Analisis Kinerja Aktuator Linier DC Pada Sistem Pengangkatan Kendaraan Mini Pengangkut Sampah Ramah Lingkungan

Bambang Setyono[1], Hery Irawan[2], Khabyby Rahmatullah[2]
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2,3]
e-mail: bambang@itats.ac.id[1], hery@itats.ac.id[2],

ABSTRACT

The development of eco-friendly mini waste collection vehicles requires a lifting system with adequate capacity, low energy consumption, and stable performance. This study evaluates the performance of DC linear actuators used in the scissor lift and dump mechanisms through experimental testing with waste loads ranging from 0 to 17.5 kg. The evaluated parameters included lifting, lowering, and dumping time, electrical power consumption, actuator efficiency, and the total operating time and power required for one complete dumping cycle. The results showed that the actuators successfully lifted loads up to 17.5 kg, whereas the system failed to operate at 20 kg. Increasing the load resulted in longer operating time and higher power consumption, while lifting speed and actuator efficiency decreased. During a complete dumping cycle, the total operating time increased from 45.98 s to 60.31 s, and power consumption increased from 77.45 W to 126.51 W, with an average system efficiency of 31.29%. These results indicate that DC linear actuators provide reliable performance for eco-friendly mini waste collection vehicles and offer a practical basis for developing more efficient, reliable, and sustainable lifting systems.

Keywords*—DC linear actuator, scissor lift, dump mechanism, mini waste collection vehicle, energy efficiency.*

ABSTRAK

Pengembangan kendaraan mini pengangkut sampah ramah lingkungan memerlukan sistem pengangkatan yang memiliki kapasitas angkat memadai, konsumsi energi rendah, dan kinerja yang stabil. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja aktuator linier DC pada mekanisme *scissor lift* dan *dump* melalui pengujian waktu operasi, konsumsi daya, efisiensi, serta kemampuan menyelesaikan satu siklus penuangan. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan variasi massa sampah 0–17,5 kg. Parameter yang diamati meliputi waktu pengangkatan, penurunan, penuangan, konsumsi daya listrik, efisiensi aktuator, dan total waktu serta daya dalam satu siklus kerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktuator mampu mengangkat beban hingga 17,5 kg, sedangkan pada beban 20 kg sistem tidak mampu beroperasi. Peningkatan massa sampah menyebabkan waktu operasi dan konsumsi daya meningkat, sementara kecepatan pengangkatan dan efisiensi saat proses pengangkatan cenderung menurun. Pada satu siklus penuangan, total waktu meningkat dari 45,98 detik menjadi 60,31 detik dan total daya meningkat dari 77,45 W menjadi 126,51 W, dengan efisiensi rata-rata sistem sebesar 31,29%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktuator linier DC memiliki kinerja yang memadai untuk diaplikasikan pada kendaraan mini pengangkut sampah serta dapat menjadi dasar pengembangan sistem pengangkatan yang lebih efisien, andal, dan berkelanjutan.

Kata kunci—aktuator linier DC, *scissor lift*, *dump*, kendaraan mini pengangkut sampah, efisiensi energi.

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk, urbanisasi, dan aktivitas ekonomi menyebabkan volume sampah perkotaan terus meningkat sehingga menjadi tantangan dalam mewujudkan sistem pengelolaan sampah yang efektif dan berkelanjutan. Salah satu tahapan penting dalam pengelolaan sampah adalah proses pengumpulan dan pengangkutan menuju tempat pengolahan atau pembuangan akhir. Oleh karena itu, pengembangan kendaraan pengangkut sampah yang efisien dan ramah lingkungan menjadi salah satu alternatif untuk mendukung sistem pengelolaan limbah perkotaan yang berkelanjutan [1], [2].

Kendaraan mini pengangkut sampah memiliki keunggulan karena mampu beroperasi pada kawasan permukiman dengan akses jalan yang sempit sehingga proses pengumpulan sampah menjadi lebih efektif.

ISSN 2775-5630

Agar proses pemindahan dan penuangan sampah berlangsung dengan aman dan efisien, kendaraan memerlukan mekanisme pengangkatan yang memiliki kapasitas angkat memadai, konsumsi energi rendah, serta mudah dikendalikan. Salah satu teknologi yang banyak diterapkan adalah aktuator linier DC karena mampu mengubah energi listrik menjadi gerakan linier dengan tingkat presisi tinggi, kebutuhan perawatan yang rendah, serta mudah diintegrasikan dengan sistem kendali elektrik maupun sumber energi terbarukan [3], [4].

Pada mekanisme *scissor lift*, kinerja aktuator linier sangat dipengaruhi oleh besarnya beban yang diangkat. Bertambahnya beban akan meningkatkan gaya yang harus dihasilkan aktuator sehingga berpengaruh terhadap kecepatan gerak, konsumsi daya listrik, waktu operasi, dan efisiensi sistem. Oleh sebab itu, karakteristik aktuator perlu dievaluasi melalui pengujian eksperimental agar spesifikasi aktuator sesuai dengan kebutuhan operasional kendaraan. Beberapa penelitian sebelumnya lebih banyak membahas aktuator linier pada aplikasi otomasi industri, sistem pelacak surya (*solar tracking*), maupun sistem mekatronika, sedangkan kajian mengenai kinerja aktuator linier pada mekanisme pengangkatan kendaraan mini pengangkut sampah masih relatif terbatas [3]–[6].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja aktuator linier DC pada mekanisme *scissor lift* kendaraan mini pengangkut sampah ramah lingkungan melalui pengujian kapasitas angkat, waktu operasi, konsumsi daya listrik, kecepatan pengangkatan, dan efisiensi sistem. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar dalam pemilihan spesifikasi aktuator serta pengembangan kendaraan pengangkut sampah yang lebih efisien, andal, dan berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Aktuator linier DC merupakan aktuator elektromekanis yang mengubah energi listrik menjadi gerakan translasi melalui kombinasi motor listrik, sistem transmisi, dan mekanisme ulir (*lead screw* atau *ball screw*). Dibandingkan aktuator hidrolik maupun pneumatik, aktuator elektrik memiliki beberapa keunggulan, antara lain efisiensi energi yang lebih tinggi, ukuran yang lebih kompak, kemudahan integrasi dengan sistem kendali digital, kebutuhan perawatan yang rendah, serta tidak menggunakan fluida sehingga lebih ramah lingkungan. Karakteristik tersebut menjadikan aktuator linier banyak digunakan pada sistem otomasi industri, robotika, kendaraan listrik, dan berbagai aplikasi energi terbarukan [3].

Pada kendaraan mini pengangkut sampah ramah lingkungan, aktuator linier DC digunakan sebagai penggerak mekanisme scissor lift untuk mengangkat bak sampah. Penggunaan aktuator elektrik dinilai lebih sesuai dibandingkan aktuator hidrolik karena konsumsi dayanya lebih rendah, konstruksinya lebih sederhana, dan lebih mudah diintegrasikan dengan sumber energi listrik seperti baterai maupun panel surya. Selain itu, aktuator elektrik memungkinkan pengendalian posisi yang lebih presisi sehingga sesuai untuk aplikasi kendaraan listrik berukuran kecil [3].

Mekanisme scissor lift merupakan mekanisme pengangkat yang menggunakan susunan batang berbentuk huruf X (*pantograph mechanism*) untuk mengubah gaya dorong horizontal menjadi gerakan vertikal. Performa mekanisme ini dipengaruhi oleh kapasitas aktuator, konfigurasi geometri lengan, distribusi beban, rasio mekanis, serta efisiensi sistem transmisi. Penelitian mengenai penggantian sistem hidrolik dengan aktuator elektromekanis menunjukkan bahwa sistem pengangkat elektrik mampu menghasilkan performa yang sebanding dengan konsumsi energi yang lebih rendah serta kemudahan integrasi dengan sistem kendali modern. Namun demikian, peningkatan beban menyebabkan kebutuhan gaya dorong meningkat sehingga kecepatan aktuator menurun dan konsumsi daya bertambah [7].

Kinerja aktuator linier DC sangat dipengaruhi oleh karakteristik motor listrik yang digunakan. Bertambahnya beban akan meningkatkan kebutuhan torsi sehingga arus listrik yang dikonsumsi motor juga meningkat. Akibatnya, daya listrik yang diperlukan selama proses pengangkatan menjadi lebih besar, sedangkan kecepatan gerak aktuator cenderung menurun. Oleh karena itu, parameter seperti kapasitas angkat, waktu pengangkatan, kecepatan linier, konsumsi daya, dan efisiensi menjadi indikator utama dalam mengevaluasi performa aktuator pada sistem pengangkat berbeban [3], [7].

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa aktuator linier DC telah diterapkan pada berbagai bidang. Kajian mengenai aktuator elektrik pada sistem energi terbarukan menunjukkan bahwa aktuator

elektrik memiliki efisiensi yang lebih tinggi, lebih mudah diintegrasikan dengan teknologi *Internet of Things* (IoT), serta memiliki kebutuhan perawatan yang lebih rendah dibandingkan aktuator hidrolik maupun pneumatik [3]. Penelitian mengenai *electromechanical actuator-based scissor lift* menunjukkan bahwa aktuator elektrik dapat menjadi alternatif pengganti sistem hidrolik dengan tetap mempertahankan kemampuan angkat sekaligus meningkatkan efisiensi energi dan kemudahan pemeliharaan [7]. Sementara itu, penelitian pada sistem solar tracking menggunakan aktuator linier menunjukkan bahwa penggunaan aktuator tersebut mampu meningkatkan efisiensi penyerapan energi panel surya dibandingkan sistem panel tetap. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa aktuator linier DC memiliki akurasi posisi yang baik dan konsumsi energi yang relatif rendah sehingga sesuai diterapkan pada sistem berbasis energi terbarukan [5] [8] - [10].

Berdasarkan hasil kajian tersebut dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengembangan aktuator elektrik untuk otomasi industri, sistem energi terbarukan, maupun pengganti aktuator hidrolik pada mekanisme pengangkat. Penelitian yang secara khusus mengevaluasi performa aktuator linier DC pada mekanisme *scissor lift* kendaraan mini pengangkut sampah melalui pengujian kapasitas angkat, waktu operasi, konsumsi daya, kecepatan pengangkatan, serta efisiensi sistem masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem pengangkat kendaraan mini pengangkut sampah yang lebih efisien, andal, dan ramah lingkungan.

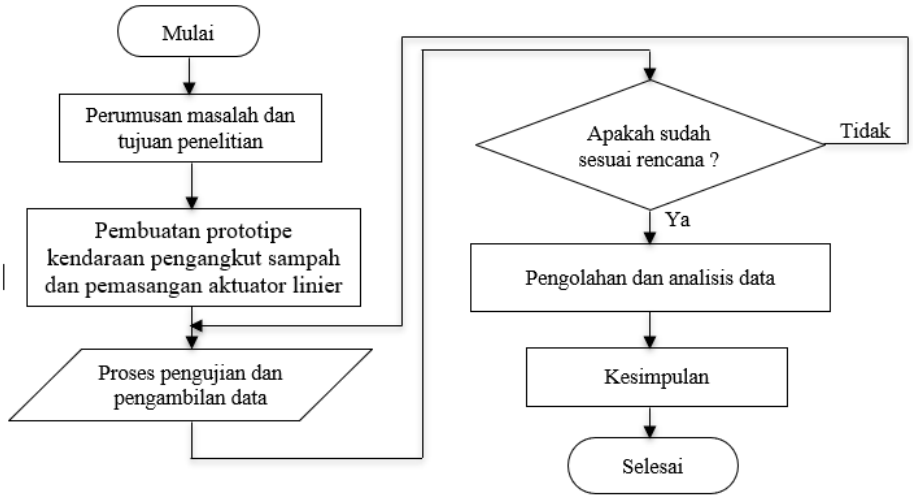
METODE

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan analitis. Pendekatan eksperimental dilakukan untuk menguji kinerja aktuator linier DC secara langsung pada *scissor lift* dan *dump* gerobak sampah kendaraan pengangkut sampah mini, sedangkan pendekatan analitis digunakan untuk menghitung parameter teknis seperti gaya, daya, efisiensi, dan performa sistem. Penelitian ini bersifat:

- Kuantitatif → karena menghasilkan data numerik (gaya, daya, waktu, efisiensi)
- Eksperimental → karena dilakukan pengujian langsung pada prototype
- Rekayasa (engineering research) → karena melibatkan perancangan sistem mekanik

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas : massa sampah (kg)
- Variabel Terikat : waktu dan daya aktuator saat : angkat, tuang, kembali, turun.
- Variabel Kontrol : tegangan input aktuator 12 V, jarak ketinggian angkat/turun = 0,42 m

ISSN 2775-5630

Proses Pengujian Dan Pengambilan Data

Pengujian dan pengambilan data dilakukan langsung pada kendaraan pengangkut sampah ramah lingkungan. Alat ukur dan bahan pengujian meliputi *stopwatch*, camera video, *power supply* 12 Volt 1000 Ampere, watt meter, aktuator linier kapasitas 1500 N untuk *scissor lift* dan 900 N untuk *dum*p dan material sampah yang sudah ditimbang.



Gambar 2. a) Proses pengujian dan pengambilan data , b) komponen lengkap aktuator linier
Sumber : a) dokumen pribadi , b) Redekar et al. (2022)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Aktuator Linier Pada Mekanisme Scissor Lift Saat Mengangkat/Menurunkan Beban

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengangkat/menurunkan beban pada berbagai kondisi pembebanan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kinerja aktuator yang meliputi waktu pengangkatan/menurunkan, konsumsi daya listrik, serta efisiensi aktuator linier pada mekanisme *scissor lift*. Data hasil pengujian digunakan untuk menganalisis pengaruh peningkatan beban terhadap performa aktuator dan kestabilan sistem pengangkat. Tiap pengujian dilakukan replikasi 3 kali.

Tabel 1. Data Rata-Rata Hasil Pengujian *Scissor Lift* Saat Mengangkat dan Menurunkan Beban

No	Tinggi Angkat (m)	Massa Sampah (kg)	Massa Bak Sampah (kg)	Massa Siccor Lift (kg)	Total Massa (kg)	Aktuator Mengangkat Beban		Aktuator Menurunkan Beban	
						Waktu Angkat (detik)	Daya Angkat (Watt)	Waktu Turun (detik)	Daya Listrik (Watt)
1	0,42	0	12	13	25,0	29,05	28,87	6,37	24,28
2	0,42	2,5	12	13	27,5	34,55	42,77	6,47	25,29
3	0,42	5	12	13	30,0	35,12	44,07	6,80	25,70
4	0,42	7,5	12	13	32,5	35,67	46,30	6,83	26,16
5	0,42	10	12	13	35,0	37,10	48,20	17,93	26,67
6	0,42	12,5	12	13	37,5	40,01	53,50	25,49	35,50
7	0,42	15	12	13	40,0	40,34	59,40	25,67	35,85
8	0,42	17,5	12	13	42,5	41,39	60,83	25,79	36,35
9	0,42	20	12	13	45,0	Aktuator tidak mampu mengangkat beban			

ISSN 2775-5630

Efisiensi Aktuator Linier Saat Mengangkat/Menurunkan Beban

Efisiensi aktuator linier adalah perbandingan antara energi atau daya mekanik yang dihasilkan (*m.g.h*) terhadap energi atau daya listrik (*V.I.t*) yang masuk ke aktuator. Karena sistem yang diteliti adalah aktuator linier penggerak scissor lift, maka efisiensi lebih akurat dihitung berdasarkan energi:

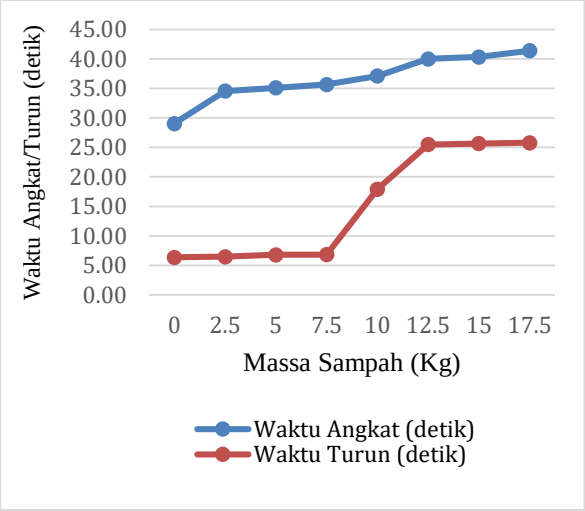
$$\eta = \frac{mgh}{VIt} \times 100\% \quad \text{..... (1)}$$

Dengan menggunakan rumus di atas, maka diketahui efisiensi aktuator linier berikut ini.

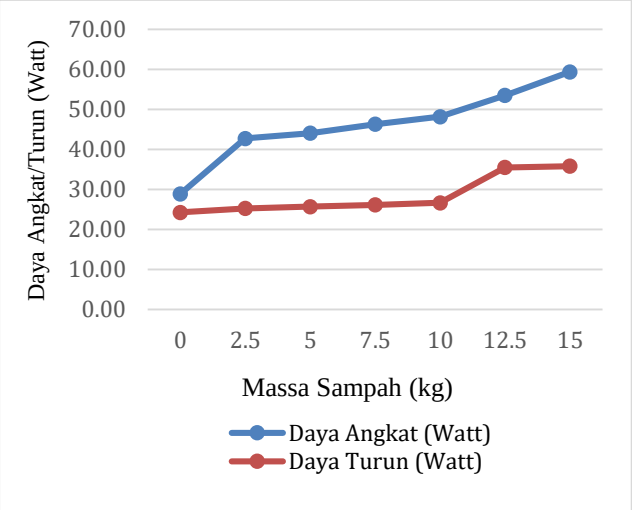
Tabel 2. Waktu, Daya dan Efisiensi Aktuator Linier Saat Mengangkat/Menurunkan Beban

No	Tinggi Angkat (m)	Massa Sampah (kg)	Total Massa (kg)	Aktuator Mengangkat Beban			Aktuator Menurunkan Beban		
				Waktu Angkat (detik)	Daya Angkat (Watt)	Efisiensi Angkat (η...%)	Waktu Turun (detik)	Daya Listrik (Watt)	Efisiensi Turun (η...%)
1	0,42	0	25,0	29,05	28,87	12,28%	6,37	24,28	66,63%
2	0,42	2,5	27,5	34,55	42,77	7,67%	6,47	25,29	69,28%
3	0,42	5	30,0	35,12	44,07	7,99%	6,80	25,70	70,72%
4	0,42	7,5	32,5	35,67	46,30	8,11%	6,83	26,16	74,98%
5	0,42	10	35,0	37,10	48,20	8,06%	17,93	26,67	30,15%
6	0,42	12,5	37,5	40,01	53,50	7,22%	25,49	35,50	17,07%
7	0,42	15	40,0	40,34	59,40	6,88%	25,67	35,85	17,91%
8	0,42	17,5	42,5	41,39	60,83	6,95%	25,79	36,35	18,68%
9	0,42	20	45,0	Aktuator tidak mampu mengangkat beban					

Untuk memudahkan analisis hubungan massa sampah dengan waktu, daya dan efisiensi aktuator linier saat *scissor lift* mengangkat/menurunkan beban dibuat grafik sebagai berikut.



Gambar 3. Perbandingan Waktu Angkat/Turun Aktuator Dengan Variasi Massa Sampah



Gambar 4. Perbandingan Daya Angkat/Turun Aktuator Dengan Variasi Massa Sampah

ISSN 2775-5630

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan massa sampah menyebabkan waktu angkat dan daya aktuator meningkat. Pada beban 0 kg, waktu angkat tercatat 29,05 detik dengan daya 28,87 W, sedangkan pada beban 17,5 kg meningkat menjadi 41,39 detik dengan daya 60,83 W. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diangkat, semakin besar gaya dan energi yang diperlukan oleh aktuator sehingga waktu pengangkatan menjadi lebih lama dan konsumsi daya meningkat. Sebaliknya, waktu turun relatif konstan pada beban 0–7,5 kg (sekitar 6,37–6,83 detik), kemudian meningkat tajam menjadi 17,93 detik pada beban 10 kg dan mencapai 25,79 detik pada beban 17,5 kg. Peningkatan waktu turun ini mengindikasikan bahwa beban yang lebih besar memberikan tahanan yang lebih tinggi terhadap mekanisme scissor lift. Selain itu, pada total massa 45 kg (massa sampah 20 kg), aktuator tidak mampu mengangkat beban sehingga kapasitas maksimum sistem telah terlampaui.

Data efisiensi menunjukkan bahwa efisiensi aktuator saat mengangkat relatif rendah dan berada pada kisaran 6,88–12,28%. Efisiensi tertinggi terjadi pada beban tanpa muatan (12,28%) dan cenderung menurun seiring bertambahnya beban hingga mencapai 6,95% pada massa sampah 17,5 kg. Penurunan ini menunjukkan bahwa peningkatan beban menyebabkan kebutuhan daya listrik meningkat lebih cepat dibandingkan pertambahan daya mekanik yang dihasilkan. Sebaliknya, efisiensi saat menurunkan beban meningkat dari 66,63% menjadi 74,98% pada beban 7,5 kg, yang menunjukkan proses penurunan masih berlangsung secara efektif pada beban ringan hingga sedang. Namun, mulai beban 10 kg efisiensi turun drastis menjadi 30,15%, kemudian berada pada kisaran 17–19% hingga beban 17,5 kg. Penurunan tersebut mengindikasikan bahwa pada beban tinggi aktuator bekerja semakin berat sehingga kehilangan energi akibat gesekan, beban mekanis, dan karakteristik sistem transmisi menjadi lebih dominan.

Pengujian Aktuator Linier Pada Mekanisme Dump Saat Menuang/Mengembalikan Bak Sampah

Pengujian aktuator linier dump saat menuang dan mengembalikan bak sampah dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan aktuator dalam menggerakkan bak penuang sehingga proses pembuangan sampah dapat berlangsung dengan baik. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja aktuator selama proses penuangan pada berbagai kondisi pembebanan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Waktu dan Daya Aktuator Saat Menuang Bak Sampah dan Kembali ke Awal

No	Massa Sampah (kg)	Massa Bak Sampah (kg)	Massa Total (kg)	Panjang Langkah (m)	Waktu Penuangan Sampah (detik)	Daya Penuangan Sampah (Watt)	Waktu Kembali setelah Menuang (detik)	Daya Kembali Setelah Menuang (Watt)
1	0,0	12,0	12,0	0,111	5,55	17,2	5,0	7,3
2	2,5	12,0	14,5	0,111	5,56	17,4	na	na
3	5,0	12,0	17,0	0,111	6,25	18,4	na	na
4	7,5	12,0	19,5	0,111	6,33	21,5	na	na
5	10,0	12,0	22,0	0,111	6,63	23,3	na	na
6	12,5	12,0	24,5	0,111	6,90	27,2	na	na
7	15,0	12,0	27,0	0,111	7,38	27,6	na	na
8	17,5	12,0	29,5	0,111	7,53	34,3	na	na

na = *not available* (tidak dilakukan pengujian karena sampah telah dituang)

Berdasarkan Tabel 3, dapat disimpulkan bahwa peningkatan massa sampah menyebabkan waktu dan daya yang dibutuhkan aktuator saat proses penuangan meningkat secara bertahap. Waktu penuangan bertambah dari 5,55 detik pada massa total 12 kg menjadi 7,53 detik pada massa total 29,5 kg, atau meningkat sekitar 35,7%. Peningkatan waktu ini menunjukkan bahwa beban yang lebih besar memberikan tahanan yang lebih tinggi sehingga kecepatan gerak aktuator menurun. Di sisi lain, daya aktuator meningkat lebih signifikan, dari 17,2 Watt menjadi 34,3 Watt, atau hampir dua kali lipat (sekitar 99,4%), yang menunjukkan bahwa

ISSN 2775-5630

kebutuhan energi bertambah seiring meningkatnya gaya yang harus dihasilkan untuk mengangkat dan menuangkan beban yang lebih berat. Meskipun demikian, kenaikan waktu relatif lebih kecil dibandingkan kenaikan daya, sehingga dapat disimpulkan bahwa aktuator masih mampu mempertahankan performa geraknya dengan baik melalui peningkatan konsumsi daya.

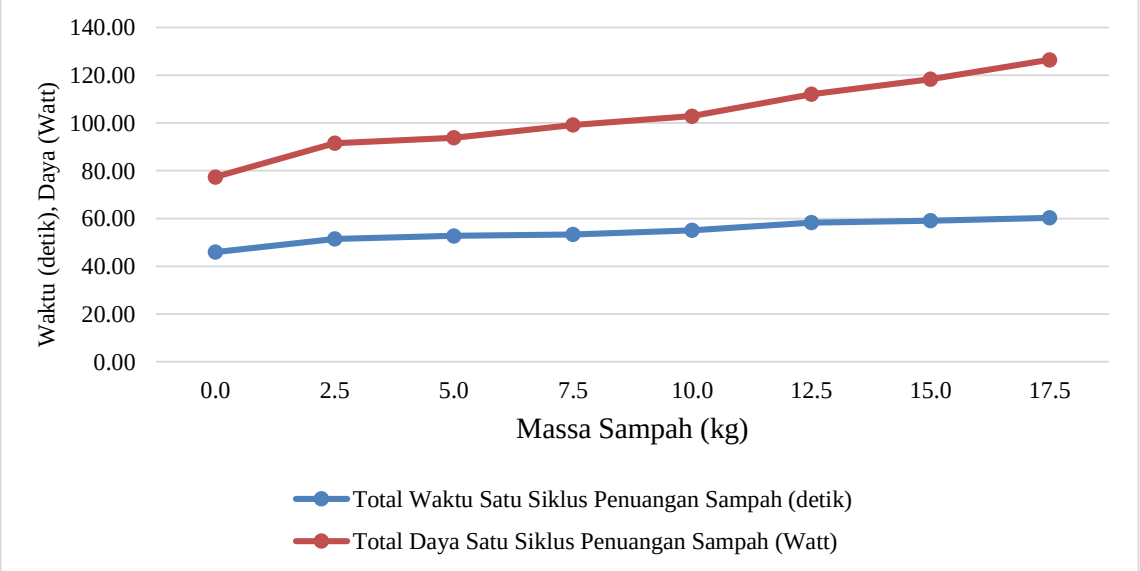
Data menunjukkan bahwa proses kembali ke posisi awal pada kondisi tanpa beban waktu 5 detik dan daya 7,3 Watt. Gerakan kembali diuji tanpa beban karena sampah sudah dibuang pada saat gerakan penuangan bak sampah.

Pengujian Satu Siklus Penuangan Dengan Variasi Beban Sampah

Perhitungan waktu dan daya yang dibutuhkan aktuator linier dalam menyelesaikan satu siklus penuangan sampah, yaitu mulai dari proses mengangkat bak sampah, menuang sampah, kembali dan menurunkan bak sampah ke posisi awal. Perhitungan dilakukan berdasarkan hasil pengujian pada berbagai variasi massa sampah untuk mengevaluasi pengaruh beban terhadap kinerja aktuator. Hasil perhitungan ini menjadi dasar dalam menilai efisiensi operasional sistem pengangkatan dan kebutuhan daya selama satu siklus kerja.

Tabel 4. Rekapitulasi Satu Siklus Penuangan Sampah

No	Massa Sampah (kg)	Total Waktu Satu Siklus Penuangan Sampah (detik)	Total Daya Satu Siklus Penuangan Sampah (Watt)	Effisiensi Rata-Rata (η….%)
1	0,0	45,98	77,45	32,05%
2	2,5	51,50	91,55	31,55%
3	5,0	52,75	93,85	31,58%
4	7,5	53,39	99,18	31,48%
5	10,0	55,12	102,88	31,45%
6	12,5	58,29	112,08	30,91%
7	15,0	59,11	118,38	30,88%
8	17,5	60,31	126,51	30,40%
Rata-rata		**54,56**	**102,73**	**31,29%**



Gambar 5. Waktu Dan Daya Yang Dibutuhkan Dalam Satu Siklus Penuangan

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 5, peningkatan massa sampah menyebabkan total waktu dan daya yang dibutuhkan dalam satu siklus penuangan cenderung meningkat. Total waktu siklus bertambah dari 45,98 detik pada beban 0 kg menjadi 60,31 detik pada beban 17,5 kg, sedangkan total daya meningkat dari 77,45 W menjadi 126,51 W. Peningkatan ini menunjukkan bahwa aktuator linier memerlukan waktu kerja lebih lama dan konsumsi daya yang lebih besar seiring bertambahnya beban yang harus diangkat dan dituang. Meskipun demikian, nilai efisiensi rata-rata sistem relatif stabil pada kisaran 30–32%, dengan rata-rata 31,29%, yang mengindikasikan bahwa performa sistem tetap konsisten meskipun terjadi peningkatan beban. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sistem penuangan mampu beroperasi secara stabil pada seluruh variasi massa sampah, namun konsekuensinya adalah meningkatnya waktu operasi dan kebutuhan daya seiring bertambahnya beban.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, aktuator linier DC 1500 N dan 900 N mampu mengoperasikan mekanisme *scissor lift* dan *dump* pada kendaraan mini pengangkut sampah hingga beban maksimum 17,5 kg, sedangkan pada beban 20 kg sistem tidak mampu melakukan proses pengangkatan. Peningkatan massa sampah menyebabkan waktu operasi dan konsumsi daya aktuator meningkat, sementara kecepatan pengangkatan dan efisiensi aktuator saat proses pengangkatan cenderung menurun. Pada satu siklus penuangan, total waktu meningkat dari 45,98 detik menjadi 60,31 detik, sedangkan total daya meningkat dari 77,45 W menjadi 126,51 W dengan efisiensi rata-rata sistem sebesar 31,29%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktuator linier DC memiliki kinerja yang memadai dan stabil untuk diaplikasikan pada kendaraan mini pengangkut sampah ramah lingkungan, sehingga dapat dijadikan dasar dalam pemilihan spesifikasi aktuator serta pengembangan sistem pengangkatan yang lebih efisien, andal, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Ferronato and V. Torretta, “Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, no. 6, p. 1060, 2019. https://doi.org/10.3390/ijerph16061060

[2] S. Kaza, L. Yao, P. Bhada-Tata, and F. Van Woerden, *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank, 2018.

[3] A. Redekar, D. Deb, and S. Ozana, “Functionality Analysis of Electric Actuators in Renewable Energy Systems—A Review,” *Sensors*, vol. 22, no. 11, p. 4273, 2022. https://doi.org/10.3390/s22114273

[4] A. M. A. Haidegger, “Linear Actuators in Modern Mechatronic Systems: A Review,” *Actuators*, vol. 10, no. 9, 2021.

[5] M. Myori, R. E. Putra, and Y. Yandri, “Solar Tracking System Using Linear Actuator for Improving Photovoltaic Performance,” *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, vol. 19, no. 2, pp. 9–16, 2019.

[6] A. Surindra, “Respon Keluaran Pemodelan Kontrol Proporsional pada Aktuator Motor DC,” *Eksergi: Jurnal Teknik Energi*, vol. 9, no. 1, pp. 1–8, 2013.

[7] T. Minav, M. Pietola, *et al*., "Electromechanical Actuator-Based Solution for a Scissor Lift," *Actuators*, vol. 12, no. 10, Art. 394, 2023. doi: 10.3390/act12100394.

[8] Stawiński, Ł., Zakharov, V., Kosucki, A., Minav, T., et al. *Electromechanical Actuator-Based Solution for a Scissor Lift.*Actuators**,** Vol. 12, No. 10, 394, 2023. DOI 10.3390/act12100394

[9] Habibullah, M., Lu, D., Xiao, D., Fletcher, J. E.*"A Review of Electromechanical Actuators for More Electric Aircraft."* IEEE Transactions / IEEE Access, 2020.

[10] Deb, D., Ozana, S., et al.*"Electric Actuation Technologies in Renewable Energy Applications."* Sensors, 2022. DOI 10.3390/s22114273