa hidrolik dikonversi dari gerak rotasi motor wiper menjadi gerak linear melalui mekanisme *slider-crank* (panjang crank ± 6 cm dan batang penghubung ± 40 cm). Dengan rancangan tersebut, performa dinilai dari durasi pengangkatan pada tiga kondisi beban (tanpa beban, 50 kg, dan 100 kg) serta dua level suplai (12 V dan 24 V). Di sisi lain, karakteristik sistem hidrolik *handstacker* yang diuji menampakkan penurunan kenaikan tinggi per siklus saat beban membesar, sehingga kebutuhan torsi dan debit per satuan waktu meningkat untuk mempertahankan laju elevasi.

Hasil pengujian mengonfirmasi bahwa operasi pada 24 V mempercepat waktu pengangkatan dibanding 12 V dengan selisih sekitar 3,0–3,4 kali. Secara mekanistik, kenaikan tegangan menaikkan kecepatan putar motor dan energi per siklus yang ditransmisikan ke tuas, sehingga frekuensi tuas pompa hidrolik bertambah dan rugi-rugi aliran relatif berkurang. Namun, keuntungan ini tidak linier tanpa batas karena dibatasi oleh kemampuan arus, rugi mekanik pada engsel/slider, serta kompresibilitas fluida di sistem hidrolik. Pada tegangan lebih rendah (12 V), kombinasi torsi dan kecepatan yang terbatas membuat laju elevasi berpengaruh terhadap kenaikan beban.

Dibandingkan metode manual, sistem bermotor belum melampaui durasi pengangkatan pada kondisi tanpa beban dan beban 50 kg. Ketika operator masih dalam keadaan segar, frekuensi ayunan pompa manual masih dapat dijaga. Namun dalam praktik kerja seharian, frekuensi ayunan tuas manual akan menurun akibat kelelahan, sehingga durasi waktu pengangkatan pada beban 50 kg akan cenderung lebih banyak dan mendekati durasi sistem bermotor wiper. Pada 100 kg, motor wiper tetap unggul berkat frekuensi penekanan yang stabil dan peluang aliran balik yang lebih kecil saat tempo terjaga. Integrasi mekanik *slider-crank* mengotomasi penekanan tuas, membuat operator tidak perlu lagi memompa hidrolik dan dapat dialihkan ke pekerjaan lain (penataan palet, persiapan beban, inspeksi keselamatan).

IV. KESIMPULAN

Integrasi motor wiper dengan mekanisme *slider-crank* terbukti fungsional dan kompatibel dengan sistem hidrolik *handstacker* tanpa mengubah prinsip kerja dasarnya. Solusi ini mengotomasi penekanan tuas sehingga proses pengangkatan dapat berlangsung lebih konsisten dan dapat diintegrasikan dengan antarmuka kendali yang sederhana.

Pada rentang beban uji 0–100 kg, suplai 24 V secara konsisten mempersingkat durasi pengangkatan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tegangan memberikan manfaat kinerja yang nyata pada konfigurasi penggerak yang digunakan.

Dibandingkan metode manual, sistem bermotor unggul pada beban 100 kg, sementara pada 50 kg durasi cenderung mendekati manual bila memperhitungkan faktor kelelahan operator sepanjang hari. Pada 0 kg, manual masih lebih cepat saat operator dalam kondisi segar. Selain kinerja waktu, otomasi penekanan tuas menurunkan beban ergonomi dan memungkinkan alokasi ulang waktu operator ke tugas bernilai tambah seperti penataan palet, persiapan beban, dan inspeksi keselamatan.

V. SARAN

Untuk saran penelitian selanjutnya, dengan menggunakan aktuator dengan motor DC berputaran lebih tinggi daripada motor wiper yang digunakan saat ini, sehingga frekuensi ayunan tuas pompa meningkat, waktu pengangkatan berkurang, dan mempercepat naik beban lebih dari 200kg. Selain itu, terapkan kontrol adaptif berbasis pengaturan frekuensi/kecepatan putaran motor agar tempo tetap stabil pada variasi beban ataupun tegangan. Kontrol adaptif ini sebaiknya dilengkapi sensor umpan balik seperti sensor arus motor (indikator

beban) dan sensor beban/tekanan untuk menjaga konsistensi performa, serta memberi dasar pemantauan keselamatan dan diagnosis dini.

REFERENSI

- [1] R. J. Sarmah, S. Ghorai, S. Mukharjee, and R. Borah, "ADVANCEMENTS IN FORKLIFT TECHNOLOGY: ENHANCING INDUSTRIAL EFFICIENCY AND SAFETY THROUGH DIVERSE MATERIALS APPLICATIONS," vol. 12, no. 6, 2024.
- [2] Pramit S Jain and Rizvi College of Engineering, "3 Wheel Forklift for Industrial Purposes," *Int. J. Eng. Res.*, vol. V9, no. 06, p. IJERTV9IS060960, July 2020, doi: 10.17577/IJERTV9IS060960.
- [3] P. Zajac and T. Rozic, "Energy consumption of forklift versus standards, effects of their use and expectations," *Energy*, vol. 239, p. 122187, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2021.122187.
- [4] A. Ziółkowski, P. Fuć, A. Jagielski, and M. Bednarek, "Analysis of emissions and fuel consumption from forklifts by location of operation," *Combust. Engines*, vol. 189, no. 2, pp. 30–35, Apr. 2022, doi: 10.19206/CE-141741.
- [5] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, *Fluid mechanics: fundamentals and applications*. in McGraw-Hill series in mechanical engineering. Boston, Mass.: McGraw-Hill Higher Education, 2006.
- [6] Y. Kang, F. Liu, W. Chen, X. Li, Y. Tao, and W. Huang, "Recognizing situation awareness of forklift operators based on eye-movement & EEG features," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 100, p. 103552, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.ergon.2024.103552.
- [7] N. Yu, L. Hong, and J. Guo, "Analysis of upper-limb muscle fatigue in the process of rotary handling," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 83, p. 103109, May 2021, doi: 10.1016/j.ergon.2021.103109.
- [8] S. A. Lavender, C. M. Sommerich, and A. Kachlan, "Identifying ergonomics practices currently used by grocery distribution centers," *Appl. Ergon.*, vol. 125, p. 104440, May 2025, doi: 10.1016/j.apergo.2024.104440.
- [9] A. D. M. Wahrhaftig, C. M. Menezes, R. O. D. S. Conceição, I. G. D. Oliveira, and O. Ozdemir, "Assessment of a hydraulic bottle jack as an effective device for controlling vibration and mitigating the effects of earthquakes," *J. Low Freq. Noise Vib. Act. Control*, vol. 43, no. 1, pp. 543–559, Mar. 2024, doi: 10.1177/14613484231198969.
- [10] B. Yang, J. Yuan, M. Chen, and F. Yu, "A Novel Hand Pallet Truck and Multi-objective Optimization Design of It's Lifting Mechanism," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 816, no. 1, p. 012014, Mar. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/816/1/012014.
- [11] N. Catalin Silviu, "Perspectives on advanced and basic engineering technologies," *Sci. Bull. Nav. Acad.*, vol. XXIV, no. 1, pp. 83–87, July 2021, doi: 10.21279/1454-864X-21-II-009.
- [12] J. A. Flores-Campos, A. Perrusquia, L. H. Hernandez-Gomez, N. Gonzalez, and A. Armenta-Molina, "Constant Speed Control of Slider-Crank Mechanisms: A Joint-Task Space Hybrid Control Approach," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 65676–65687, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3073364.
- [13] A. Hernández, A. Muñozerro, M. Urizar, and E. Amezua, "Hybrid Optimization Based Mathematical Procedure for Dimensional Synthesis of Slider-Crank Linkage," *Mathematics*, vol. 9, no. 13, p. 1581, July 2021, doi: 10.3390/math9131581.
- [14] A. P. Okediji, I. O. Alabi, O. I. Alonge, O. A. Oloruntoba, and O. I. Joseph, "Development of A Solar-Powered Slider-Crank Mechanism for Hand Pump in Rural Areas," *Int. J. Adv. Eng. Manag. Sci.*, vol. 9, no. 8, pp. 01–09, 2023, doi: 10.22161/ijaems.98.1.