

Pengangkut Muatan Kapasitas 2 kg Berbasis Mikrokontroler

Microcontroller-Based 2 kg Capacity Load-Carrier

¹Irawati Dewi Syahwir*), ¹Thomas Rocky Roganda Nainggolan

¹Akademi Metrologi dan Instrumentasi

*) *corresponding email: irawatidewisyahwir@gmail.com*

Abstrak

Transformasi energi semakin berkembang dan perdagangan semakin kompleks dan dinamis dalam efisiensi energi dan desain produksi yang fleksibel. Pembuatan pengangkut semi-otomatis merupakan pendekatan untuk mendukung fleksibilitas intralogistik, di mana kebutuhan daya listrik dan efisiensi waktu dapat dianalisis. Metode yang digunakan adalah mengukur kecepatan putar roda pengangkut semi-otomatis kemudian mengidentifikasi modelnya. Kecepatan putaran roda pada pengangkut semi-otomatis juga dianalisis berdasarkan gerakan translasi, gerakan putar, dan pengangkatan dan muatan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kebutuhan energi untuk gerakan translasi dan rotasi meningkat akibat adanya massa dari muatan. Namun, pada keadaan yang sama dengan terjadinya peningkatan nilai kecepatan pengangkut semi-otomatis menyebabkan kebutuhan energi yang lebih rendah, meskipun kebutuhan daya listrik bertambah. Kemampuan motor DC menurun dengan penambahan muatan yaitu dari 239,184 rpm menjadi 166,204 rpm dan begitu juga pada baterai dari 20000 mAh menjadi 5400 mAh. Pada kondisi pengukuran dinamis yaitu pengukuran dilakukan saat motor jalan terjadi kesalahan pengukuran rata-rata $-0,11$ cm hingga $-0,03$ cm pada pergerakan mundur.

Kata Kunci: Pengangkut Semi-Otomatis, Intralogistik, Kecepatan Putaran dan Massa Muatan.

Abstract

Energy transformation is growing, and trade is becoming more complex and dynamic regarding energy efficiency and flexible production design. The development of a semi-automatic transporter aims to improve intralogistics' flexibility whereas the electrical power requirements and time efficiency can be analyzed. The analysis method measures the rotational speed of the semi-automatic transport wheel and identifies its model. The rotation speed of the wheels on a semi-automatic transporter is based on translational movement, rotary movement, and transport and load. The measurement results show that the energy requirements for translational and rotational movements increase due to the mass of the charge. However, in the same situation, an increase in the speed value of the semi-automatic transporter results in lower energy requirements, even though the need for electrical power is increasing. The capacity of the DC motor decreases with increasing load, namely from 239.184 rpm to 166.204 rpm, and likewise for the battery from 20000 mAh to 5400 mAh. In dynamic measurement conditions, namely, measurements made while the motorbike is running, there is an average measurement error of -0.11 cm to -0.03 cm in backward movements.

Keywords: Semi-Automated Carrier, Intralogistics, Rotational Speed and Payload Mass.

Makalah diterima 15 Maret 2024 – makalah direvisi 25 April 2024 – disetujui 29 April 2024

Karya ini adalah naskah akses terbuka dengan lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



1 Pendahuluan

Sektor perdagangan menjadi faktor penentu pertumbuhan konsumsi masyarakat dalam perekonomian nasional. Pembangunan infrastruktur konektivitas memberikan kemudahan bagi produsen dalam akses pengadaan bahan baku, barang modal, serta pemasaran produk untuk meningkatkan efisiensi biaya logistik. Pengusaha pada sektor produksi dan distribusi menyeimbangkan nilai pengeluaran dari total biaya produksi terhadap keuntungan biaya logistik dengan memastikan kendaraan dapat mengangkut muatan yang lebih banyak untuk meningkatkan efisiensi waktu. Indikator kelebihan muatan pada kendaraan diketahui dari keseimbangan, percepatan, suspensi, struktur roda, dan konsumsi bahan bakar. Kendaraan *overload* memberi dampak kerusakan struktural jalan dan jembatan, yaitu penurunan masa pakai, kerusakan pondasi, erosi, dan penurunan kekuatan konstruksi. Secara mekanika, kendaraan *overload* menambah besar tegangan konstruksi terhadap nilai referensi tegangan menyebabkan kondisi *overstress*. Tegangan yang berlebih memberikan deformasi permanen pada konstruksi jalan, sehingga material permukaan mengalami *crack* lebih cepat [1].

Berdasarkan penelitian bahwa kendaraan berat atau truk berpengaruh dominan terhadap massa muatan yang diangkut pada jalan dan jembatan. Truk merupakan alat pengangkut dominan untuk mengantarkan barang dari produsen kepada distributor atau industri kecil [1]. Selain mengakibatkan kerusakan konstruksi pada jalan dan

jembatan, kelebihan muatan dapat meningkatkan resiko keamanan dan kecelakaan [2]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka diperlukan pengembangan prototipe pengangkut semi-otomatis yang dilengkapi dengan sistem pengukuran massa muatan dan kecepatan pengangkut sebagai alat bantu. Hal ini bertujuan agar pengangkut dapat mendeteksi massa beban yang diangkut sehingga mencegah terjadinya *overload* yang dapat mengakibatkan kerusakan baik pada pengangkutnya, jalan dan mengancam keamanan para pengguna jalan. Oleh sebab itu, sebagai tahap awal dalam menguji kemampuan *logging* data dari sensor, prototipe pengangkut diuji dengan mengangkut beban 2 kg.

Penggunaan sensor *load cell* yang dapat menimbang beban kecil merupakan salah satu elemen penting dalam proses pengangkutan muatan karena memungkinkan pengukuran yang lebih akurat terhadap distribusi beban yang diangkut [3]. Sensor *load cell* dipasang pada bagian bawah dek penampang untuk mengukur massa muatan dan sensor *IR Speed* dipasang pada celah piringan *rotary encoder* untuk mengontrol kecepatan pengangkut. Kedua sensor ini digunakan untuk menjaga kinerja mesin bekerja optimal dan efisiensi daya pengangkut dengan mengetahui pengukuran massa muatan dan kecepatan dalam kondisi dinamis [4], [5], [6]

. Pengukuran massa muatan dan kecepatan pengangkut dengan sensor ini memiliki kelebihan dibandingkan metode pengujian *weighing in motion* dan timbangan jembatan [7]. Pengangkut dipasang sensor secara permanen pada plat penampang dan bekerja secara *real-time* dalam mengukur massa muatan, sehingga tidak membutuhkan bidang datar dan lubang pemasangan pada permukaan jalan untuk mencegah terjadinya pengurangan massa muatan [8], [9].

Kinerja sistem sensor pada prototipe sejenis diverifikasi berdasarkan kalibrasi secara berkala pada pengukuran massa muatan, kecepatan kendaraan, dan jarak deteksi halangan [10]. Pengembangan prototipe pada kasus [10] dibatasi oleh biaya pemasangan sensor yang mahal, modifikasi kendaraan dan tingkat fluktuasi pada akurasi dan presisi yang dipengaruhi kecepatan, bidang lintasan, daya, suhu, dan kelembapan.

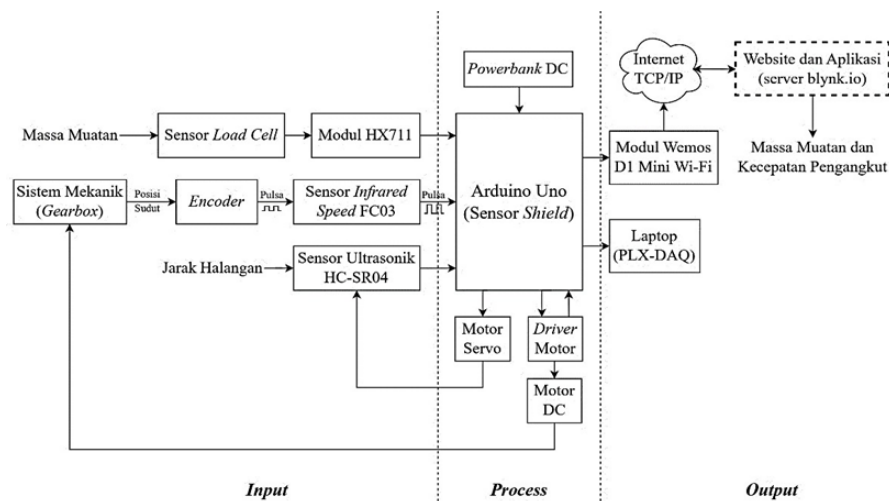
Penelitian sejenis membahas pengangkutan muatan dari berbagai aspek seperti ketelitian pengukuran beban [3], pengujian putaran motor terhadap perubahan tegangan terminal [11], penentuan nilai torsi efektif agar mampu menahan beban tanpa merusak motor [12]. Pengembangan prototipe dengan cara memodifikasi gerobak sorong dengan menambahkan motor DC dilaporkan pada [13] dan [14].

Prinsip-prinsip di atas diacu pada penelitian ini untuk membuat prototipe pengangkut muatan skala laboratorium dengan kapasitas massa muatan dibatasi maksimal 2 kg. Penelitian ini menguji sistem pengukuran massa, kecepatan, dan jarak halangan pada prototipe tersebut, serta mengevaluasi pengaruh massa muatan dan bidang lintasan terhadap kecepatan dan daya pengangkut, baik dalam kondisi statis maupun dinamis.

2 Metode

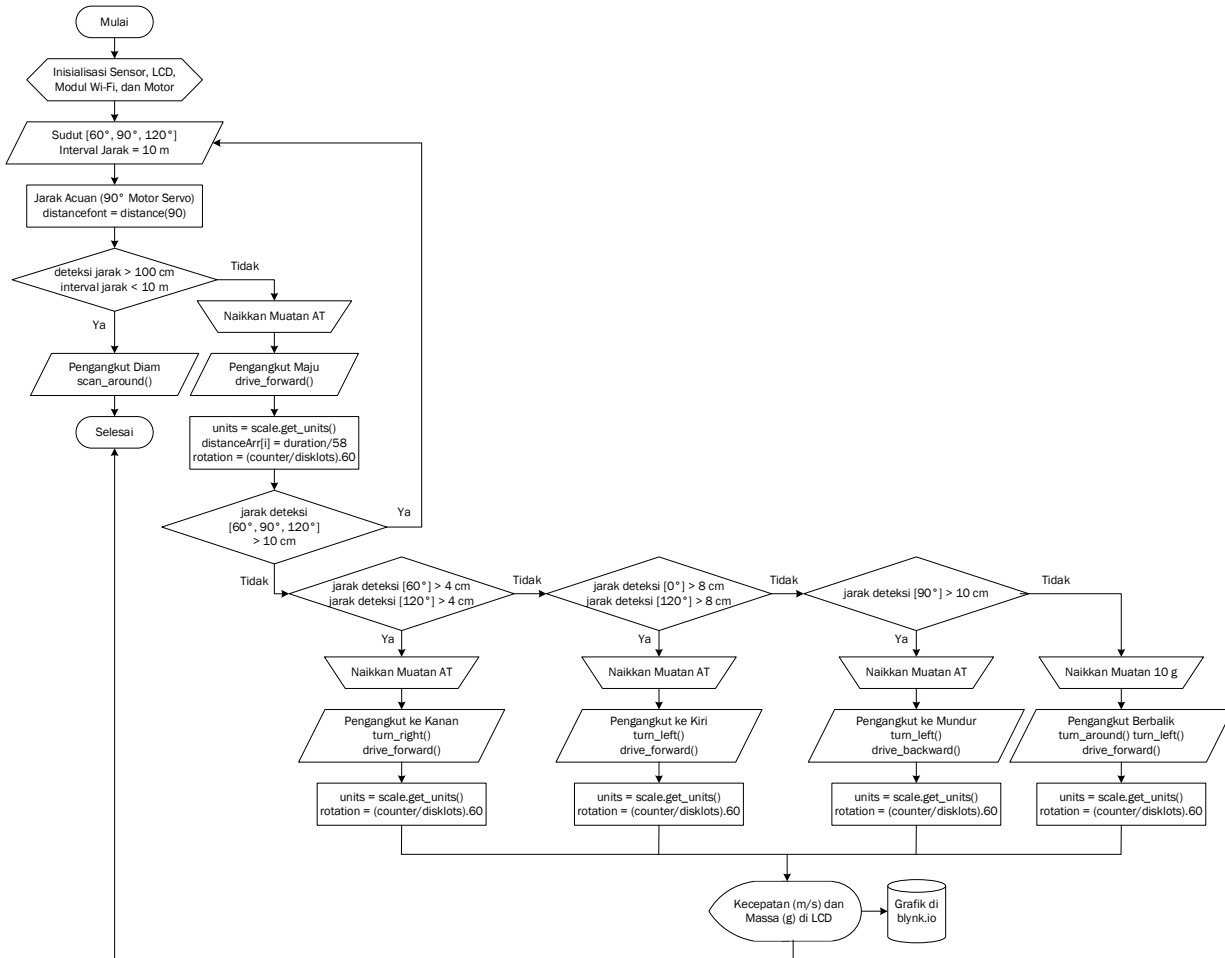
Pengembangan prototipe dilakukan dengan tahapan perancangan, kalibrasi sensor massa, kalibrasi sensor kecepatan, kalibrasi sensor jarak, pengujian deteksi kecepatan pengangkut terhadap variasi beban muatan pada bidang datar, dan analisis data hasil pengujian untuk mendapatkan karakteristik pengukuran sistem ini.

Agar prototipe dapat mengukur kecepatan dan massa muatan, dirancang prinsip kerja prototipe dalam bentuk diagram blok seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok prototipe

Cara kerja sistem ini adalah motor DC berputar untuk menggerakkan kedua roda, kemudian sensor *load cell* mengukur massa muatan yang dibawa. Baik ketika pengangkut bergerak tanpa muatan maupun dengan membawa muatan, sensor *optocoupler* akan mengukur kecepatan putaran roda dalam RPM [15]. Jika ada halangan maka sensor ultrasonik akan mendeteksi keberadaan objek dalam jarak 4 cm di depan benda dan memberikan perintah kepada *driver motor* untuk berbelok ke kiri, ke kanan atau berhenti. Sebaliknya, jika tidak ada halangan benda yang dideteksi maka pengangkut akan bergerak maju. Media untuk meletakkan muatan pada landasan muatan yang berupa plat besi ringan (tempat membawa benda atau anak timbangan) diberi penahan agar tidak mengalami guncangan agar tidak mempengaruhi pengukuran. Program ini merupakan kontroler untuk pengangkut yang digerakkan oleh motor DC, dengan kemampuan mendeteksi jarak halangan menggunakan sensor ultrasonik, mengukur massa muatan menggunakan *load cell*, dan menghitung kecepatan motor menggunakan sensor inframerah [16], [17]. Ringkasan cara program ini beroperasi terdapat pada Gambar 2.

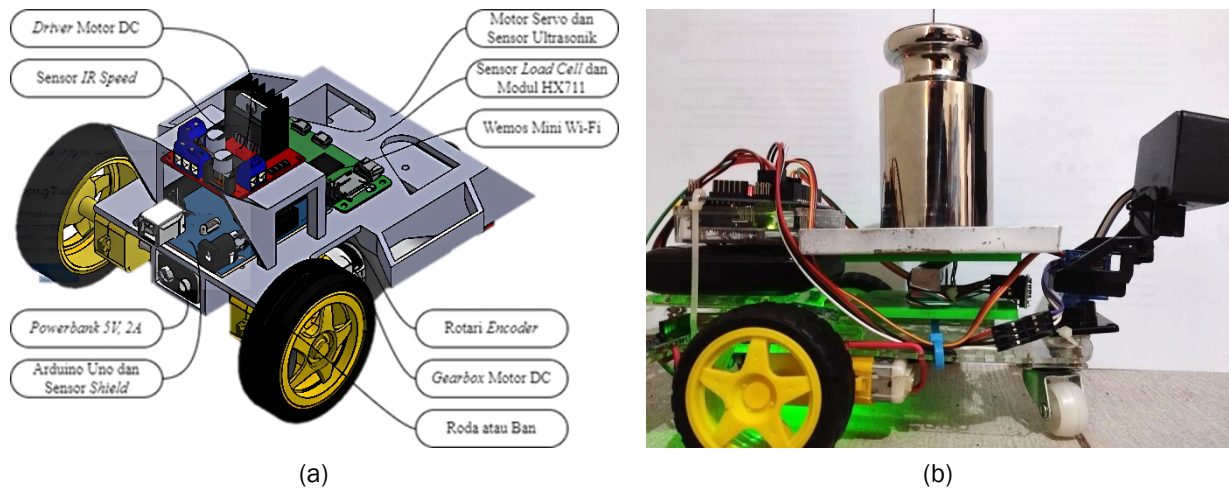


Gambar 2. Diagram alir prototipe

3 Hasil dan Diskusi

Hasil pengujian yang didapatkan dalam pembuatan prototipe pengangkut muatan semi-otomatis kapasitas 5 kg menggunakan sensor *load cell*, *optocoupler*, dan ultrasonik. Pengujian yang dilakukan meliputi kalibrasi masing-masing sensor yaitu sensor kecepatan, sensor *load cell* dan sensor jarak untuk mengetahui karakteristik prototipe pengangkut muatan semi otomatis.

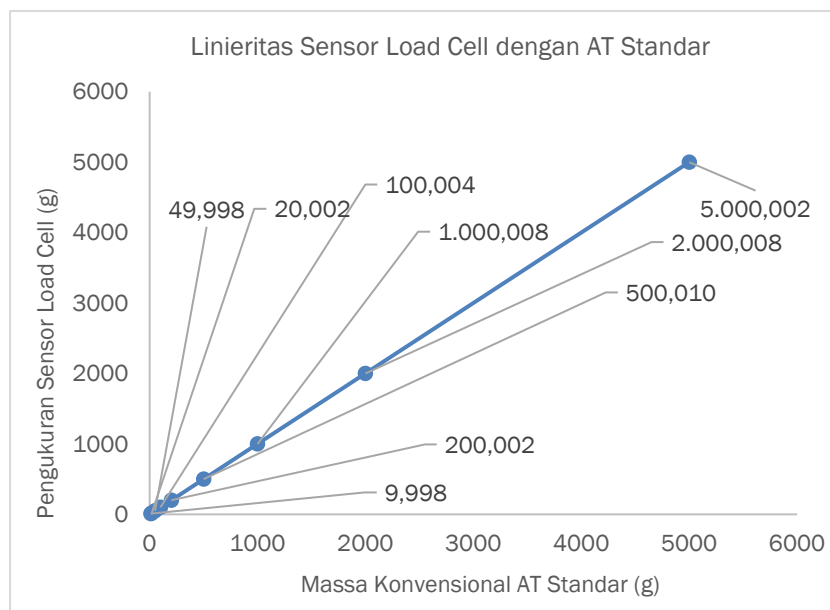
Gambar 3(a) dan Gambar 3(b) menunjukkan desain dan implementasi prototipe pengangkut muatan semi-otomatis kapasitas 2 kg berbasis *internet of vehicle* menggunakan sensor *load cell*, *optocoupler*, dan ultrasonik yang disertai dengan sistem mekanik berupa motor DC, motor servo, *driver motor* L298N yang di kontrol dengan mikrokontroler Arduino Uno dalam proses pengukuran.



Gambar 3. (a) Desain rancangan prototipe. (b) hasil implementasi prototipe

3.1 Kalibrasi Sensor Massa

Kalibrasi massa pada sensor *load cell* dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor *load cell* dengan standar yaitu anak timbangan M1 yang mempunyai ketelitian pembacaan 0,01 g. Pengambilan data kalibrasi massa dilakukan dengan total pembacaan sebanyak 10 kali pengukuran di setiap massa nominal anak timbangan standar.

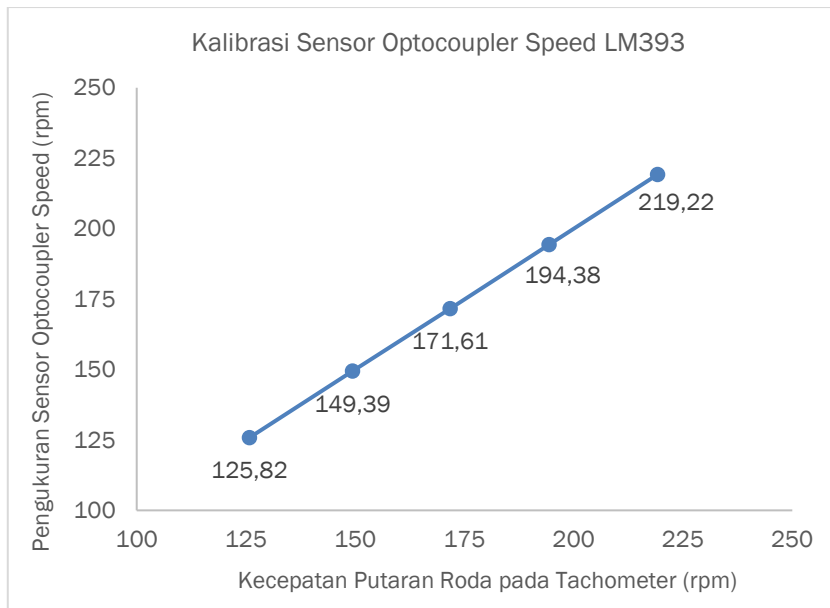


Gambar 4. Grafik linieritas sensor *load cell*

Diketahui bahwa kalibrasi massa anak timbangan 1000 g pada sensor *load cell* menghasilkan rata-rata pengukuran sebesar 1000,08 g dengan standar deviasi 0,015 g. Koefisien korelasi grafik pada Gambar 4 mendekati nilai 1 yang menyatakan bahwa pengujian mendekati linier, sensitivitas ideal dan bekerja responsif.

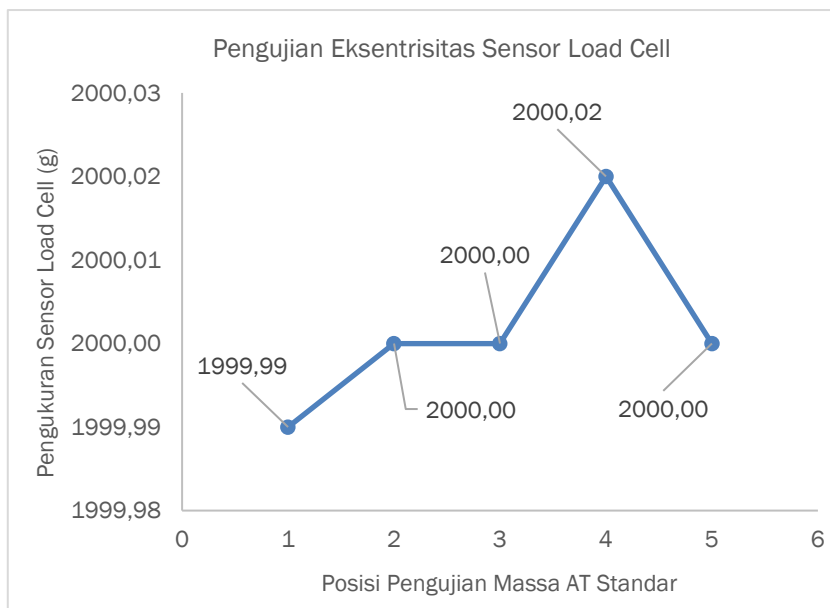
3.2 Kalibrasi Sensor Kecepatan

Kalibrasi kecepatan putaran pada sensor *optocoupler* dilakukan dengan membandingkan nilai pengukuran oleh sensor *optocoupler* terhadap tachometer standar dengan ketelitian pembacaan 0,1 RPM. Pengambilan data kalibrasi massa dilakukan dengan total pengukuran sebanyak 10 kali di setiap pilihan kecepatan roda.



Gambar 5. Grafik pengujian linieritas sensor *optocoupler*

Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil pengukuran sensor *optocoupler* LM393 dibandingkan dengan *tachometer* adalah linier dengan nilai koefisien korelasi R^2 adalah 1.

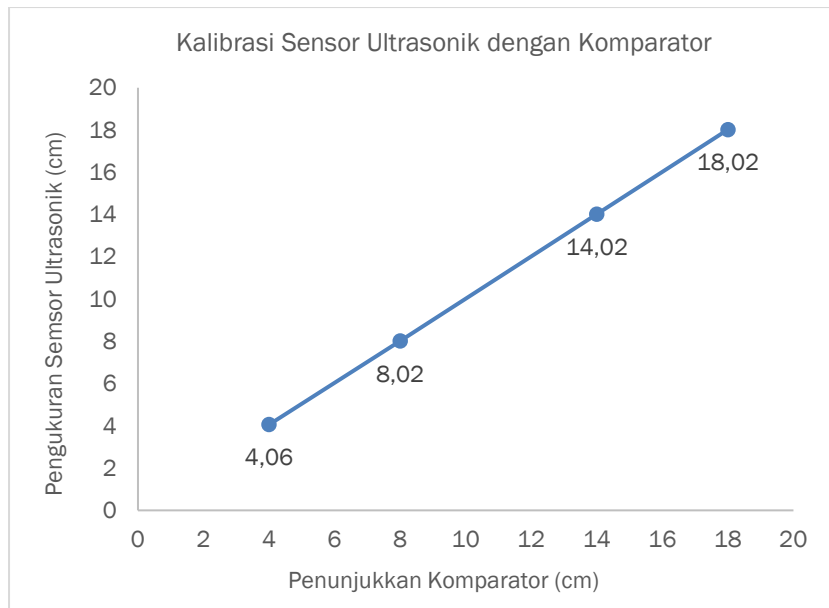


Gambar 6. Grafik pengujian eksentrisitas sensor *load cell*

Pengujian eksentrisitas sensor *load cell* dilakukan meletakkan beban 2 kg dan menggesernya menuju lima titik uji yaitu mulai dari ujung pan pengangkut (titik 1) menuju titik tengah pan (titik 5). Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 6 di mana tiap titik menghasilkan nilai rata-rata dan standard deviasi kesalahan pengukuran kurang dari 0,01% massa beban.

3.3 Kalibrasi Sensor Jarak

Kalibrasi jarak pada sensor ultrasonik dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor ultrasonik dengan standar yaitu komparator sidang dengan ketelitian pengukuran 0,01 cm. Pengambilan data kalibrasi jarak dilakukan sebanyak 10 kali pengukuran di setiap jarak deteksi yang ditentukan menggunakan komparator sidang.

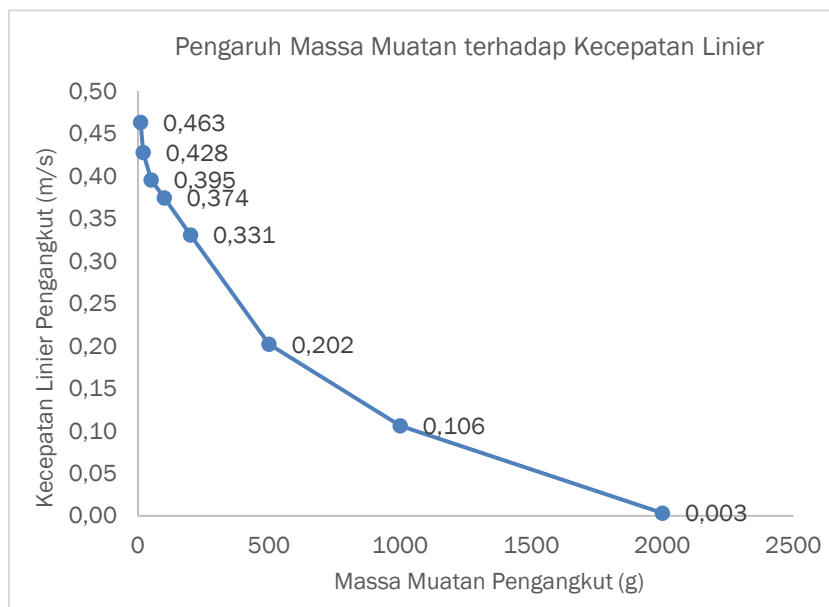


Gambar 7. Grafik pengujian linieritas sensor ultrasonik

Pada Gambar 7 pengujian linieritas sensor ultrasonik yang dibandingkan dengan komparator sidang adalah linier dengan nilai R^2 sebesar 1 menunjukkan bahwa sensitivitas sensor ideal dan bekerja responsif.

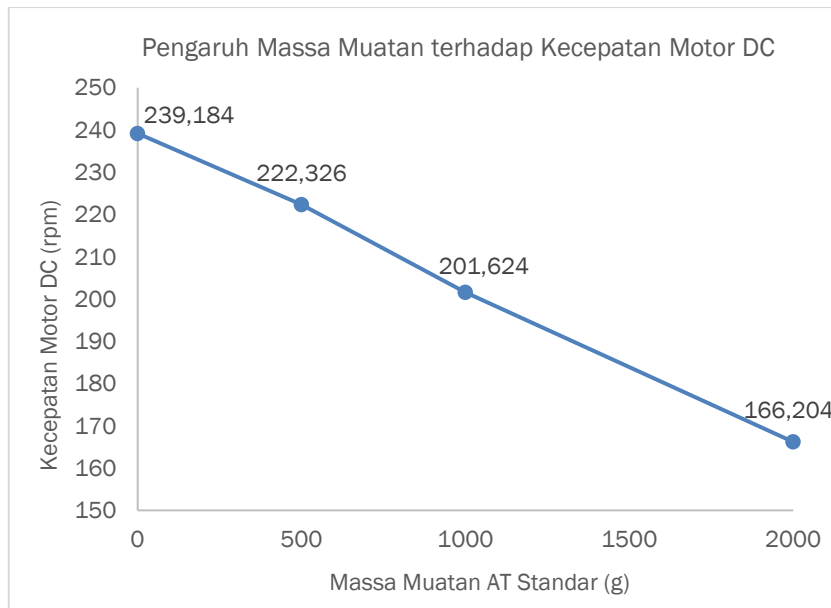
3.4 Pengujian Kecepatan Motor DC dengan Muatan pada Bidang Datar

Pengujian kecepatan pengangkut muatan dilakukan dalam kondisi dinamis dengan jarak lintasan pengangkut sebesar 1 meter pada bidang datar, di mana nilai gaya gesek antara ban dan permukaan bidang diabaikan. Berdasarkan hasil pengujian pada bidang datar menunjukkan bahwa semakin besar massa muatan maka kecepatan pengangkut menurun secara landai, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik pengaruh massa muatan terhadap kecepatan linier pengangkut

Gambar 8 menunjukkan bahwa pengaruh variasi massa muatan dari 0 sampai 2 kg terhadap kecepatan pergerakan linier pengangkut membentuk kurva eksponensial, Semakin besar massa muatan, maka kecepatan motor semakin berkurang. Jika dibandingkan dengan beberapa penelitian maka untuk pengukuran pada kondisi bermuatan menunjukkan bahwa terdapat perubahan kecepatan seiring dengan perubahan muatan, serta adanya kesalahan pengukuran saat pengujian dilakukan dalam kondisi bergerak.



Gambar 9. Grafik pengaruh massa muatan terhadap kecepatan motor DC

Gambar 9 menunjukkan grafik pengaruh penambahan massa muatan terhadap kecepatan motor DC. Semakin besar nilai massa muatan pada pengangkut maka nilai kecepatan motor DC semakin kecil. Hal ini dipengaruhi oleh gaya berat pada gerak translasi dan daya mekanik pengangkut bekerja lebih besar sehingga besar tegangan yang diberikan pada motor DC semakin kecil.

3.5 Pengujian Sensitivitas Sensor Ultrasonik terhadap Jarak Deteksi Halangan

Pengujian sensitivitas deteksi jarak terhadap respon kecepatan pengangkut dilakukan dengan membandingkan jarak acuan pada sudut 90° dengan jarak rata-rata pada sudut 60° dan 120°, dan mengukur kecepatan motor DC dengan jari-jari roda sebesar 2,85 mm, serta menentukan respon pergerakan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian sensitivitas deteksi jarak terhadap respon kecepatan

Massa Nominal (g)	Standar (cm)	θ_{Servo} (°)	Pengukuran Sensor		Rata-Rata Jarak (cm)	Rata-Rata Torsi (rpm)	Error (cm)	Arah Motor DC
			Jarak (cm)	Torsi (rpm)				
0		60	4,11	268,71			-0,11	Kanan
10	4	90	4,03	260,18	4,09	259,45	-0,03	Mundur
20		120	4,13	249,45			-0,13	Kanan
50		60	8,14	239,82			-0,14	Kiri
100	8	90	8,07	231,14	8,11	230,76	-0,07	Mundur
200		120	8,12	221,33			-0,12	Kiri
500		60	10,10	212,07			-0,10	Putar Balik
1000	10	90	10,11	201,19	10,09	202,30	-0,11	Mundur
2000		120	10,05	193,64			-0,05	Putar Balik

Berdasarkan Tabel 1, pada pengujian dengan jarak acuan 8 cm diperoleh nilai rata-rata pengukuran jarak pada sensor ultrasonik sebesar 8,11 cm dan nilai rata-rata pengukuran kecepatan motor DC pada sensor IR Speed sebesar 230,76 rpm dengan respon arah pergerakan motor DC ke arah kiri dan mundur. Pada pengujian dengan jarak acuan 4 cm, 8 cm, dan 10 cm, diperoleh kesalahan pengukuran -0,11 hingga -0,03 dengan pergerakan mundur. Pada pengujian jarak acuan 4 cm, diperoleh kesalahan pengukuran -0,13 hingga -0,11 dengan pergerakan kanan. Pada pengujian jarak acuan 8 cm, diperoleh kesalahan pengukuran -0,14 hingga -0,12 dengan pergerakan kiri. Pada pengujian jarak acuan 10 cm, diperoleh kesalahan pengukuran -0,10 hingga -0,05 dengan pergerakan putar balik.

3.6 Pengujian Konsumsi Daya Listrik Pengangkut

Pengujian konsumsi daya listrik dilakukan dengan menghubungkan *powerbank* dengan komponen elektronika pada pengangkut hingga baterai habis dalam keadaan pengangkut semi-otomatis membawa massa muatan bervariasi seperti pengujian kecepatan pengangkut di bidang datar dalam kondisi dinamis. Untuk menentukan hubungan massa muatan dan daya tahan *powerbank* maka dilakukan pengukuran tegangan *output* dan arus *output* pada sistem prototipe saat beroperasi dalam kondisi optimal. Dengan mengacu pada selisih perubahan daya *powerbank* maka tegangan *output* dan arus *output* pada Tabel 2 diukur hanya pada kondisi pengangkut membawa massa muatan 100 g dan 2000 g.

Tabel 2. Hasil pengujian konsumsi daya listrik pengangkut

Massa Muatan (g)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	$P_{listrik}$ (W)	Kapasitas <i>Powerbank</i> yang digunakan (mAh)	T (menit)	Torsi (rpm)	Konsumsi Daya Listrik Pengangkut (Wh)
100	5,03	2,14	10,76	800	3,5	262,20	0,63
2000	4,97	1,22	6,06	800	24,2	151,51	2,45

Berdasarkan hasil pengujian konsumsi daya listrik pengangkut pada Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin besar massa muatan, maka daya listrik yang dihasilkan semakin kecil dan waktu yang dibutuhkan untuk mengangkut muatan semakin lama karena kecepatan berkurang. Oleh sebab itu, konsumsi daya listrik pengangkut juga semakin bertambah seiring dengan penambahan massa muatan.

Pada saat awal pengujian kapasitas *powerbank* adalah 100% atau 20000 mAh. Pengujian daya listrik *powerbank* dilakukan pada massa muatan 100 g, 200 g, 500 g, 1000 g, dan 2000 g. Setelah semua pengujian dilakukan kapasitas *powerbank* yang tersisa adalah 27% atau 5400 mAh. Selama pengujian didapatkan juga bahwa daya tahan *powerbank* maksimal selama 27,7 menit dengan nilai kecepatan maksimum tanpa muatan secara konstan dan daya tahan *powerbank* minimum sebesar 3,5 menit dengan 50% dari nilai kecepatan maksimum membawa muatan secara konstan. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa kecepatan berbanding lurus dengan tegangan *output* dan berpengaruh pada daya tahan *powerbank*.

4 Kesimpulan

Prototipe ini dapat mengukur massa muatan pada pengangkut dengan berbagai hasil pengujian yaitu sensor *optocoupler* mampu mengukur kecepatan, dan sensor ultrasonik dapat mengukur jarak deteksi halangan dari sudut 0° hingga 180°. Ketika pengangkut diberikan penambahan massa muatan secara bertahap maka akan diperoleh nilai hasil pengukuran kecepatan semakin kecil yaitu saat muatan 10,05 gram rata-rata kecepatan 0,46 m/s², pada muatan 2 kg kecepatan semakin turun yaitu rata-rata 0,004 m/s², menghasilkan kurva eksponensial. Kemampuan motor DC menurun dengan penambahan muatan yaitu dari 239,184 rpm menjadi 166,204 rpm dan begitu juga pada kapasitas *powerbank* dari 20000 mAh menjadi 5400 mAh. Pada kondisi pengukuran dinamis yaitu pengukuran dilakukan saat motor jalan terjadi kesalahan pengukuran rata-rata -0,11 hingga -0,03 cm dengan pergerakan mundur.

Ucapan Terima kasih

Terimakasih diucapkan kepada Akademi Metrologi, Kementerian Perdagangan yang telah memfasilitasi pelaksanaan riset ini.

Referensi

- [1] M. R. Karim, M. A. Baten, and M. A. Mamun, "Analisis Pengaruh Jumlah Kendaraan Bermuatan Terhadap Kapasitas Jalan Raya Menggunakan Software VISSIM (Studi Kasus: Jalan Solo-Boyolali)," in *Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta*, Surakarta, 2014.
- [2] A. Mahmoudabadi and S. M. Seyedhosseini, "Application of Chaos Theory in Hazardous Material Transportation," *Int. J. Transp. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 17–24, 2012, doi: 10.22119/IJTE.2013.2627.
- [3] P. M. N. Manege, E. K. Allo, and Bahrun, "Rancang Bangun Timbangan Digital Dengan Kapasitas 20Kg Berbasis Microcontroller ATmega8535," *E-Journal Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 6, no. 1, pp. 57–62, 2017, doi: 10.35793/jtek.v6i1.16123.

- [4] A. Sitorus, Novrinaldi, and R. Bulan, "Non-invasive moisture content measurement system based on the ESP8266 microcontroller," *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 9, no. 3, pp. 924–932, 2020, doi: 10.11591/eei.v9i3.2178.
- [5] A. M. Shafei and M. H. Korayem, "Theoretical and experimental study of dynamic load-carrying capacity for flexible robotic arms in point-to-point motion," *Optim. Control Appl. Methods*, vol. 38, no. 6, pp. 963–972, 2017, doi: 10.1002/oca.2302.
- [6] M. Meißner and L. Massalski, "Modeling the electrical power and energy consumption of automated guided vehicles to improve the energy efficiency of production systems," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 110, no. 1–2, pp. 481–498, 2020, doi: 10.1007/s00170-020-05796-8.
- [7] E. Prichard, *Analytical Measurement Terminology: Handbook of Terms used in Quality Assurance of Analytical Measurement (Valid Analytical Measurement)*, 1st ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2001.
- [8] L. Khakim and A. D. P. Aji, "Microcontroller-based Smart Trolley Performance Analysis," *West Sci. Interdiscip. Stud.*, vol. 2, no. 03, pp. 511–517, 2024, doi: 10.58812/wsis.v2i03.692.
- [9] N. A. Rawashdeh, R. M. Haddad, O. A. Jadallah, and A. E. To'ma, "A Person-following Robotic Cart Controlled via a Smartphone Application: Design and Evaluation," in *2017 International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)*, Wolfenbuettel, Germany: IEEE, 2017, pp. 1–5. doi: 10.1109/REM.2017.8075245.
- [10] R. Mardiyati, F. Ashadi, and G. F. Sugihara, "Rancang Bangun Prototipe Sistem Peringatan Jarak Aman pada Kendaraan Roda Empat Berbasis Mikrokontroler ATMEGA32," *TELKA J. Telekomun. Elektron. Komputasi, dan Kontrol*, vol. 2, no. 1, pp. 53–61, 2016, doi: 10.15575/telka.v2n1.53-61.
- [11] D. H. Y. Putra and R. Dinzi, "Studi Pengaturan Kecepatan Motor DC Shunt dengan Metode Ward Leonard (Aplikasi pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT USU)," Universitas Sumatera Utara, 2013. [Online]. Available: <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/83166>
- [12] A. W. Ibrahim, T. W. Widodo, and T. W. Supardi, "Sistem Kontrol Torsi pada Motor DC," *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.)*, vol. 6, no. 1, pp. 93–104, 2016, doi: 10.22146/ijeis.10775.
- [13] Sulistiyo et al., "Modifikasi Rancang Bangun Gerobak Sorong Bermesin sebagai Sarana Angkut pada Proses Pengangkutan Material pada Industri Batu Bata," Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya (UNTAG), 2018. [Online]. Available: <https://onsearch.id/Record/IOS19079.922>
- [14] Y. Abdullah Haqiqi, I. M. Suartika, and I. N. Setiawan, "Rancang Bangun Gerobak Sorong Semi-Otomatis Berpenggerak Motor Dc Dengan Menggunakan Metode Pulse Width Modulation," *J. SPEKTRUM*, vol. 9, no. 4, p. 24, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2022.v09.i04.p4.
- [15] W. M. Rumaherang, "Evaluasi Karakteristik Energy Torque Converter Berdasarkan Pengaruh Rasio Putaran Terhadap Koefisien Torsi Dan Efisiensi," *ALE Proceeding*, vol. 2, no. April, pp. 115–120, 2021, doi: 10.30598/ale.2.2019.115-120.
- [16] A. Emara, A. Rusdinar, and R. Nugraha, "Perancangan Algoritma Sistem Penghindar Tabrakan pada Automatic Guided Vehicle (AGV) Menggunakan Sensor Lidar," *e-Proceeding Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 1402–1409, 2017, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/170>
- [17] L. Prasetyo, "Prototype Rancang Bangun Automatic Guided Vehicle (AGV) Berbasis Line Follower," Universitas Negeri Yogyakarta, 2019. [Online]. Available: <http://eprints.uny.ac.id/id/eprint/65843>