

SIMULATOR KENDARAAN TRANSPORTASI CARGO BANDARA BERKAPASITAS ANGKUT 1000 GRAM BERBASIS *LINE FOLLOWER*

Abdul Rofi Zaidan
NPM : 221024007

Email : arofizaidan97@gmail.com

Pembimbing : Bekti Yulianti S.T., M.T.

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Dirgantara dan Industri,
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta.

ABSTRAK

Proses pemindahan kargo dari pesawat ke area penyimpanan dan sebaliknya adalah salah satu aspek yang harus dioptimalkan untuk memastikan efisiensi dan keamanan dalam operasi bandara. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi dan inovasi adalah melalui penggunaan teknologi. Teknologi *line follower* dan *weighing* saat ini telah sangat maju dan menarik, salah satunya bisa diterapkan pada simulator *transport cargo* bandara. Simulator *transport cargo* merupakan sebuah alat yang dapat berjalan sesuai jalur yang dibuat dengan menggunakan sistem *line follower* yang dilengkapi dengan sistem *weighing*. Konsep ini hanya perlu memberi media penggerak berupa lintasan agar bisa dibaca oleh sensor untuk bisa menggerakkan objek mobil *transport cargo*.

Simulator Kendaraan Transportasi *Cargo* Bandara Berkapasitas Angkut 1000 Gram Berbasis *Line Follower* dibuat dengan berbasis *Microcontroller Arduino* dan menggunakan sensor TCRT-5000 berfungsi untuk mendeteksi adanya suatu lintasan yang dibuat untuk mobil kargo. Data dari sensor akan diproses dan kecepatannya dikontrol oleh Motor Driver. Sensor *load cell* digunakan untuk mengukur berat beban dari suatu barang agar diketahui berat beban yang dihasilkan oleh *load cell*, hasil pengukuran berat akan ditampilkan pada layar LCD. Satu buah Buzzer dan LED digunakan sebagai *display* apabila beban melebihi kapasitas yang sudah ditentukan secara otomatis akan menyala. Proses perancangan dan pembuatan konsep *prototype transport cargo* ini terdiri dari beberapa langkah yaitu diawali dengan pembuatan blok diagram, kemudian membuat skematik diagram serta pembuatan bagian *software* seperti pembuatan *flowchart*, *pseudocode*, pemrograman dan pembuatan bagian *hardware* seperti pemasangan dan pengemasan alat.

Dengan implementasi prototipe transportasi kargo bandara ini, kita dapat memahami operasi sistem *line follower* dan sistem penimbangan sesuai dengan yang direncanakan. Secara keseluruhan, kinerja sistem *line follower* dan sistem penimbangan pada prototipe transportasi kargo bandara telah sesuai dengan kemampuan untuk menerima data dari sensor TCRT-5000 dan sensor *load cell* serta menavigasi jalur yang telah ditentukan.

**Kata Kunci : *Transport Cargo*, Sensor TCRT-5000, Motor Driver L298N,
Mikrokontroler Arduino Uno, Sensor *Loadcell***

Email : arofizaidan97@gmail.com

PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri transportasi udara yang semakin pesat, mobilitas barang dan kargo di bandara menjadi semakin penting. Proses pemindahan kargo dari pesawat ke area penyimpanan dan sebaliknya adalah salah satu aspek yang harus dioptimalkan untuk memastikan efisiensi dan keamanan dalam operasi bandara, meskipun perkembangan teknologi dalam industri penerbangan, masih terdapat sejumlah kendala yang dihadapi dalam pengelolaan kargo, seperti kerusakan barang milik penumpang. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi dan inovasi adalah melalui penggunaan teknologi otomasi.

Dari uraian di atas, penulis tertarik membuat simulator transportasi *cargo* sebuah alat yang dapat berjalan sesuai jalur yang dibuat dengan menggunakan sistem navigasi *line follower* yang dilengkapi dengan sistem *weighing*. Maka gagasan tersebut dituangkan dalam penulisan tugas akhir dengan judul “**Simulator Kendaraan Transportasi Cargo Bandara Berkapasitas Angkut 1000 Gram Berbasis Line Follower**”.

Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat diperoleh beberapa rumusan masalah pada Tugas Akhir :

1. Bagaimana memastikan motor DC pada sistem *line follower* menggunakan modul

L298N dapat berputar ke arah yang diinginkan sesuai dengan sinyal kontrol yang diberikan sehingga dapat mengikuti jalur yang ditentukan?

2. Bagaimana performa baterai pada motor driver L298N saat menggerakkan motor, apa yang terjadi selama pengoperasian hingga motor berhenti?
3. Bagaimana akurasi sensor *load cell* dalam mengukur berat, apakah kalibrasi mempengaruhi hasil pengukurannya?

Deskripsi Masalah

Pertumbuhan industri transportasi udara yang semakin pesat, mobilitas barang dan kargo di bandara menjadi semakin penting. Proses pemindahan kargo dari pesawat ke area penyimpanan dan sebaliknya adalah salah satu aspek yang harus dioptimalkan untuk memastikan efisiensi dan keamanan dalam operasi bandara, meskipun perkembangan teknologi dalam industri penerbangan, masih terdapat sejumlah kendala yang dihadapi dalam pengelolaan kargo, seperti kerusakan barang milik penumpang. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi dan inovasi adalah melalui penggunaan teknologi otomasi.

Dalam meningkatkan efisiensi pengoperasian kendaraan kargo di bandara, penerapan teknologi otomatisasi seperti Simulator Kendaraan Transportasi *Cargo* Bandara

Berkapasitas Angkut 1000 Gram Berbasis *Line Follower* menjadi suatu konsep yang sangat relevan. Konsep penggunaan teknologi otomatis dapat mengurangi kontak langsung operator dengan mesin, sehingga mengurangi risiko kecelakaan dan meningkatkan keselamatan.

Berdasarkan uraian diatas, simulator kendaraan transportasi *cargo* bandara berbasis *line follower* perlu dikembangkan. Hal ini dianggap strategis dalam upaya inovasi serta meningkatkan efisiensi, keamanan, dan presisi dalam konsep operasi pengangkutan kargo di bandara

Tinjauan Pustaka

Robot *Line Follower* (Robot Pengikut Garis) adalah robot yang dirancang untuk mengikuti garis pada lintasan yang sudah ditentukan dan termasuk dalam kategori robot *mobile* yang bekerja secara otomatis. Garis yang diikuti bisa berwarna hitam di atas permukaan putih atau sebaliknya.

Cara kerja sistem robot *line follower* dimulai dengan sensor *photodiode* dan LED yang membaca lintasan atau garis. Intensitas pantulan sinar LED berbeda antara bidang pantul gelap dan terang. Perbedaan ini digunakan untuk mendeteksi lintasan atau garis.

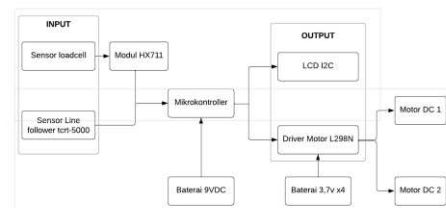
Sistem *weighing* adalah sistem alat yang digunakan untuk mengukur berat suatu objek. Terdapat dua jenis timbangan, yaitu timbangan digital dan timbangan mekanik (atau analog). *Load cell* bekerja berdasarkan

prinsip deformasi material elastis yang mengandung *strain gauge*. Ketika beban diterapkan pada *load cell*, material elastisnya akan berubah bentuk, menyebabkan perubahan resistansi pada *strain gauge*, yang kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik.

Sinyal yang dihasilkan oleh *strain gauge* sangat kecil, sehingga memerlukan penguatan. Sinyal dari *strain gauge* diatur dalam rangkaian jembatan *Wheatstone*, yang merupakan rangkaian pengukur resistansi yang sangat sensitif dan digunakan untuk mendeteksi perubahan kecil pada resistansi *strain gauge*.

Blok Diagram

Blok diagram adalah sebuah gambaran dari sistem atau program yang masing-masing fungsinya diwakili oleh gambar kotak berlabel dan hubungan yang digambarkan diberi garis penghubung untuk mempermudah dan memahami proses pembuatan serta sistem kerja Simulator Kendaraan Transportasi *Cargo* Bandara Berkapasitas Angkut 1000 Gram Berbasis *Line Follower* maka dibuat blok diagram seperti Gambar 1. Blok diagram ini menjelaskan cara kerja alat :



Gambar 1 Blok Diagram

Prinsip Kerja Blok Diagram

a) Sensor TCRT-5000

Sensor TCRT-5000 merupakan sensor inframerah (IR) reflektif terdiri dari sepasang pemancar dan penerima inframerah yang dirancang untuk mendeteksi objek atau permukaan yang berada dalam jarak dekat. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pantulan cahaya inframerah yang dipancarkan oleh LED dan diterima kembali oleh fototransistor.

b) Sensor *Loadcell*

Sensor *load cell* dirancang khusus untuk mendeteksi tekanan atau berat dari sebuah beban. Sensor *load cell* bekerja dengan prinsip mengubah gaya atau tekanan fisik yang diterapkan pada sensor menjadi sinyal listrik yang dapat diukur. Ketika beban ditempatkan di atas sensor *load cell*, ia mengalami deformasi yang menghasilkan perubahan tegangan atau resistansi. Sinyal akan dibaca oleh modul HX711 yang merupakan penguat sinyal (amplifier) dan konverter analog ke digital (ADC) untuk mengolah sinyal kecil yang dihasilkan oleh *load cell* menjadi data digital yang dapat diproses oleh mikrokontroler seperti Arduino.

c) Arduino R3

Blok proses dilakukan oleh mikrokontroler Arduino R3. Mikrokontroler Arduino akan menerima masukan ketika menerima data dari bagian input sensor TCRT-5000 dan sensor *loadcell* yang datanya sudah

diconvert menjadi sinyal digital yang kemudian data tersebut akan ditampilkan di LCD dan diolah menjadi sebuah gerakan ke motor DC.

d) Indikator (LCD, LED dan Buzzer)

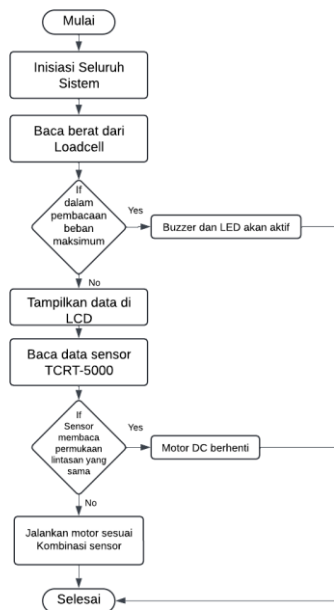
Blok output pada pembuatan alat ini penulis menggunakan LCD dan Buzzer untuk menampilkan dan mengetahui saat beban mencapai titik maksimum 1000 Gram.

e) Motor DC

Motor DC adalah perangkat elektromekanik yang berfungsi mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Kecepatan rotasi motor ini bertambah seiring dengan peningkatan tegangan yang diterapkan, dan arah rotasi akan berubah sesuai dengan polaritas tegangan. Motor DC pada blok diagram berfungsi untuk menggerakkan simulator transportasi *cargo*.

Flowchart Sistem simulator kendaraan transportasi *cargo* bandara berbasis *line follower*.

Flowchart sistem berfungsi untuk memberikan pemahaman tentang fungsi dan cara kerja secara rinci, menggambarkan rangkaian dalam bentuk simbol beserta sambungannya. *Flowchart sistem Simulator Kendaraan Transportasi Cargo Bandara Berkapasitas Angkut 1000 Gram Berbasis Line Follower* pada Gambar 2.



Gambar 2 Schematic Simulator Transportasi Cargo bandara

Pada tahap ini, semua komponen dalam sistem diinisialisasi. Ini mencakup sensor TCRT-5000 (IR) untuk mendeteksi garis, sensor *load cell* untuk mengukur berat, motor DC untuk pergerakan, LCD untuk menampilkan informasi, serta LED dan buzzer sebagai indikator alarm. Sensor *load cell* mulai mengukur berat objek yang berada di atasnya. Data ini kemudian akan digunakan untuk menentukan tindakan selanjutnya dalam alur kerja. Kondisi ini memeriksa apakah berat yang diukur oleh sensor *load cell* mencapai atau melebihi batas maksimum yang telah ditetapkan. Jika berat maksimum terdeteksi, Buzzer dan LED akan aktif untuk memberikan peringatan visual dan suara bahwa berat maksimum telah tercapai. LCD akan menampilkan pesan peringatan, memberitahukan bahwa berat

yang diukur sudah mencapai batas maksimum. Motor diberhentikan untuk mencegah pergerakan lebih lanjut, yang mungkin diperlukan untuk keamanan atau stabilitas sistem.

Selanjutnya sistem akan melanjutkan kembali untuk menampilkan data berat pada LCD. Berat yang diukur oleh sensor *load cell* ditampilkan di LCD. Tujuannya memberikan informasi mengenai berat objek yang sedang diukur. Selanjutnya sistem akan membaca input dari sensor TCRT-5000 yang digunakan untuk mendeteksi garis. Sensor ini digunakan dalam sistem *line follower* untuk menentukan arah pergerakan robot atau kendaraan. Sistem membaca status dari lima sensor TCRT-5000 yang terpasang dibawah *transport cargo*. Setiap sensor memberikan sinyal apakah ada objek lintasan yang terdeteksi atau tidak di posisinya masing-masing. Berdasarkan pembacaan dari sensor TCRT-5000, Jika sensor membaca garis lintasan dengan warna yang sama, motor DC secara otomatis akan berhenti. Jika sensor mendeteksi perbedaan warna jalur, Motor DC akan bergerak sesuai dengan input dari sensor TCRT-5000. Kombinasi ini menentukan apakah motor DC akan bergerak maju, belok kiri, belok kanan, atau berhenti. LCD akan memperbarui data dengan menampilkan informasi mengenai berat yang terbaca, status motor, dan arah gerak. Tampilan ini memberikan informasi *real-time*. Data yang terbaca dari sensor TCRT-5000,

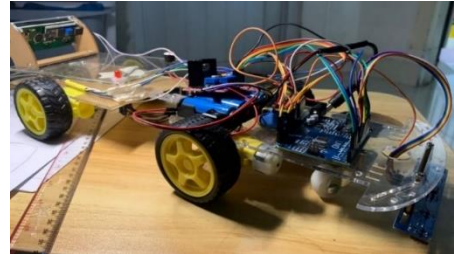
loadcell, dan arah gerak motor bisa dilihat pada Serial Monitor untuk *debugging* atau pemantauan sistem secara langsung melalui komputer.

Jadi sistem ini bekerja secara terus-menerus membaca input dari *load cell* dan sensor TCRT-5000, memprosesnya untuk mengendalikan motor dan alarm, serta menampilkan informasi pada LCD dan Serial Monitor. Dengan alur ini, sistem dapat melakukan pemantauan berat dan deteksi objek di sekitar secara otomatis dan real-time, serta mengambil tindakan yang sesuai berdasarkan kondisi yang terdeteksi.

Pemasangan Komponen Simulator Kendaraan Transportasi *Cargo Bandara* Berkapasitas Angkut 1000 Gram Berbasis *Line Follower*.

Pada tahap pembuatan ini struktur utama yang digunakan itu akrilik yang sudah dipotong dengan *cutting*, memiliki panjang 19cm dan lebar 9,9 cm pada bagian depan dan bagian belakang bak terbuka memiliki panjang 17 cm dan lebar 10,5 cm. Akrilik digunakan sebagai bahan utama untuk case dan struktur karena kekuatannya serta kemampuan untuk dipotong dengan presisi tinggi. Komponen sensor tcrt-5000 dipasang dibagian depan bawah mobil untuk ngedeteksi jalur dan sensor *loadcell* yang ditempatkan di bagian belakang bawah area penyimpanan objek, seluruh komponen akan dipasang pada struktur akrilik yang dapat

dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Pemasangan Komponen Simulator Kendaraan Transportasi *Cargo Bandara* Berkapasitas Angkut 1000 Gram Berbasis *Line Follower*

UJI FUNGSI

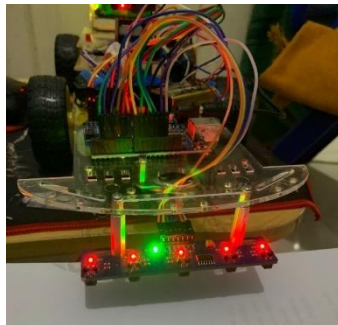
Pada tahap uji fungsi ini dilakukan agar dapat mengetahui keakuratan dan kinerja dari perangkat yang sudah dirancang dan dibangun sebelumnya apakah bekerja dengan baik dan berfungsi sebagaimana mestinya.

A. Uji Fungsi Penggunaan Alat

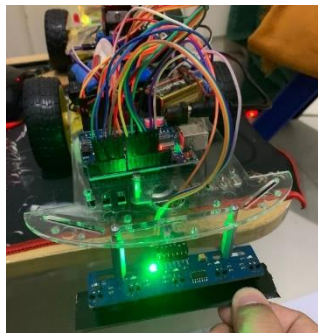
Pada uji fungsi ini penulis melakukan pengoperasian Simulator Kendaraan Transportasi *Cargo Bandara* Berkapasitas Angkut 1000 Gram Berbasis *Line Follower*. Pertama, untuk mengaktifkan alat ini dengan cara menghidupkan Arduino dengan menghubungkan konektor baterai ke Arduino yang ditandai dengan seluruh lampu menyala. LCD display akan menampilkan informasi awal yang menunjukkan bahwa sistem siap digunakan. Letakkan simulator di atas jalur yang sudah disiapkan. Letakkan beban di atas platform cargo pada simulator. Baca hasil pengukuran dari load cell yang ditampilkan di LCD display. Setelah itu *switch toggle*

ke posisi *on* maka motor driver sebagai pengatur motor DC akan aktif, setelah itu akan berjalan sesuai dengan jalur yang sudah ditentukan.

Pengujian Pembacaan Sensor Line Followers TCRT-5000 dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 Pengujian dengan permukaan warna terang



Gambar 6 Pengujian dengan permukaan warna gelap

Berdasarkan hasil uji yang sudah dilakukan maka didapatkan hasil dari uji fungsi bahwa :

1. *Power input* dari *Battery* masuk ke Arduino dan Driver Motor L298N (Berhasil).
2. Pembacaan pada Sensor TCRT-5000 untuk mendeteksi garis berupa jalur hitam di atas permukaan putih atau sebaliknya (Berhasil).

B. Pengujian Arah Putar Motor DC pada Modul L298N.

Pengujian arah putar motor DC merupakan salah satu langkah penting dalam pengembangan dan pengujian sistem *line follower* yang menggunakan modul L298N sebagai pengendali motor. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa motor DC dapat berputar ke arah yang diinginkan (searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam) sesuai dengan sinyal kontrol yang diberikan. Pengujian ini juga penting untuk menjamin bahwa sistem *line follower* dapat mengikuti jalur yang ditentukan secara akurat dengan merespons perubahan arah yang sesuai. Hasil pengujian putaran arah roda motor DC sesuai dengan kondisi berputarnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian

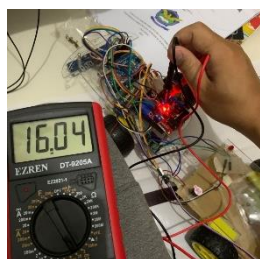
| Pengujian ke | Kondisi | Putaran motor DC | | Arah Putaran Motor | |
|--------------|-------------|------------------|-------|--------------------|------------|
| | | Kiri | Kanan | Kiri | Kanan |
| 1 | Lurus | Gerak | Gerak | kedepan | kedepan |
| 2 | Belok kiri | Gerak | Gerak | kebelakang | Kedepan |
| 3 | Belok Kanan | Gerak | Gerak | kedepan | kebelakang |
| 4 | Berhenti | Diam | Diam | Diam | Diam |

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 1 merupakan uji fungsi motor DC. Hasil pengujian yang didapat driver motor L298N bekerja sesuai dengan perintah dari sensor TCRT-5000.

C. Pengujian Performa Baterai saat terpasang pada Motor Driver.

Pengujian baterai saat terpasang pada motor driver L298N merupakan langkah penting untuk

memahami bagaimana baterai berperforma di bawah beban motor yang dikontrol oleh driver. Dalam pengujian akan memantau tegangan baterai dari kondisi penuh hingga motor drop tidak bisa bergerak. Hal ini bertujuan untuk menentukan durasi pengoperasian dari baterai. Setelah itu semua sistem dinyalakan dan biarkan mobil berjalan pada kecepatan tertentu dan melintasi rute yang telah ditentukan. Lalu mengamati dan catat tegangan baterai saat sudah dicek pada interval waktu setiap interval 30 detik. Setelah sampai interval 300 detik melakukan pengecekan menggunakan multimeter, selanjutnya akan melihat hasil dengan tujuan memberikan gambaran secara riil mengenai bagaimana baterai berperforma di bawah kondisi operasional sebenarnya saat digunakan dengan motor driver L298N dengan beban dua motor. Pengujian performa baterai dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Pengujian Performa Baterai

Pengujian performa baterai merupakan proses penting untuk memahami bagaimana baterai berfungsi dalam aplikasi sebenarnya. Dalam hal ini, pada motor driver. Setelah mengetahui voltase baterai setiap interval 30

sampai 300 detik tanpa beban, selanjutnya menghitung pengurangan baterai dari setiap interval lalu persentase penurunan, tujuannya agar mengetahui setiap pengurangan tanpa beban dengan PWM 40. Berikut rumus perhitungan yang dilakukan pada saat pengujian.

$$\text{Persentase Penurunan} = \frac{\text{Pengurangan Tegangan}}{\text{Tegangan Awal}} \times 100$$

Berikut Data pengurangan tegangan tanpa beban dan Data pengurangan tegangan dengan beban 500gram dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 Data pengurangan tegangan tanpa beban

| Waktu (detik) | Voltase (V) | Pengurangan voltase (V) | Persentase Penurunan (%) |
|---|-------------|-------------------------|--------------------------|
| 30 | 16.00 | 0.04 | 0.25 |
| 60 | 15.97 | 0.03 | 0.19 |
| 90 | 15.94 | 0.03 | 0.19 |
| 120 | 15.92 | 0.02 | 0.12 |
| 150 | 15.89 | 0.03 | 0.19 |
| 180 | 15.86 | 0.03 | 0.19 |
| 210 | 15.83 | 0.03 | 0.19 |
| 240 | 15.80 | 0.03 | 0.19 |
| 270 | 15.78 | 0.02 | 0.12 |
| 300 | 15.75 | 0.03 | 0.19 |
| Rata-rata <u>Persentase Penurunan Voltase</u> | | | 0.13 |

Tabel 5 Data pengurangan tegangan dengan beban 500gram

| Waktu (detik) | Voltase tanpa beban (V) | Pengurangan voltase (V) | Persentase Penurunan (%) |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 30 | 15.99 | 0.05 | 0.31 |
| 60 | 15.94 | 0.05 | 0.31 |
| 90 | 15.90 | 0.04 | 0.25 |
| 120 | 15.85 | 0.05 | 0.31 |
| 150 | 15.81 | 0.04 | 0.25 |
| 180 | 15.76 | 0.05 | 0.31 |
| 210 | 15.72 | 0.04 | 0.25 |
| 240 | 15.68 | 0.04 | 0.25 |
| 270 | 15.63 | 0.05 | 0.31 |
| 300 | 15.55 | 0.08 | 0.50 |
| Rata-rata <u>persentase penurunan Voltase</u> | | | 0.27 |

D. Pengujian akurasi sensor *loadcell*

Akurasi merupakan salah satu parameter penting yang diuji dalam sistem pengukuran menggunakan *loadcell*. Akurasi mengacu pada seberapa dekat hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya atau nilai standar. Dalam hal ini, pengujian akurasi bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan *loadcell* dalam mengukur berat dengan tepat dan konsisten.

Akurasi pengukuran didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai yang diukur dengan nilai sebenarnya atau nilai referensi yang diketahui. Akurasi diukur dalam bentuk persentase dari beban penuh atau sebagai error absolut dalam satuan berat. Rumus untuk akurasi pengukuran adalah:

$$Error = \frac{W_{measured} - W_{true}}{W_{true}} \times 100\%$$

Saat seluruh komponen sudah terhubung, sensor *loadcell* akan terlebih dahulu dilakukan kalibrasi yang bertujuan untuk memastikan bahwa perangkat tersebut memberikan hasil pengukuran dan konsisten sesuai dengan standar dan juga memperbaiki deviasi atau ketidakcocokan dalam pengukuran *loadcell* dalam membandingkan hasil pengukuran *loadcell* dengan standar referensi yang terukur

secara akurat. Proses pengujian akurasi *loadcell* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Pengujian Akurasi sensor *loadcell*

Pada saat dilakukan pengujian akurasi, beban standar ditempatkan pada *loadcell* secara berurutan mulai dari 100 g hingga 1000 g. Lalu data hasil akurasi akan dicatat. Sampel data secara *realtime* dapat dilihat pada Gambar 9.

```
08:35:53.091 -> 0 0 0 0 501.60
08:35:53.184 -> 0 0 0 0 501.27
08:35:53.277 -> 0 0 0 0 500.91
08:35:53.370 -> 0 0 0 0 500.92
08:35:53.463 -> 0 0 0 0 500.72
```

Gambar 9 Sampel data secara *realtime*

Data diatas diperoleh dari pembacaan *Serial Monitor* yang ada pada Arduino IDE, jadi saat beban diletakkan di permukaan *loadcell*, secara otomatis akan menampilkan berat yang diuji. Sehingga hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Data pengujian akurasi *loadcell*

| Beban Referensi (g) | Berat yang diukur (g) | Error Relatif (%) |
|-------------------------|-----------------------|-------------------|
| 100 | 100.39 | 0.39 |
| 200 | 200.89 | 0.45 |
| 300 | 300.15 | 0.05 |
| 400 | 400.05 | 0.01 |
| 500 | 500.08 | 0.01 |
| 600 | 600.02 | 0.003 |
| 700 | 700.10 | 0.01 |
| 800 | 800.15 | 0.018 |
| 900 | 900.06 | 0.006 |
| 1000 | 1000.21 | 0.02 |
| Rata-rata error Relatif | | 0.77 |

Dari data berdasarkan Tabel diatas menunjukkan bahwa akurasi yang tinggi, dengan error relatif rata-rata sebesar 0.77%. Ini berarti pengukuran berat oleh *load cell* mendekati nilai beban referensi dengan penyimpangan yang sangat kecil.

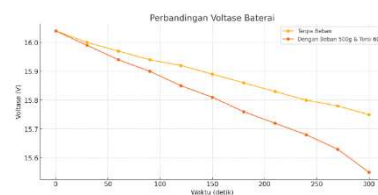
E. Analisa Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil dari pengujian yang telah dilakukan, Simulator Kendaraan Transportasi *Cargo* Bandara Berkapasitas Angkut 1000 Gram Berbasis *Line Follower* ini terdapat beberapa hal yang menjadi acuan dalam analisis hasil pengujian alat yaitu:

1. Tingkat akurasi dan responsivitas sensor *line follower tcrt-5000* dalam mengikuti lintasan bekerja sesuai dengan sistem yang telah diuji dan dapat diolah oleh arduino sehingga menghasilkan pergerakan pada motor sesuai dengan yang sudah ditetapkan

dan diujikan arah putar motor.

2. Hasil dari pengujian baterai yang terpasang pada motor driver L298N digambarkan dalam grafik data analisa pengujian tegangan baterai yang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik perbandingan

Kondisi tanpa beban dengan PWM 40 menunjukkan penurunan tegangan yang sangat stabil dan kecil, mengindikasikan bahwa baterai bekerja efisien tanpa tekanan tambahan. Kondisi dengan beban 500 gram dan PWM 60 menunjukkan penurunan tegangan yang lebih cepat dan tidak stabil, menandakan bahwa beban memberikan tekanan tambahan yang signifikan pada baterai, menyebabkan degradasi tegangan yang lebih cepat. Dari dua kondisi tersebut, kinerja baterai paling optimal tanpa beban, di mana penurunan tegangan paling kecil dan stabil. Dengan beban, kinerja menurun lebih cepat, dan

- ini perlu diperhitungkan dalam aplikasi yang memerlukan beban berat atau penggunaan intensif.
- Hasil dari pengujian sensor *loadcell* digambarkan dalam grafik data pengujian sensor *loadcell* yang dapat dilihat pada Gambar 4.11



Gambar 11 Grafik data *loadcell*

Data diatas menunjukkan akurasi *loadcell* yang tinggi dengan rata-rata error relatif hanya sebesar 0.77%. Ini berarti bahwa hasil pengukuran berat mendekati nilai beban referensi dengan penyimpangan yang kecil. Grafik perbandingan menunjukkan bahwa berat yang diukur hampir selalu mengikuti garis beban referensi. Ini menunjukkan bahwa load cell memberikan hasil pengukuran yang konsisten. Penyimpangan terbesar terjadi pada beban 100g dengan error relatif 0.51%, sedangkan penyimpangan terkecil terjadi pada beban 600g

dengan error relatif 0.0033%. Penyimpangan ini masih dalam batas yang dapat diterima untuk banyak aplikasi praktis.

Kesimpulan

Dari pembahasan masalah diatas penulis mendapatkan beberapa kesimpulan dari pembuatan Simulator Kendaraan Transportasi *Cargo* Bandara Berkapasitas Angkut 1000 Gram Berbasis *Line Follower* yaitu sebagai berikut:

- Hasil pengujian arah putar motor DC, sistem berhasil mengontrol arah putaran motor sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Ini menunjukkan bahwa pengendalian arah putaran motor DC menggunakan modul L298N sesuai dengan program, memungkinkan sistem *line follower* untuk merespons perubahan arah dengan tepat.
- Pengujian performa baterai yang terpasang pada motor driver L298N memberikan gambaran bahwa Baterai mengalami penurunan tegangan yang lebih signifikan ketika diberi beban dengan persentase penurunan 0.27% dibandingkan tanpa beban dengan persentase penurunan 0.13%, menunjukkan bahwa beban tambahan meningkatkan laju penurunan tegangan baterai. Persentase penurunan tegangan juga lebih tinggi dengan beban, terutama pada

interval waktu yang lebih panjang, menandakan bahwa beban mempengaruhi performa baterai lebih banyak.

3. Sensor *load cell* menunjukkan performa yang sangat baik dalam hal akurasi pengukuran berat. Error relatif dari pengukuran antara 0.003% hingga 0.45%, dengan rata-rata error relatif 0.77. Hal ini menunjukkan bahwa sensor *load cell* mampu mengukur berat dengan ketepatan tinggi dan konsistensi yang sesuai.

Daftar Pustaka

1. Budiharto, W., (2005), Panduan Lengkap Belajar Mikrokontroler Perancangan Sistem dan Aplikasi Mikrokontroler, PT Elex Media Komputindo, Jakarta
2. T. D. T. et al., "Automated Cargo Handling in Airports: An Overview," Journal of Transportation and Logistics, vol. 8, no. 2, pp. 125-135, 2021.
3. R. Rais and I. Pudja Hardjana, "Perancangan Robot Pemindah Barang Line Follower Berbasis Mikrokontroler PIC16F877," Smart Comp Jurnalnya Orang Pint. Komput., vol. 7, no. 2, pp. 267–273, Jul. 2018, doi: 10.30591/smartcomp.v7i2.969
4. S. A. Siregar, "Sistem Pengendali Line Follower Pengangkat Barang," p. 64, 2015.
5. Nego Adi Setiawan, A. B. E. T. "Rancang Bangun Prototipe Sistem Cerdas Perparkiran Mobil Menggunakan TCRT5000 Berbasis Arduino Dengan Kendali Terpusat." Skripsi (2018)
6. Djuandi, Feri. "Pengenalan arduino." E-book. www.tobuku 24 (2011)
7. Santoso, Budi. Pengenalan Sistem Robot dan Kontrol. Depok: Penerbit Universitas Indonesia, 2020.
8. Supriyanto, Eko. Instrumentasi Elektronik: Teori dan Aplikasi. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2018.
9. Wicaksono, I. Penerapan Mikrokontroler dalam Robotika. Jakarta: Elex Media Komputindo, 2019.

10. Wibowo, B. Dasar-Dasar Sensor dan Aktuator. Bandung: Informatika, 2017.
11. Hidayat, R. Dasar-Dasar Robotika dan Pengendalian. Yogyakarta: Andi, 2018.
12. Prabowo, D. S. Pengantar Teknik Instrumentasi. Jakarta: Epsilon, 2021.

