# Rancang Bangun *Prototype Follower Cargo Cart with Obstacle Avoider* Berbasis Arduino Uno

Aprilliyan Manuel Sudiro[1], Marson Ady Putra[2], Erry Yadie[3]
[1,2,3] Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
marson@polnes.ac.id

**Abstrak, Pemindahan barang di bidang industri sering kali dalam jumlah yang banyak dan dalam rentang yang cukup sering. Pemindahan barang biasanya menggunakan Kargo pendorong dan mengakibatkan dapat menguras tenang yang cukup banyak oleh pekerja. Untuk mengatasi penggunaan tenaga yang begitu banyak pada penelitian ini dirancang sebuah *Cargo Cart* yang dapat digunakan untuk mengangkut barang dalam jumlah yang banyak seperti mobil kargo pada umumnya, namun dalam bentuk prototype yang lebih kecil. Alat ini dirancang agar dapat bekerja seperti *follower*, yang artinya *Cargo Cart* akan bergerak mengikuti objek yang ada di depannya dengan menggunakan tiga buah sensor ultrasonik yang disematkan pada bagian depan *Cargo Cart*. Sensor ultrasonik ini sebagai pengukur jarak antara *Cargo Cart* dan objek yang mana akan menjadi masukan dari Arduino Uno untuk mengkontrol 2 Motor penggerak sehingga jarak keduanya akan tetap berada pada jarak 250 cm. Selain itu pula apabila *Cargo Cart* mendeteksi objek diantara jarak 50 cm sampai 80 cm maka motor penggerak akan berhenti dan mengganggap bahwa objek tersebut sebagai penghalang dan akan memberikan peringatan kepada user yaitu suara buzzer bahwa *Cargo Cart* dalam kondisi berhenti.**

***Kata kunci:*** **Sensor ultrasonik, *Cargo Cart*, objek, *obstacle avoider*, Arduino Uno, *follower***

## I. PENDAHULUAN

Pada era modern ini, alat bantu untuk memudahkan pekerjaan manusia semakin beragam dan inovatif, mulai dari peralatan yang sederhana hingga yang kompleks. Salah satu prinsip kerja dari pesawat sederhana yang sering kita temui adalah roda dan poros yang berfungsi untuk memudahkan manusia saat memindahkan sebuah benda. Untuk memindahkan berbagai macam barang, baik yang ringan maupun yang berat dalam dunia industri khususnya industri *manufacturing* penggunaan pesawat sederhana ini sangatlah penting, sebab banyak sekali persediaan barang yang memerlukan media sebagai alat pemindah barang yang efektif serta cepat.

*Cargo Cart* adalah alat yang berbentuk seperti mobil kargo yang berfungsi untuk mengangkut barang-barang yang ringan atau berat, dan dalam jumlah yang sedikit atau banyak. Alat ini merupakan salah satu dari banyaknya sarana yang dapat menjadi alat bantu untuk mempersingkat waktu kerja serta dapat menghemat tenaga agar bisa menjaga keefisienan pekerja.

Dalam dunia industri, baik itu jasa (pelayanan) maupun barang (*manufacture*), pastinya memerlukan media yang bisa mempermudah pekerjaan para pekerjanya. Pada tempat produksi semacam pabrik, bukanlah tidak mungkin jika tidak memiliki banyak sekali tempat-tempat khusus dalam melakukan produksi, sehingga hal ini akan memudahkan pekerjanya untuk memindahkan barang dari gedung yang satu ke gedung yang lainnya.

Dalam hal ini *Cargo Cart* akan dikembangkan dan secara otomatis berjalan sendiri mengikuti manusia atau objek yang ada di depannya dengan rentang jarak tertentu, dan berhenti ketika mendeteksi adanya objek yang menghalanginya. Peneliti tentang *Prototype* Keranjang Belanja Pintar menggunakan 1 sensor ultrasonik untuk mendeteksi objek dan mengikutinya [1]. Pada penelitian tersebut tidak memiliki luas bidang pembacaan objek yang luas dikarenakan hanya ada 1 sensor pembaca objek. Sehingga pada perancangan ini digunakan sensor ultrasonik sebanyak 3 sensor agar memiliki luasan mendeteksi objek yang lebih baik. Faktor akurasi sensor ultrasonik bukan hanya menambah jumlah sensor tetapi harus melihat sejauh mana sensor itu dapat mendeteksi objek, penetuan sudut radiasi sensor ultrasonik dan penentuan sudut peletakan ketekan sensor [2]. Sehingga pada perancangan ini peletakan 3 sensor *Cargo Cart* dirancang agar mampu memaksimalkan kinerja sensor mendeteksi objek. Selain fokus dalam kinerja sensor diperlukan pula kemampuan merancang sistem penggerak robot yang mampu tetap berjalan dengan beban yang banyak. Penggunaan *Driver* motor VNH2SP30 dengan meotor yang memiliki torsi yang besar sudah sangat mampu digunakan untuk robot-robot pembawa barang [3]. Sehingga dari penilitan tersebut maka robot *Cargo Cart* ini dirancang agar dapat membawa barang dengan beban yang berat sehingga sistem penggeraknya menggunakan *Driver* motor VNH2SP30 yang dikontrol langsung oleh Arduino Uno sebagai otak *Prototype Follower Cargo Cart*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. *Arduino Uno*

Arduino adalah perangkat keras *open-source* yang dapat digunakan untuk mengembangkan sistem tertanam dengan perangkat lunak sumber terbuka. Arduino telah mendapatkan popularitas besar di kalangan pelajar dan penggemar pembuat model kerja. Alasan dibalik popularitas Arduino adalah biaya rendah, ketersediaan perangkat lunak, dan kemungkinan antarmuka yang mudah. Buku ini telah menggunakan kode *board* Arduino UNO karena merupakan *board* paling populer di keluarga Arduino. Arduino UNO adalah papan berbasis mikrokontroler yang memiliki mikrokontroler Atmega328 dari Atmega (sekarang MicrochipTM). Rentang tegangan *input* yang diperlukan untuk pengoperasian *board* Arduino UNO adalah 6–20 V, tetapi rentang tegangan *input* yang disarankan

Submitted: 18/12/2022; Revised: 20/12/2022;
Accepted: 30/12/2022; Online first: 30/12/2022
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v3i2.1717

adalah 7–12 V. Jika tegangan input kurang dari 7 V, pin *output* digital dapat memasok kurang dari 5 V, dan papan mungkin tidak stabil. Arus keluaran dari setiap pin Arduino UNO adalah 40 mA [4].

Pada perancangan penelitian ini digunakan jenis papan Arduino Uno R3. Arduino Uno adalah sebuah *board* mikrokontroler yang didasarkan pada mikrokontroler Atmega328P seperti pada Gambar 1 dan spesifikasinya yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Gambar 1. Papan Arduino Uno R3

TABEL 1
SPESIFIKASI PAPAN ARDUINO UNO R3

| Nama | Keterangan |
|---|---|
| Mikrokontroler | Atmega328P |
| Tegangan pengoperasian | 5V Tegangan *input* yang disarankan: 7-12V |
| Batas tegangan *input* | 6-20V |
| Jumlah pin I/O digital | 14 |
| Jumlah pin *input* analog | 6 |
| Arus DC tiap pin I/O | 40 mA |
| Arus DC untuk pin 3.3V | 50 mA |
| Memori | 32 KB (Atmega328), sekitar 0.5 KB digunakan oleh *bootloader* |
| SRAM | 2 KB (Atmega328P) |
| EEPROM | 1 KB (Atmega328P) |
| *Clock Speed* | 16 MHz |

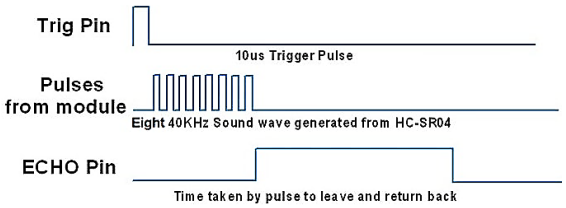
### B. *Sensor Ultrasonik*

Ultrasonik adalah gelombang suara atau getaran dengan frekuensi yang sangat tinggi untuk bisa didengar oleh telinga manusia. Ultrasonik bergetar dalam rentang lebih besar dari 20 kHz. Ultrasonik juga dapat dijelaskan secara sederhana sebagai gelombang di atas frekuensi gelombang suara. Sensor ini merupakan sensor utama untuk navigasi dan penghindar halangan, yaitu dengan memasangnya pada bagian depan robot atau kendaraan, sehingga terlihat sebagai mata. Sensor ini akan mengukur jarak dari objek yang ada dihadapannya sebagai input dengan jarak yang telah ditentukan [5].

Sensor jarak ultrasonik merupakan sebuah sensor yang mampu mendeteksi adanya objek bekisar antara 2 cm – 450 cm. Namun penggunaan sensor jarak ultrasonik ini perlu diuji akurasinya karena sensor ini merupakan sensor yang sangat vital. Jika terjadi eror pada sensor ini maka suatu alat tidak akan bisa menjalankan misinya dengan baik. Pada penelitian ini sensor ultrasonik yang digunakan yaitu modul sensor HC-SR04 dengan bentuk dan konfigurasi pin seperti Gambar 2.

Gambar 2. Bentuk dan konfigurasi pin sensor ultrasonik HC-SR04

Sensor ini memiliki tegangan kerja sebesar 5 VDC serta arus kerja sebesar 15 mA. Untuk menghasilkan *ultrasound*, kita perlu mengatur pin *Trigger* pada status tinggi selama 10µs. Itu akan mengirimkan ledakan 64etik 8 siklus yang akan berjalan dengan kecepatan suara dan akan diterima di pin *Echo*. Pin *Echo* akan menampilkan waktu gelombang suara yang ditempuh dalam mikrodetik seperti pada Gambar 3.

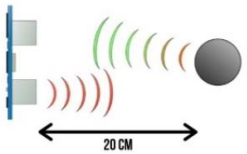



Gambar 3. Diagram waktu modul ultrasonik HC-SR04 [5]

Misalnya, jika objek berjarak 20 cm dari sensor, dan kecepatan suara 340 m/s atau 0,034 cm/µs, gelombang suara perlu merambat sekitar 588 mikrodetik. Tetapi yang didapatkan dari pin *Echo* akan menjadi dua kali lipat karena gelombang suara bergerak maju dan memantul ke belakang. Jadi untuk mendapatkan jarak dalam cm kita perlu mengalikan nilai waktu tempuh yang diterima dari pin *Echo* dengan 0,034 lalu dibagi 2 seperti yang terlihat pada Gambar 4 [5].

Kecepatan suara:

$$v = 340\ m/s$$
$$v = 0{,}034\ m/\mu s$$
$$Waktu = \frac{jarak}{kecepatan}$$
$$t = s/v$$
$$= 20/0{,}034$$
$$= 588\mu s$$
$$s = t \times 0{,}034\ /2$$



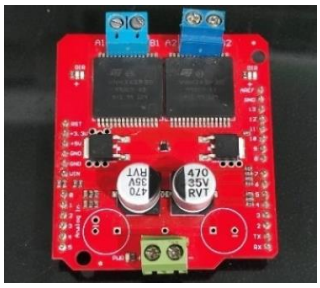

Gambar 4. Perhitungan jarak sensor ultrasonik HC-SR04 [6]

### C. *Driver Motor DC*

*Driver* motor yang digunakan yaitu *driver* motor VNH2SP30. VNH2SP30 adalah shield h-bridge atau motor *driver* yang berfungsi untuk mengontrol 2 buah motor DC atau 1 buah *stepper* bipolar dengan kemampuan arus kontinyu sampai dengan 14 A per *channel* dan arus *peak* sampai dengan 30 A per *channel*. Bentuk modul ini adalah *shield* sehingga bisa

Submitted: 18/12/2022; Revised: 20/12/2022;
Accepted: 30/12/2022; Online first: 30/12/2022
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v3i2.1717

dipasang langsung diatas Arduino Uno, Mega, dsb [7]. *Driver* motor VNH2SP30 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pin I/O *driver* motor VNH2SP30

Konfigurasi pin *driver* berdasarkan warna pin I/O dapat dilihat pada Tabel 2 dan spesifikasi *driver* dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL 2
KONFIGURASI PIN I/O *DRIVER* MOTOR VNH2SP30 [7]

| No. | Colour | Description |
|---|---|---|
| VCC | | Power Supply |
| GND | | Ground |
| A0 | | Enable for motor 1 |
| A1 | | Enable for motor 2 |
| A2 | | Current sensor for motor 1 |
| A3 | | Current sensor for motor 2 |
| D7 | | Clockwise for motor 1 |
| D8 | | Counterclockwise for motor 1 |
| D4 | | Clockwise for motor 2 |
| D9 | | Counterclockwise for motor 2 |
| D5 | | PWM for motor 1 |
| D6 | | PWM for motor 2 |

TABEL 3
SPESIFIKASI *DRIVER* MOTOR VNH2SP30 [8]

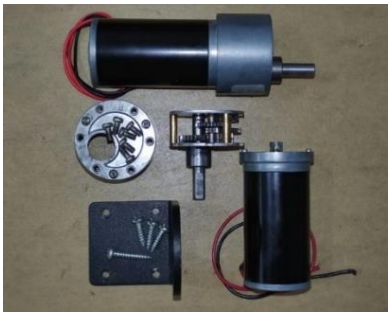
| Nama | Keterangan |
|---|---|
| *Voltage max* | 16 V |
| *Maximum current rating* | 30 A |
| *Practical Continuous Current* | 14 A |
| *MOSFET on-resistance* | 19 mΩ (*per leg*) |
| *Maximum PWM frequency* | 20 kHz |

*Driver* ini juga sudah dilengkapi dengan fitur *Thermal Shutdown* serta *Undervoltage and Overvoltage Shutdown* untuk menjaga keandalan motor dan *driver* motor tersebut.

### *D. Gearbox Motor DC*

Motor DC (*Dirrect Current*) merupakan sebuah peralatan elektromekanik dasar yang bekerja pada arus searah yang digunakan untuk merubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik. Dengan demikian, pada motor DC putaran yang dihasilkan akan berbalik arah jika tegangan yang memiliki polaritas dirubah. Tegangan operasional motor DC bervariasi mulai dari 1,5 V sampai 24 V, dengan kecepatan putar motor bervariasi juga. Mikrokontroler tidak bisa mengendalikan motor DC secara langsung, karena pada mikrokontroler kebutuhan arusnya sangat kecil sedangkan pada motor DC kebutuhan arusnya besar. Alternatif yang biasa digunakan untuk menggerakkan motor DC adalah *driver* motor [9].

Motor nantinya akan terhubung dengan *gearbox* supaya mendapatkan torsi yang besar dari kecepatan putaran motor yang tinggi. Prinsip ini sama seperti kendaraan yang menggunakan *versnelling* rendah untuk mendapatkan torsi yang besar ketika melalui tanjakan. Penggunaan *gearbox* juga bertujuan untuk menghasilkan *output* putaran yang lebih rendah namun dengan kemampuan daya dorong yang lebih bertenaga. Pada penelitian ini motor yang digunakan adalah motor *brushed* DC 12 V dengan kecepatan 144 rpm dan torsi mencapai 11,2 kg/cm seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. *Gearbox brushed* motor DC 12 Volt

### *E. Baterai*

Baterai merupakan suatu sel listrik di mana di dalamnya terjadi elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Reaksi elektrokimia *reversible* adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda – elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewatkan arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan di dalam sel. Baterai terdiri dari 2 jenis, yaitu:

1) Baterai primer adalah baterai yang hanya dapat digunakan sekali saja dan dibuang. Material elektrodanya tidak dapat berkebalikan arah ketika dilepaskan. Baterai primer terdiri dari beberapa jenis, diantaranya:
   a. Baterai zinc-carbon
   b. Baterai Alkaline
   c. Baterai Lithium
   d. Baterai Silver Oxide
2) Baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan dan diisi ulang beberapa kali, proses kimia yang terjadi di dalam baterai ada *reversibel*, dan bahan aktif dapat kembali ke kondisi semula dengan pengisian sel. Baterai sekunder sendiri terdapat banyak jenisnya di pasaran, antara lain:
   a. Baterai Ion Litium (Li-ion atau LIB)
   b. Baterai Lithium Polymer (Li-Po)
   c. Baterai Lead Acid (Accu)
   d. Baterai Nickel-Metal Hydride (Ni-MH)

Pada penelitian ini baterai yang gunakan adalah baterai Lithium-Polymer 3 sel seperti pada Gambar 7.

Submitted: 18/12/2022; Revised: 20/12/2022;
Accepted: 30/12/2022; Online first: 30/12/2022
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v3i2.1717

Gambar 7. Baterai Lithioum-Polymer 11,1V 3S 2200 mAh

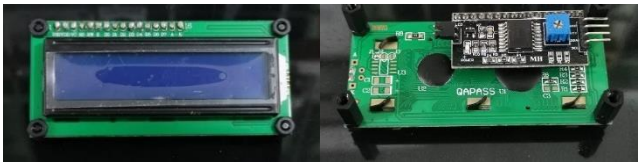
### B. *LCD dengan Modul I2C*

Modul LCD paralel memiliki pin out yang sama. Mereka memiliki delapan pin data D0-D7. Jika empat pin (D4-D7) digunakan, itu disebut mode 4-pin dan ketika semua digunakan, koneksi disebut sebagai mod 8-pin. Untuk alasan yang jelas, para insinyur menggunakan metode 4-pin. Pada LCD terdapat pin untuk mengaktifkan tampilan yaitu EN. Pin RW biasanya digunakan untuk pengaturan *Read/Write*. Pin VSS dan VDD masing-masing untuk *ground* dan +5V. RS digunakan untuk memilih register. Lampu latar LED memiliki dua terminal, satu untuk anoda dan yang lainnya adalah katoda. Pin VO memungkinkan penyesuaian kontras menggunakan potensiometer.

Dalam penelitian ini, antarmuka I2C digunakan untuk antarmuka Arduino Uno ke LCD. Hal ini memungkinkan hanya dua pin analog A4 dan A5 yang akan digunakan. Pin I/O 2,3,4,5,6,7 pada Arduino dapat digunakan untuk tugas lain. Keuntungan lain adalah bahwa kita dapat menghubungkan lebih banyak perangkat I2C pada dua pin analog yang sama untuk menggerakkan LCD [10]. Papan sirkuit I2C kompatibel dengan berbagai LCD seperti 16 × 2 atau 20 × 4. Dalam hal ini, mikrokontroler terhubung sebagai berikut:

- +5V di I2C terhubung ke +5V di Arduino
- GND ke *ground*
- SDA ke jalur Data A4
- SCK pada I2C ke Clock A5.

LCD berfungsi untuk menampilkan status yang sedang terjadi pada alat. Dalam penelitian ini, LCD berfungsi untuk menampilkan fungsi kerja yang aktif dari program yang berjalan saat *Cargo Cart* mulai dihidupkan atau dimatikan [11]. Berikut adalah rangkaian LCD 16x2 dengan modul I2C pada rangkaian mikrokontroller Arduino yang dapat dilihat pada Gambar 8.

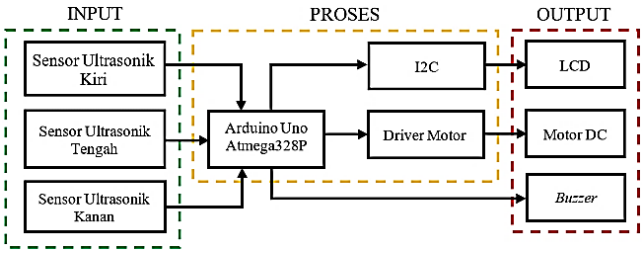


Gambar 8. Rangkaian LCD 16×2 dengan modul I2C

## III. METODE PENELITIAN

### A. *Diagram Blok*

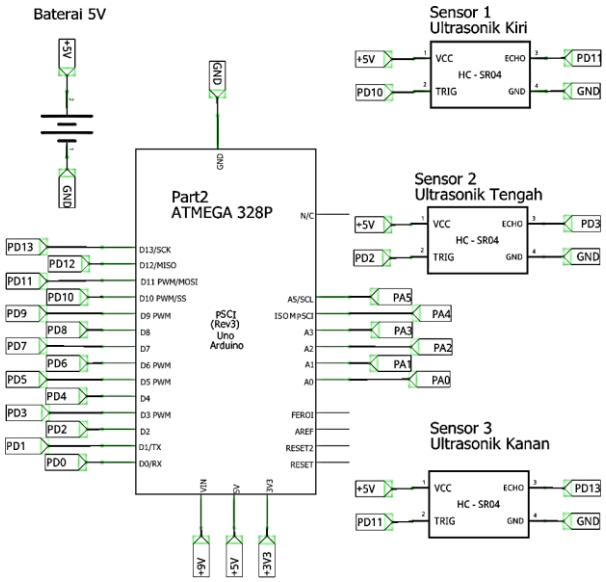
Pada Gambar 9 merupakan blok digram sistem, yang mana akan mendeskripsikan secara umum alur proses sistem kerja rancang bangun *follower Cargo Cart* mulai dari *Input* yaitu sensor ultrasonik oleh Arduino digunakan untuk mengkontrol Motor DC sebagai penggerak sistem.




Gambar 9. Diagram blok

### B. *Perancangan Sensor Ultrasonik*

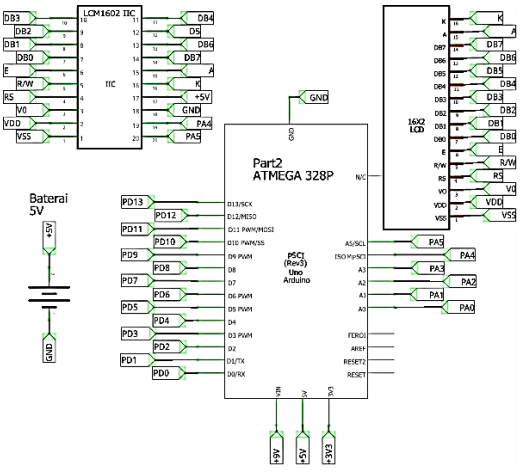
Sensor ultrasonik memiliki fungsi sebagai *input* dari sistem di mana akan digunakan untuk membaca jarak sistem dengan objek jarak. Jarak nantinya akan digunakan untuk mengontrol motor untuk menggerakan sistem agar mendekati objek. Gambar rangkaian dari Sensor ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 10.




Gambar 10. Skematik sensor ultrasonik

### C. *Perancangan LCD dan Modul I2C*

*Display* akan menampilkan beberapa menu dan data jarak tiap sensor agar nantinya pengguna dapat mudah untuk mengamati data dari sensor maupun merubah menu pada sistem. Rangkaian LCD 16×2 dengan modul I2C dapat dilihat pada Gambar 11.

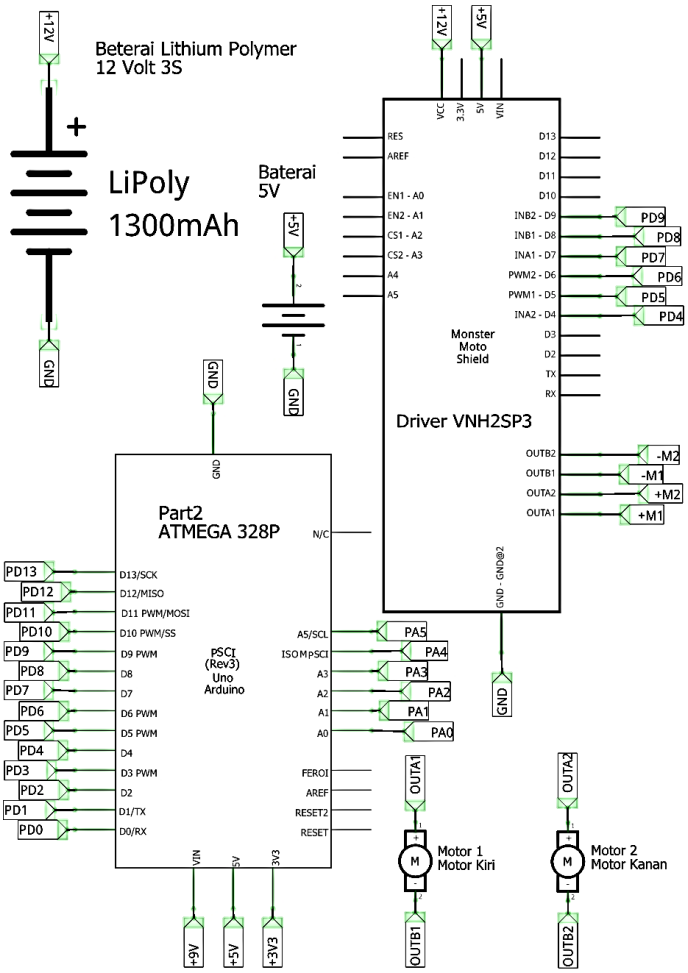



Submitted: 18/12/2022; Revised: 20/12/2022;
Accepted: 30/12/2022; Online first: 30/12/2022
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v3i2.1717

Gambar 11. Skematik LCD 16×2 dan modul I2C

### *D. Perancangan Driver Motor dan Motor DC 12 Volt*

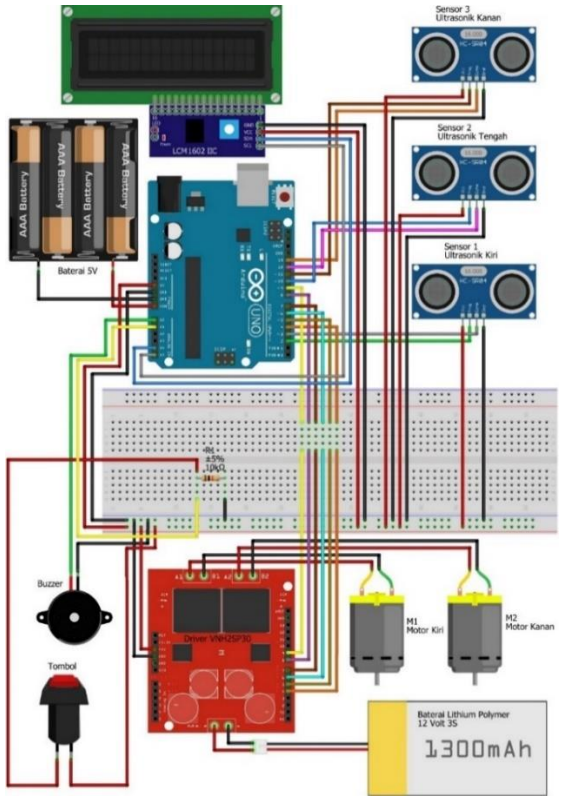
Perancangan motor penggerak sistem di mana menggunakan 2 motor DC 12 Volt. *Supply* Motor yang digunakan yaitu baterai Lipo dan selain itu menggunakan driver motor VNH2SP30 untuk penggerak motor. Pada Gambar 12 merupakan Skematik dari penggerak sistem.




Gambar 12. Skematik *driver* motor VNH2SP30

### *E. Perancangan Sistem Keseluruhan*

Pada Gambar 13 merupakan koneksi dari keseluruhan Perancangan di mana ada beberapa tambahan komponen seperti buzzer yang nantinya akan digunakan sebagai alarm apabila ada halangan didepan robot. Push Button digunakan untuk memindahkan beberapa menu dan ada baterai suplai 5v untuk Arduino.




Gambar 13. *Wiring diagram* keseluruhan komponen

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### *A. Pengujian Sensor Ultrasonik*

Pada pengujian Sensor Ultrasonik ini dilakukan 3 pengujian di mana terdiri dari Pengujian seberapa jauh sensor ultrasonik dapat mampu mendeteksi objek. Pengujian sudut radiasi sensor ultrasonik dan pengujian sudut kemiringan dari sensor ultrasonik.

1) Pengujian Jarak Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik akan dilakukan pengujian pengukuran jarak dengan membandingkannya dengan jarak yang sudah diukur sebelumnya dengan mistar. Pengujian sensor ini memerlukan ruang yang cukup panjang dan lebar. Pengujian sensor ini dilakukan di lorong Laboratorium Jurusan Teknik Elektro dengan objek kardus berukuran lebar 35 cm × tinggi 45 cm. Pada scenario ini, sensor akan diuji mulai dari jarak 5 cm sampai dengan 500 cm menggunakan program dasar jarak Arduino dengan delay sensor 8s seperti pada Gambar 14.

Gambar 14. Proses pengambilan data jarak sensor ultrasonik

Submitted: 18/12/2022; Revised: 20/12/2022;
Accepted: 30/12/2022; Online first: 30/12/2022
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v3i2.1717

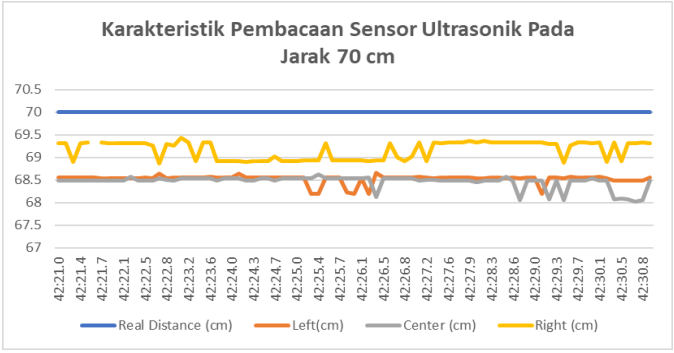
Hasil perbandingan antara jarak objek yang diukur oleh sensor dan yang diukur oleh mistar dihitung dalam bentuk eror. Karena mistar merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur jarak/panjang, maka yang menjadi referensi adalah hasil ukur dari mistar. Data hasil pengujian sensor tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

TABEL 4
PENGUJIAN JARAK SENSOR ULTRASONIK

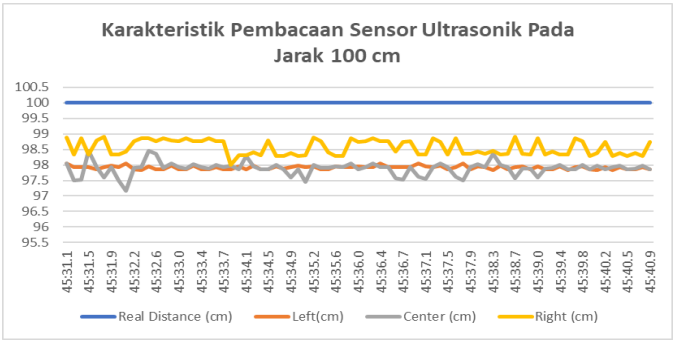
| No. | Jarak Objek (cm) | Sensor Ultrasonik | | | | | | Keterangan (Baik/ Buruk) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Kiri (cm) | Eror (%) | Tengah (cm) | Eror (%) | Kanan (cm) | Eror (%) | |
| 1 | 5 | 5.58 | 11,6 | 4.96 | 0,8 | 6.12 | 22,4 | Baik |
| 2 | 10 | 10.97 | 9,7 | 9.84 | 1,6 | 11.25 | 12,5 | Baik |
| 3 | 20 | 20.55 | 2,75 | 19.53 | 2,35 | 20.91 | 4,55 | Baik |
| 4 | 30 | 30.07 | 0,23 | 29.05 | 3,16 | 30.58 | 1,93 | Baik |
| 5 | 40 | 40.26 | 0,65 | 38.39 | 4,03 | 40.05 | 0,13 | Baik |
| 6 | 50 | 48.74 | 2,52 | 48.01 | 3,98 | 49.37 | 1,26 | Baik |
| 7 | 60 | 58.09 | 3,18 | 29.72 | 50,46 | 57.39 | 4,35 | Buruk (tengah) |
| 8 | 70 | 68.17 | 2,61 | 37.91 | 45,84 | 67.69 | 3,3 | Buruk (tengah) |
| 9 | 80 | 77.72 | 2,85 | 67.29 | 15,89 | 79.2 | 1 | Buruk (tengah) |
| 10 | 90 | 87.69 | 2,56 | 87.07 | 3,25 | 88.87 | 1,25 | Baik |
| 11 | 100 | 97.51 | 2,49 | 64.6 | 35,4 | 98.19 | 1,81 | Buruk (tengah) |
| 12 | 150 | 146.37 | 2,42 | 144.45 | 3,7 | 147.27 | 1,82 | Baik |
| 13 | 200 | 195.38 | 2,33 | 193.94 | 3,03 | 196.16 | 1,92 | Baik |
| 14 | 250 | 244.83 | 2,07 | 243.98 | 2,41 | 245.9 | 1,64 | Baik |
| 15 | 300 | 292.74 | 2,42 | 250.14 | 16,62 | 293.72 | 2,09 | Buruk (tengah) |
| 16 | 350 | 341.77 | 2,35 | 249.46 | 28,73 | 342.51 | 2,14 | Buruk (tengah) |
| 17 | 400 | 375.87 | 6,03 | 249.95 | 37,51 | 104.28 | 73,93 | Buruk (tengah & kanan) |
| 18 | 450 | 374.97 | 16,67 | 251.94 | 44,01 | 382.62 | 14,97 | Buruk |
| 19 | 500 | 376.19 | 16,40 | 74.1 | 83,53 | 317.22 | 29,51 | Buruk |

Dari data Tabel 4, terlihat ketiga sensor tersebut menghasilkan data yang berbeda-beda. Sensor kiri mendapatkan data yang baik pada jarak 20 cm sampai jarak 400 cm dengan persentase eror mulai dari 0,23% sampai 6,03%, sedangkan sensor kanan mendapatkan data yang baik mulai dari jarak 10 cm hingga jarak 350 cm dengan persentase eror mulai dari 0,13% sampai 12,5%. Berbeda dengan data hasil pengujian sensor tengah yang memiliki kemampuan membaca jarak yang kurang baik di beberapa titik yang sudah ditentukan. Pada jarak 450 cm dan 500 cm jarak yang terukur pada ketiga sensor tersebut sudah tidak membaca jarak yang seharusnya dengan benar, di mana pada persentase eror sensor kiri mencapai 16,67%, sensor tengah 83,53% dan sensor kanan 73,93%.

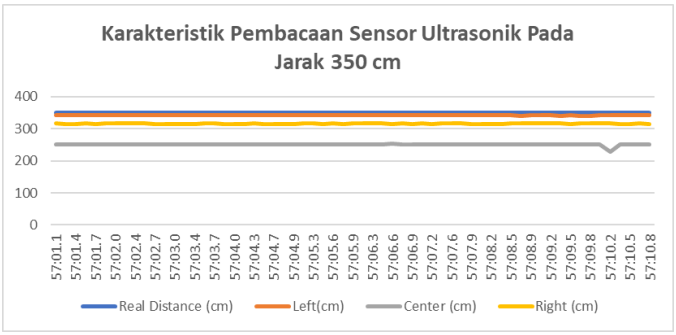
Pada pengujian selanjutnya dilakukan yaitu melapisi bidang objek dengan isolasi kertas untuk mengetahui karakteristik pembacaan sensor tersebut. Pengujian ini dilakukan selama 9s dengan delay 100ms agar data yang didapatkan banyak dan mudah untuk dilakukan analisis. Pengujian dilakukan pada jarak 70 cm, 100 cm, 350 cm dan 400 cm seperti yang terlihat pada Gambar 15 hingga Gambar 18.



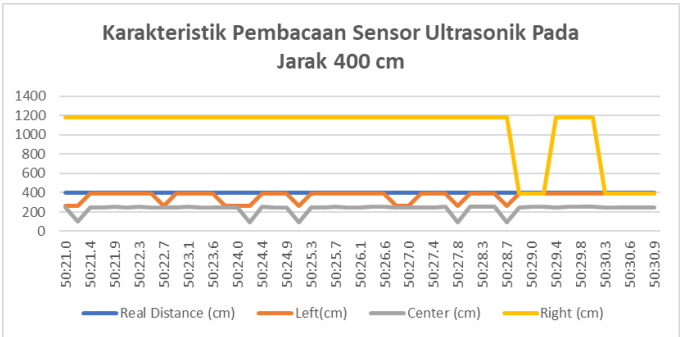

Gambar 15. Karakteristik pembacaan sensor ultrasonik pada jarak 70 cm




Gambar 16. Karakteristik pembacaan sensor ultrasonik pada jarak 100 cm




Gambar 17. Karakteristik pembacaan sensor ultrasonik pada jarak 350 cm




Gambar 18. Karakteristik pembacaan sensor ultrasonik pada jarak 400 cm

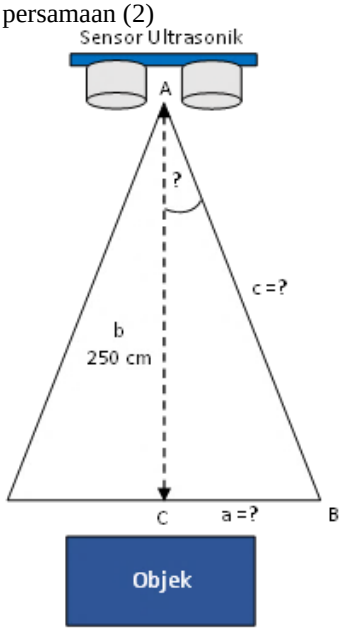
Dari data karakteristik pembacaan sensor ultrasonik tersebut, terlihat bahwa Gambar 15 dan Gambar 16 menampilkan hasil pengukuran yang baik dengan persentase eror kurang dari 10%, sedangkan pada Gambar 17 dan Gambar 18 pengukuran jarak yang terbaca pada sensor ultrasonik tengah hanya mencapai jarak 250 cm dengan nilai eror yang sangat besar, yang artinya pada pengujian alat ini semua sensor

Submitted: 18/12/2022; Revised: 20/12/2022;
Accepted: 30/12/2022; Online first: 30/12/2022
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v3i2.1717

ultrasonik hanya dibatasi pada jarak 250 cm mengikuti batas jarak pengukuran terjauh dari sensor ultrasonik tengah.

*2) Penentuan Besar Sudut Radiasi*

Pada Gambar 12 merupakan bidang pancaran radiasi ultrasonik untuk membaca objek didepannya. Setelah menentukan Panjang sisi b yaitu 250 cm maka kemudian mencari dicari panjang sisi c dan a dengan menggunakan Persamaan (1). Selanjutnya dicari sudut A dengan menggunakan persamaan (2)




Gambar 19. Gambaran simulasi penentuan besar sudut radiasi

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$CosA = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

Data hasil pengukuran jarak sisi a dari ketiga sensor ultrasonik dapat dilihat pada Tabel 5.

TABEL 5
BESAR SUDUT RADIASI KETIGA SENSOR ULTRASONIK

| No. | Sensor Ultrasonik | Panjang (cm) | | | Sudut Radiasi (derajat°) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | sisi b | sisi a | sisi c | |
| 1 | Kiri | 250 | 65 | 258,31 | 28 |
| 2 | Tengah | 250 | 95 | 267,44 | 44 |
| 3 | Kanan | 250 | 60 | 257,10 | 28 |
| **Besar Sudut** | | | | | 100 |

*3) Penentuan Sudut Kemiringan*

Setelah menentukan besar sudut pembcaan sensor ultrasonik, maka selanjutnya menentukan sudut kemiringan sensor ultrasonik agar dapat membaca objek yang ada di depannya dengan baik pada jarak 50 cm sampai 250 cm. Objek pengujian ini menggunakan *plastic board* berukuran 75 cm × 100 cm. Pada pengujian ini, jika pembacaan jarak memiliki selisih kurang dari 10 cm masih termasuk baik, di atas 10 cm kurang baik dan lebih dari 50 cm buruk. Berikut adalah data hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 6 sampai Tabel 8.

TABEL 6
PENGUJIAN JARAK DIAGONAL SENSOR ULTRASONIK PADA SUDUT KEMIRINGAN 10°

| No. | Jarak Horizontal (cm) | Jarak Diagonal (cm) | | | Keterangan (Baik/Kurang baik/Buruk) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Sensor Kiri | Sensor Tengah | Sensor Kanan | |
| 1 | 50 | 39,47 | 37,93 | 39,49 | Kurang Baik |
| 2 | 100 | 99,21 | 98,74 | 100,86 | Baik |
| 3 | 150 | 148,65 | 148,29 | 149,26 | Baik |
| 4 | 200 | 198,19 | 196,20 | 199,08 | Baik |
| 5 | 250 | 244,24 | 242,37 | 244,25 | Baik |

TABEL 7
PENGUJIAN JARAK DIAGONAL SENSOR ULTRASONIK PADA SUDUT KEMIRINGAN 20°

| No. | Jarak Horizontal (cm) | Jarak Diagonal (cm) | | | Keterangan (Baik/Kurang baik/Buruk) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Sensor Kiri | Sensor Tengah | Sensor Kanan | |
| 1 | 50 | 50,15 | 49,30 | 50,54 | Baik |
| 2 | 100 | 98,38 | 98,41 | 100,35 | Baik |
| 3 | 150 | 145,20 | 144,62 | 146,61 | Baik |
| 4 | 200 | 197,88 | 196,88 | 198,22 | Baik |
| 5 | 250 | 244,65 | 242,61 | 244,30 | Baik |

TABEL 8
PENGUJIAN JARAK DIAGONAL SENSOR ULTRASONIK PADA SUDUT KEMIRINGAN 30°

| No. | Jarak Horizontal (cm) | Jarak Diagonal | | | Keterangan (Baik/Kurang baik/Buruk) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Sensor Kiri (cm) | Sensor Tengah (cm) | Sensor Kanan | |
| 1 | 50 | 39,95 | 38,68 | 42,11 | Kurang Baik |
| 2 | 100 | 98,33 | 97,58 | 99,91 | Baik |
| 3 | 150 | 156,94 | 155,62 | 157,03 | Baik |
| 4 | 200 | 1195.13 | 1188.22 | 1179.59 | Buruk |
| 5 | 250 | 1195.19 | 1188.39 | 1179.66 | Buruk |

Berdasarkan data hasil pengujian tersebut, Tabel 7 dengan sudut kemiringan 20° memiliki hasil pembacaan yang baik, dengan semua nilai pembacaannya yang memiliki selisih kurang dari 10 cm. Jadi sudut yang akan di pakai pada pengujian keseluruhan *Cargo Cart* adalah 20°. Pada pengujian ini didapatkan hasil pembacaan sensor yang kurang maksimal, karena objek tidak tegak lurus berhadapan dengan sensor ultrasonik.

*B. Pengujian LCD dengan I2C*

Pengujian LCD ini bertujuan untuk mengetahui apakah LCD dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan. Dari rangkaian skematik Gambar 13, LCD *Cargo Cart* memberikan data hasil pengujian yang baik. Di mana data yang ditampilkan sesuai dengan yang dibuat dalam program. Berikut ini adalah gambar hasil pengujiannya yang dapat dilihat pada Gambar 20 dan Gambar 21.

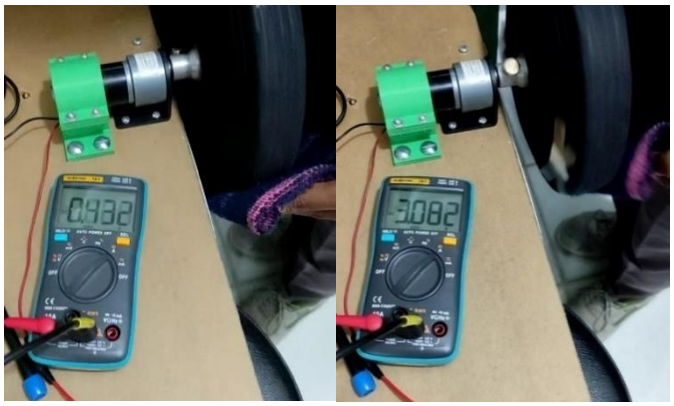
Submitted: 18/12/2022; Revised: 20/12/2022;
Accepted: 30/12/2022; Online first: 30/12/2022
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v3i2.1717

Gambar 20. LCD menampilkan salam pembuka dan indentitas nama

Gambar 21. LCD menampilkan perintah untuk memulai mengoperasikan *Cargo Cart*

### C. *Pengujian Driver VNH2SP30 dan Motor DC 12 Volt*

Pada pengujian ini peneliti akan melakukan pengujian sesuai rangkaian skematik pada Gambar 12. *Driver* akan diuji dengan melakukan pengereman pada motor hingga berhenti untuk mendapatkan nilai arus nominal dan maksimal motor. Pada Gambar 22 merupakan hasil pengujian dari motor dengan menampilkan arus motor apabila motor diberi beban di mana beban yang dimaksud adalah roda dan setelah itu dilakukan pengujian dengan memberikan pengereman pada roda tersebut.



Gambar 22. Arus motor tanpa beban dan dengan pengereman

Dari hasil pengujian tersebut *driver* masih dapat menggerakkan motor hingga arus sampai 3 Ampere, karena kemampuan *driver* sangat tinggi hingga mencapai 30 Ampere, maka *driver* tersebut aman untuk digunakan.

Selanjutnya pengujian kecepatan motor dengan mengatur PWM untuk mendapatkan kecepatan motor yang sesuai dengan kecepatan manusia ketika berjalan, yaitu dibawah 5km/h. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 9.

TABEL 9
PENGUJIAN KECEPATAN MOTOR DENGAN MENGATUR PWM

| No. | PWM | Kecepatan Rata-rata motor (rpm) | | Selisih (rpm) | Hasil (Baik/Kurang baik) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Kiri | Kanan | | |
| 1 | 50 | 38,94 | 43,47 | 4,53 | Kurang baik |
| 2 | 60 | 52,34 | 55,65 | 3,31 | Kurang baik |
| 3 | 70 | 63,57 | 65,47 | 1,9 | Kurang baik |
| 4 | 80 | 73,72 | 74,91 | 1,19 | Kurang baik |
| 5 | 90 | 80,50 | 81,85 | 1,35 | Kurang baik |
| 6 | 100 | 86,72 | 87,94 | 1,22 | Kurang baik |
| 7 | 110 | 93,98 | 93,36 | 0,62 | Baik |
| 8 | 120 | 98,24 | 98,11 | 0.13 | Baik |
| 9 | 130 | 102,51 | 102,07 | 0,44 | Baik |
| 10 | 140 | 106,46 | 105,48 | 0,98 | Baik |
| 11 | 150 | 108,63 | 108,24 | 0,39 | Baik |
| 12 | 160 | 110,25 | 110,29 | 0,04 | Baik |
| 13 | 170 | 112,45 | 112,50 | 0,05 | Baik |
| 14 | 180 | 114,37 | 114,29 | 0,08 | Baik |
| 15 | 190 | 116,50 | 115,37 | 1,13 | Kurang baik |
| 16 | 200 | 117,75 | 117,26 | 0,49 | Baik |
| 17 | 210 | 118,80 | 117,75 | 1,05 | Kurang baik |
| 18 | 220 | 120,19 | 119,10 | 1,09 | Kurang baik |
| 19 | 230 | 121,18 | 120,49 | 0,69 | Baik |
| 20 | 240 | 123,29 | 121,72 | 1,57 | Kurang baik |
| 21 | 250 | 124,88 | 123,45 | 1,43 | Kurang baik |

Dari data Tabel 9 dapat disimpulkan jika motor kanan lebih cepat dari motor kiri mulai dari PWM 50 hingga PWM 100. Kemudian kedua motor berjalan dengan kecepatan rata-rata yang hampir sama dengan selisih 0,04 rpm sampai 0,98 rpm pada PWM 110 hingga PWM 180. Oleh karena itu, berdasarkan data tersebut rentang kecepatan motor akan diatur pada PWM minimum 110 dengan kecepatan 93 rpm dan PWM maksimum 180 dengan kecepatan 114 rpm. Dari persamaan (6) sampai (8), maka dapat ditentukan kecepatan motor dengan jari-jari roda sebesar 20 cm dalam satuan km/h pada PWM minimum dan maksimum tersebut adalah 7,02 km/h dan 8,6 km/h.

Jika hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan kecepatan yang akan dipakai seharusnya masih terlalu besar, karena jarak tempuh yang ingin dicapai hanya sekitar 5 km/h. Sehinga pada pengujian final dapat ditentukan apakah motor dapat menggerakkan *Cargo Cart* pada kecepatan yang diinginkan dengan PWM minimal 110 dan PWM maksimal 180.

### D. *Pengujian Final*

Setelah melakukan simulasi untuk mengetahui seberapa cepat motor akan berputar, maka selanjutnya dilakukan pengujian keseluruhan alat di lapangan, yang berarti beban yang semula statis menjadi dinamis, karena adanya tekanan dari *body Cargo Cart* dan struktur jalan yang tidak rata 100%. Pada pengujian ini objek yang digunakan adalah papan akrilik dengan ukuran 21 cm × 48 cm. Pada pengujian ini motor akan diberikan PWM sebesar 130 dari yang semula diperkirakan adalah 145. Hal ini dilakukan karena setelah dilakukan pengujian dengan PWM 145 *Cargo Cart* berjalan terlalu cepat sehingga lambat untuk berhenti ketika motor sudah dalam keadaan “STOP”. Demi mendapatkan kecepatan yang cukup,

Submitted: 18/12/2022; Revised: 20/12/2022;
Accepted: 30/12/2022; Online first: 30/12/2022
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v3i2.1717

maka motor diuji lagi dengan PWM 130, dan hasilnya *Cargo Cart* berjalan dengan baik dan motor tidak terlalu laju. Berikut adalah hasil pengujian *Cargo Cart* untuk mendapatkan dan kecepatan putar motor yang dapat dilihat pada Gambar 24 dan Tabel 10.

Gambar 24. Pengujian kecepatan *Cargo Cart*

TABEL 10
PENGUJIAN KECEPATAN *CARGO CART*

| No. | Jarak (m) | Waktu Tempuh (s) | Kecepatan | | Kecepatan putar motor (rpm) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | m/s | km/h | |
| 1 | 2 | 3,18 | 0,63 | 2,27 | 30,10 |
| 2 | 4 | 6,26 | 0,64 | 2,30 | 30,57 |
| 3 | 6 | 8,57 | 0,70 | 2,52 | 33,44 |
| 4 | 8 | 11,38 | 0.70 | 2,52 | 33,44 |
| 5 | 10 | 14,47 | 0,69 | 2,48 | 32,96 |
| **Rata-rata** | | | 0,67 | 2,42 | 32,10 |

Selanjutnya, PWM motor diuji secara teknis di lapangan dengan menambahkan dan mengurangi PWM salah satu motor sebesar 30 PWM untuk melakukan manuver, namun saat pengujian, hasil yang didapatkan kurang baik, di mana motor lambat saat belok ketika mendeteksi objek yang ada disampingnya, dengan demikian motor diuji lagi dengan menambahkan PWM sedikit demi sedikit. Hasil pengujian tersebut didapatkan nilai PWM yang tepat saat akan melakukan manuver, yaitu dengan menambahkan dan mengurangi PWM salah satu motor sebesar 50 PWM. Data hasil pengujian manuver *Cargo Cart* yang dapat dilihat pada Tabel 11.

TABEL 11
PENGUJIAN MANUVER *CARGO CART*

| No. | Jarak Lurus (m) | Jarak Manuver | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Kiri (m) | Hasil | Kanan (m) | Hasil |
| 1 | 2 | 1 | Sangat baik | 1 | Sangat baik |
| 2 | 4 | 2 | Baik | 2 | Sangat baik |
| 3 | 6 | 3 | Baik | 3 | Sangat baik |
| 4 | 8 | 4 | Kurang baik | 4 | Kurang baik |
| 5 | 10 | 5 | Baik | 5 | Baik |

Pengujian selanjutnya adalah untuk memastikan bahwa *obstacle avoider* berfungsi dengan baik pada jarak minimum dan maksimum yang telah ditentukan. *Obstacle avoider* akan diatur pada jarak minimum 50 cm dan jarak maksimum 80 cm, sehingga dalam rentang jarak tersebut semua data akan ditampilkan pada LCD, serta *Cargo Cart* akan berhenti bergerak dan *buzzer* akan berbunyi sebagai *feedback* ke objek yang diikuti sebelumnya. Pengujian ini dilakukan dengan jarak yang sama seperti pengujian sebelumnya namun pada jalur lurus. Data hasil pengujian *obstacle avoider* dapat dilihat pada Gambar 25 dan Tabel 12.

Gambar 25. Pengujian *obstacle avoider*

TABEL 12
PENGUJIAN *OBSTACLE AVOIDER* DENGAN RENTANG JARAK 50 CM SAMPAI 80 CM

| No. | Jarak Lurus (m) | Jarak *Obstacle* saat datang (m) | Keadaan *Buzzer* | Keadaan Motor | Jarak *Cargo Cart* ke *Obstacle* (cm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 1 | Berbunyi | Berhenti | 26 |
| 2 | 4 | 3 | Berbunyi | Berhenti | 47 |
| 3 | 6 | 5 | Berbunyi | Berhenti | 39 |
| 4 | 8 | 7 | Berbunyi | Berhenti | 37 |
| 5 | 10 | 9 | Berbunyi | Berhenti | 23 |

Dari data Tabel 12 didapatkan hasil yang baik, di mana pada setiap pengujian dengan jarak yang berbeda-beda *buzzer* berbunyi dan motor berhenti bergerak. Akan tetapi, jika dilihat dari jarak *Cargo Cart* ke *obstacle* berbeda-beda. Pada saat *obstacle* datang di jarak 1 m, *Cargo Cart* akan berhenti pada jarak yang cukup dekat, di mana hanya berjarak 26 cm saja. Pada pengujian selanjutnya mulai telihat perbedaan jarak yang cukup signifikan. Apabila semakin jauh jarak lurus yang ditempuh, maka jarak *Cargo Cart* ke *obstacle* ketika berhenti semakin dekat. Hal ini berbanding lurus dengan data pengujian pada Tabel 10, karena semakin jauh jarak tempuh *Cargo Cart* maka semakin cepat putaran motor, sehingga ketika berhenti *Cargo Cart* juga akan semakin lambat untuk benar-benar berhenti akibat adanya momentum dari *body Cargo Cart*.

Dari setiap hasil pengujian yang telah dilakukan, *Cargo Cart* dapat bekerja sesuai dengan tujuannya dengan hasil yang baik, walaupun akurasi sensor kurang baik di beberapa titik jarak yang telah ditentukan. Hal ini dikarenakan kualitas komponen yang terbilang tidak terlalu bagus sehingga mempengaruhi kinerja setiap sensor.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. *Simpulan*

Setelah melakukan penelitian rancang bangun *follower Cargo Cart* berbasis Arduino Uno, maka dapat diambil beberapa simpulan antara lain:

1. *Cargo Cart* berhasil mengikuti objek yang ada di depannya dengan kecepatan putar motor 30,10 rpm - 33,44 rpm yang artinya setara dengan setengah kali

Submitted: 18/12/2022; Revised: 20/12/2022;
Accepted: 30/12/2022; Online first: 30/12/2022
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v3i2.1717

kecepatan orang normal berjalan, yaitu 2,27 km/h sampai 2,52 km/h.

2. Sensor ultrasonik memiliki akurasi yang berbeda-beda, dengan persentase eror kurang dari 10% pada jarak kurang dari 400 cm untuk sensor kiri, 250 cm untuk sensor tengah dan 350 cm untuk sensor kanan, sehingga batas jarak terjauh yang diprogram pada Arduino hanya mencapai 250 cm saja.
3. Besar pembacaan sudut radiasi ketiga sensor ultrasonik mencapai 100°, dengan besar sudut sensor tengah 44°, sensor kiri 28° dan sensor kanan 28°. Ketiga sensor tersebut mampu membaca jarak dengan baik pada sudut kemiringan 20°.
4. *Follower Cargo Cart* dapat bekerja dengan baik apabila objek yang terdeteksi rata dan tegak lurus terhadap arah pancaran *trigger* sensor ultrasonik
5. *Obstacle avoider* bekerja dengan membunyikan *buzzer* pada rentang jarak 50 cm sampai 80 cm dan berhenti atau STOP pada jarak 23 cm sampai 47 cm di jarak tempuh yang berbeda-beda.

### *B. Saran*

Selama penelitian ini tentunya tidak lepas dari berbagai kekurangan dan kelemahan, oleh karena itu penulis memberikan beberapa saran antara lain:

1. Karakteristik ketiga sensor lebih baik sama agar pembacaan ketiga sensor ultrasonik seimbang dan *Cargo Cart* dapat bekerja dengan baik.
2. Dimensi *Cargo Cart* dapat dibuat lebih besar lagi namun dengan bahan yang lebih ringan dan kuat.
3. *Gearbox* motor DC 12 Volt sebaiknya menggunakan putaran yang lambat namun dengan torsi yang lebih besar agar dapat berjalan pada jalanan menanjak.
4. Sebaiknya roda dapat memakai ban angin berbahan baku karet agar tidak licin dan mampu meredam getaran ketika berjalan.
5. Menambahkan pengaturan kecepatan motor sesuai rentang jarak kerja *Cargo Cart.*
6. Pada sistem kerja *Cargo Cart* dapat ditambahkan pengereman dan pergerakkan maju mundur.

## REFERENSI


[1] R. Saputra, P. Yuliatmojo dan A. Diamah, "Prototype keranjang belanja pintar berbasis Arduino Uno," *Jurnal Pendidikan Vokasional Elektronika,* vol. 2 no. 2, pp. 41-44, Desember 2019.

[2] B. Suprianto dan A. Bakhtiyar, "Aplikasi sensor ultrasonik untuk deteksi posisi jarak pada ruang menggunakan Arduino Uno," *Jurnal Teknik Elektro,* vol. 6 no. 2, pp. 137-145, 2017.

[3] Susilo, D.B., Wibawanto, H. and Mulwinda, A. (2018) “Prototype Mesin Pengantar Barang Otomatis Menggunakan Load Cell Berbasis Robot Line Follower,” Jurnal Teknik Elektro, Vol 10 no 1.

[4] Misra dan D. Yogesh, *Programming and Interfacing with Arduino,* Boca Raton, Florida: CRC Press, 2021, pp. 1-4.

[5] Jabbaar dan A. Abdul, "Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino Tutorial," 17 September 2019. [Online]. Available: https://create.arduino.cc/projecthub/abdularbi17/ultrasonic-sensor-hc-sr04-with-arduino-tutorial-327ff6. [Accessed 01 Februari 2022].

[6] R. Aidhia dan Wildian, "Rancang bangun alat ukur jarak berbasis mikrokontroller AT89S51 dengan sensor ultrasonik," *Jurnal Riset Fisika Edukasi dan Sains,* vol. 1 no. 2, p. 95, 2015.

[7] Fatoni dan D. Dirgantara, "Desain sistem kontrol motor DC untuk positioning tracking dual-axis panel surya menggunakan kontroler LQR berbasis observer gangguan secara real-time melalui NI Myrio-1900," Skripsi, Universitas Muhammadiyah Malang, 2018, p. 9.

[8] "SparkFun Monster Moto Shield," sparkfun, [Online]. Available: https://www.sparkfun.com/products/retired/10182. [Accessed 30 Januari 2022].

[9] R. C. Ardhitamara, "Perancangan robot pemotong rumput berbasis android dengan kontrol PWM dan variasi pisau potong," Skripsi, Universitas Muhammadiyah Ponorogo, 2021, pp. 11-12.

[10] Akinwole dan Oladimeji, "Design and implementation of Arduino microcontroller based automatic lighting control with I2C LCD display," *Journal of Electrical & Electronic Systems,* vol. 7, no. 2, p. 3, 2018.

[11] Hayatunnufus dan D. Alita, "Sistem cerdas pemberi pakan ikan secara otomatis," *Jurnal Teknologi dan Sistem Tertanam,* vol. 01 no. 01, p. 12, 2020.

[12] Dalimunthe dan R. Ashari, "Pemantau arus listrik berbasis alarm dengan sensor arus," *Seminar Nasional Royal,* pp. 333-338, 3 September 2018.


Submitted: 18/12/2022; Revised: 20/12/2022;
Accepted: 30/12/2022; Online first: 30/12/2022
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v3i2.1717