



## Desain Dan Prototipe Mini AGV Line Follower

**Nanang Ali Sutisna dan Michael Quinn Farand**

Jurusan Teknik Mesin , Fakultas Teknik Universitas Presiden

Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka, Cikarang, Bekasi

e-mail :nanang.ali@president.ac.id

e-mail : michaelquinnfarand@yahoo.com

### Abstrak

Makalah ini menyajikan desain dan prototipe Mini Automated Guided Vehicle (AGV) dengan menggunakan mikrokontroler. Sistem mini AGV didasarkan pada forklift otonom. Tujuan dari prototipe AGV adalah untuk memindahkan objek dari satu tempat ke tempat lain dan terus menerus. Untuk menjalankan, AGV menggunakan metoda Line Follower dengan memakai empat sensor deteksi rintangan atau pemancar dan penerima inframerah. Selanjutnya, ketika semua sensor aktif, AGV akan berhenti ketika ada objek dengan tag RFID di luar. Pembaca RFID yang diletakkan di depan AGV mengaktifkan motor stepper yang akan menggerakkan garpu pengangkat objek. Kemudian AGV mengirim objek ke tempat tertentu yang telah ditentukan sebelumnya. Sebagian besar komponen menggunakan yang kompatibel dengan modul Arduino, kecuali untuk sasis dan beberapa bagian menggunakan komponen yang terbuat akrilik maupun dicetak 3D.

Kata kunci: Otomasi, AGV, Forklif, Arduino.

### 1. Pendahuluan

Perkembangan industri di Indonesia saat ini meningkat secara signifikan dan akan dikatakan memasuki Industri 4.0 ketika otomatisasi dan pertukaran data dapat dikendalikan dan dipantau melalui internet termasuk Sistem *Cyber-Phisics*, *Internet of Things*, *big data and analytics*, *augmented reality*, manufaktur aditif, simulasi dan robot otonom [1]. Autonomous Guided Vehicle (AGV) adalah salah satu aplikasi Industry 4.0 dan kemampuan untuk memonitor, mengontrol, dan menyimpan data ke cloud meningkatkan nilai dan keuntungan bagi perusahaan baik biaya maupun waktu.

Beberapa tahun ke depan AGV akan menjadi kebutuhan di Indonesia. Saat ini kendaraan autonomus yang paling populer adalah jenis *line follower*, namun belum ada yang mengoperasikan mini AGV *Line follower* di industri. Secara umum, AGV *Line follower* adalah mesin yang beroperasi sendiri yang mengikuti garis yang digambar di lantai, baik itu garis hitam atau garis putih. Operasi dasar AGV *Line follower* adalah menggunakan informasi dari sensor sebagai input dan posisi gerak motor sebagai output. Program ini dapat menggunakan *discontinue (on-off)* atau *continue* dengan menggunakan program digital Derivatif Integral Proportional (PID).

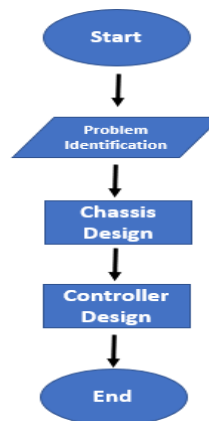
Terkait dengan topik yang sama, beberapa orang telah membangun mini-forklift dengan metode mereka sendiri, seperti dikendalikan melalui *Bluetooth*. *Bluetooth* memiliki jangkauan koneksi yang sangat minimum dan tidak cocok untuk skala industri [3]. Metode lain yang telah dilakukan oleh orang lain adalah load cell robot dengan program line follower dan mikrokontroler AVR Cortex-M [4]. Penulis menemukan bahwa load cell robot atau AGV tersebut tidak dapat mengimpor data ke database sehingga pengguna tidak dapat memantau data, sementara mikrokontroler AVR Cortex adalah mikrokontroler sebelum Arduino ada

Berdasarkan situasi di atas, penulis tertarik untuk merancang mini AGV dan membangun prototipe nya karena ada beberapa poin yang menunjukkan AGV cocok untuk Industri 4.0. Pertama, tugas untuk AGV fleksibel, artinya AGV dapat digunakan untuk memindahkan objek, menjadi mobil pintar, atau pengarah jalan. Selanjutnya, AGV dilengkapi dengan sistem

komputer yang memungkinkan perusahaan untuk melacak setiap detail dan dapat menghubungkan AGV ke internet untuk bertukar data. Ketiga, AGV dapat dioperasikan di semua kondisi yang mungkin berbahaya, termasuk suhu ekstrem, bahan kimia, gas, kontaminan biologis, radiasi. AGV yang rusak dapat diganti atau diperbaiki. Yang terakhir adalah produktivitas AGV yang dapat beroperasi terus menerus sepanjang waktu tanpa istirahat.

## 2. Metodologi

Bagian ini menunjukkan langkah-langkah bagaimana penulis mendesain dan membangun AGV seperti yang ditunjukkan pada diagram alir Gambar 1. AGV ini menggunakan program *line follower* Proportional-Integral-Derivative (PID) yang digabungkan dengan perangkat Identifikasi Frekuensi Radio (RFID). Tujuan dari RFID adalah untuk mengidentifikasi objek apakah itu objek yang benar dan untuk mengatur tingkat ketinggian objek. Data yang direkam dapat dilihat di MySQL atau php MyAdmin menggunakan server XAMPP atau WAMP. Sebagai tambahan, AGV dilengkapi dengan modul WIFI yaitu ESP8266 yang memungkinkannya untuk mengirimkan data.



Gambar 1. Diagram alir

### Identifikasi Masalah

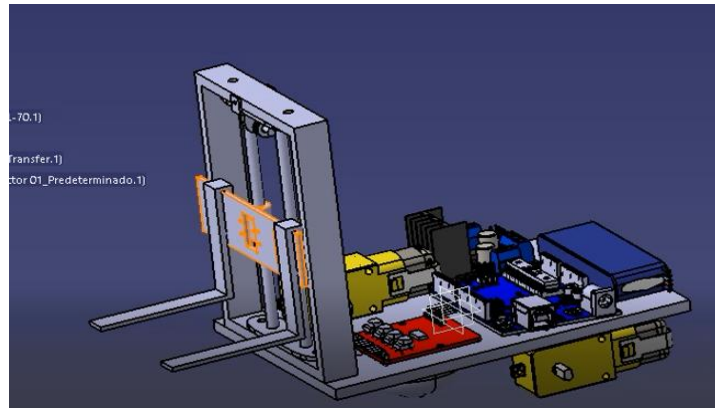
Secara tradisional, operator manusia memiliki banyak kelemahan dibandingkan kendaraan yang dipandu otomatis. Dalam sistem penyimpanan gudang, masalah ini muncul karena manusia bekerja dengan emosi yang berarti bahwa pekerjaannya tergantung pada emosi. Ini menyebabkan masalah, misalnya di gudang biasanya operator mengambil atau meninggalkan objek ke penyimpanan terdekat. Sementara mereka mungkin tidak mengambil atau meninggalkan penyimpanan terjauh dan menyebabkan objek terjauh berdebu karena tidak pernah diambil. Contoh lain, operator manusia mungkin lupa untuk merekam data penyimpanan. Namun, masalah ini dapat diselesaikan dengan kendaraan terpandu otomatis. AGV menghapus beberapa potensi untuk alur kerja yang tidak akurat, mengurangi waktu yang terbuang dan meningkatkan output, membuat operasi lebih akurat dan produktif. Ketika operator memiliki waktu terbatas, untuk meningkatkan produksi biasanya perusahaan membutuhkan 3 shift operator sementara AGV mampu beroperasi 24 jam sehari dan 7 hari seminggu. Sebagai tambahan, AGV mampu menyederhanakan sistem manajemen gudang.

### Desain Chasis

Setelah masalah teridentifikasi, penulis merancang sasis AGV menggunakan perangkat lunak CATIA V5. Gambar 2 menunjukkan bagaimana rancangan sasis tersebut. Untuk mendapatkan

sasis yang cocok, penulis memasukkan beberapa komponen elektronik untuk menentukan posisi dan dimensi yang dibutuhkan dari sasis penulis. Selanjutnya, penulis membuat komponen dan merakitnya. Penulis menggunakan bahan PLA untuk mencetak 3D beberapa bagian dan beberapa bagian lain menggunakan akrilik.

Untuk memastikan bahwa produk yang dirancang dapat bekerja dengan baik, perlu dilakukan beberapa analisis terhadap beberapa alternatif produk. Karena itu penulis membuat beberapa desain untuk menganalisis mekanismenya dan memilih yang terbaik. Ada 3 model seperti yang ditunjukkan jika gambar di bawah ini. masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan.



**Gambar 2. Model alternatif 1**

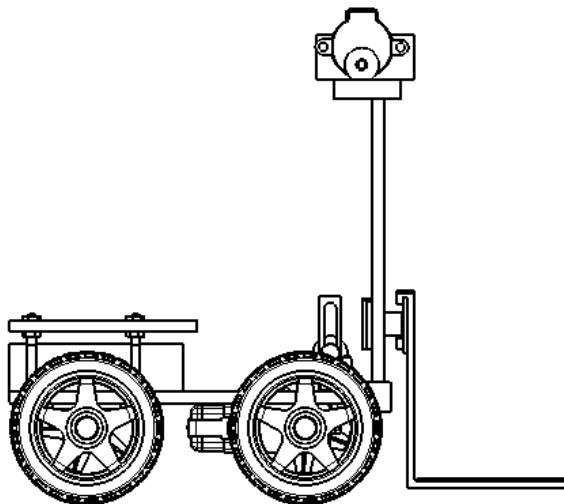
Di dalam model alternatif 1, penulis menemukan kelemahan pada sistem pengangkat. Khususnya pada bentuk persegi panjang di bagian depan terlalu berat dan sulit dibuat karena bahannya terbatas. Dengan kata lain ketika sisi depan terlalu berat, pusat massa mungkin tidak di sisi belakang yang mungkin forklift jatuh ke sisi depan.

Dalam model alternatif 2, penulis mengganti batang persegi panjang dalam model 1 dan mencetak bagian-bagian itu pada pencetak 3D. Ketika semua komponen dirakit, pengangkat dan batang hampir tidak dapat bergerak karena gesekan meskipun penulis sudah menggunakan minyak pelumas untuk batang. Masalah lain terjadi karena katrol dipisahkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3. Model alternatif 2**

Penulis mencoba menghubungkan mereka dengan sekrup tetapi tidak pas. Sabuknya tidak tegang sehingga gigi tidak bisa bergerak. Kedua, penggerak dan gigi di atas tidak sejajar. Ini menciptakan hasil gerakan yang berbeda. Sebagai contoh, ketika bergerak searah jarum jam sabuk dapat saling tegang, dan ketika bergerak berlawanan arah jarum jam, katrol menjadi tidak tegang sehingga sabuk menjadi longgar dan tidak bergerak. Pada model alternatif 3, agar sabuk memiliki ketegangan, penulis merancang *adjuster*. Katrol lain dirakit dengan baut dan mur yang dapat diatur terbalik yang menyebabkan sabuk tegang. Tidak hanya *adjuster*, penulis juga mengganti batang *stainless steel* dengan *sliding track* dan baut yang menghubungkan sabuk terpisah diganti dengan konektor. *Sliding track* memiliki koefisien gesek yang sangat minimum. Berarti *sliding track* merupakan solusi dari masalah gesekan pada model desain 2. *Sliding track* perlu ditanamkan dengan minimal 1 sentimeter di sisi bawah dan atas agar tidak jatuh. Selanjutnya, dua sisi sabuk ditarik hingga tegang. Setelah itu, kedua sisi ini terhubung dengan sisi yang lain diletakkan di atas sisi lainnya dan ditekan dan dikunci menggunakan baut dan mur. Sementara konektor lainnya memiliki bentuk persegi panjang dengan tinggi 6 mm.



Gambar 4. Model alternatif 3

Konektor ini menekan sabuk untuk memperbaiki masalah pada model 2 di atas. Di sisi atas, penulis juga membuat tempat untuk motor stepper. Alasan utama mengapa motor stepper tidak berada di sisi bawah adalah karena kurangnya ruang. Sebelum menganalisis beban maksimum forklift, masalah lain muncul. Jika melihat kembali ke model 3 (Gambar 4), katrol atas dan katrol bawah tidak paralel. Ini memiliki sudut kecil di antara mereka yang mungkin menyebabkan masalah yang sama dengan model 2 tetapi lebih baik.

### Perhitungan Daya Angkat

Menurut *data sheet* motor stepper 28BYJ-48 [5], torsi maksimum adalah 300 gf.cm atau 0,03 Nm. Dalam kondisi ideal kecepatan motor adalah 200 rpm. Berdasarkan *data sheet*, daya motor adalah 0,628 Watt. Sedangkan daya rencana pada AGV ini dihitung berdasarkan kecepatan putaran 150 rpm adalah sebagai berikut:

$$P = T w$$

$$P = (0.03 \text{ Nm}) \times (150) \times (3.14) / 60$$

$$P = 0.471 \text{ Watt}$$

Dengan demikian, berat beban yang dapat diangkat dapat dihitung sebagai berikut:

$$T = F r$$

$$0.03 \text{ Nm} = F \times 0.015 \text{ m}$$

$$F = 2 \text{ N}$$


---

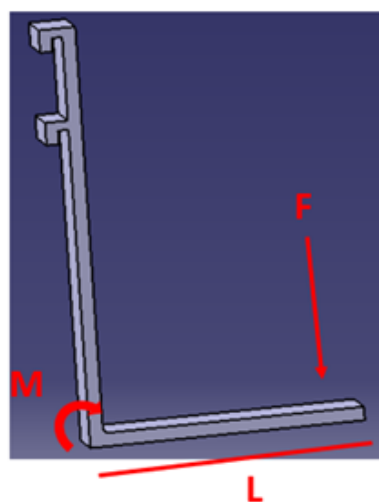

$$F = m g$$

$$2 \text{ N} = m \times 9.81 \text{ m}$$

$$m = 200 \text{ gram}$$

### Perhitungan Tegangan Lentur Garpu Pengangkat

Beban maksimum yang dapat diangkat oleh AGV ini adalah 200 gram atau kurang lebih sama dengan 2 N. Posisi beban terberat diasumsikan berada di bagian ujung garpu pengangkat, sehingga perhitungan tegangan lenturnya menjadi sebagai berikut:



$$M = F \times L$$

$$M = (2 \text{ N}) \times (75 \text{ mm})$$

$$M = 0.15 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{\max} = M \times y \times I^{-1}$$

$$\sigma_{\max} = (0.15 \text{ Nm}) \times (1.5 \text{ mm}) \times (2.25 \times 10^{-11})^{-1}$$

$$\sigma_{\max} = 10 \text{ MPa}$$

M: Momen  
 F: Beban  
 L: Jarak beban terhadap titik tumpu  
 $\sigma_{\max}$  : Tegangan lentur maksimum

Dari data spesifikasi material PLA diketahui bahwa ketahanan lenturnya adalah 97 MPa [6], jika faktor keamanannya adalah 4 maka tegangan ijin adalah 97: 4 atau sama dengan 24,25 MPa. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa garpu pengangkat ini aman.

### Desain Kontroler

Kontroler untuk AGV ini dibuat berdasarkan diagram alir seperti terlihat pada Gambar 5. Ada dua pengontrol yang dibuat, yaitu *line follower* PID dan RFID pada pengangkat forklift. Dengan menggunakan *line follower* PID berarti AGV menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk kecepatan motor yang mempengaruhi bagaimana motor berperilaku. Ini adalah program kontinu, artinya nilai PWM akan berubah seiring waktu dan situasi. Berbeda dengan program non-kontinu yang menggunakan pernyataan ON dan OFF. Keuntungannya adalah pergerakan AGV menjadi lebih lancar dari pada program yang non-kontinu. Kontroler PID digunakan untuk mengontrol gerakan AGV dalam mengikuti garis, sedangkan kontroler RFID digunakan AGV untuk mengenali objek yang akan diangkat.

### Kontroler PID

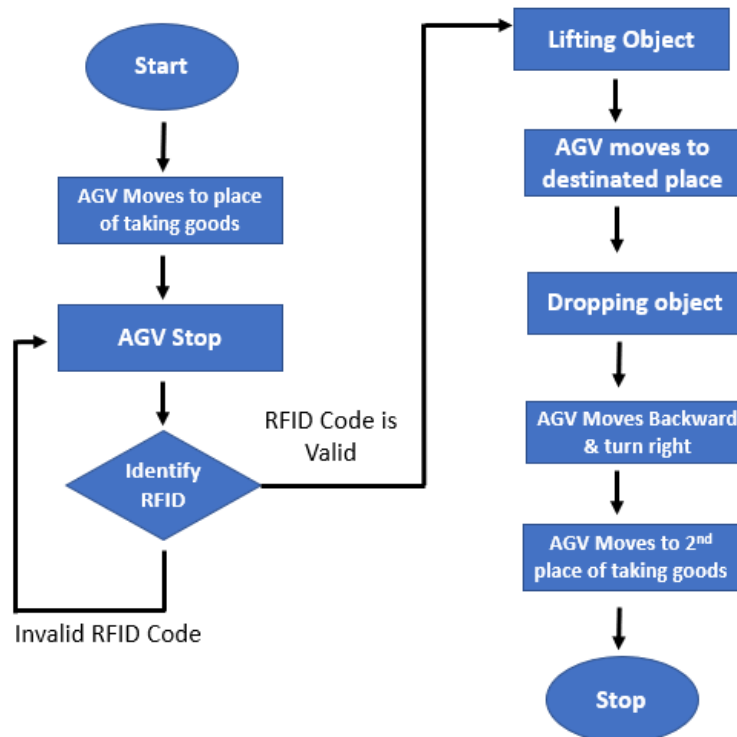
*Proportional-Integral-Derivative* (PID) adalah algoritma kontrol yang banyak digunakan dalam industri untuk mengendalikan robot atau lainnya [7]. PID terdiri dari 3 hal utama yaitu *Set Point* (SP), *Error dan Present Value* (PV).

SP = *Set Point*, adalah nilai parameter yang telah kita atur sebelumnya.

PV = Nilai Sekarang, variabel yang diukur oleh sensor yang akan memberikan umpan balik sinyal.

Error = Penyimpangan antara variabel yang diukur dengan nilai parameter

Kondisi ideal sensor adalah ketika  $PV = 0$  atau dua sensor di tengah aktif. Jika  $PV$  tidak sama dengan 0 berarti AGV tidak dalam kondisi ideal atau kesalahan. Ketika kesalahan terjadi, PID akan menghitung sinyal ke driver motor dan mengubahnya menjadi *Pulse Width Module* (PWM). Juga jika 4 sensor digunakan berarti ada 16 probabilitas reaksi antara sensor.



Gambar 5. Diagram alir Kontroler.

### RFID

*Radio Frequency Identification* (RFID) adalah teknologi umum yang menggunakan gelombang radio sebagai komunikasinya untuk membaca atau bertukar data antara tag elektronik dan pembaca. RFID menggunakan sistem pengambilan data otomatis yang meningkatkan kinerja. Kode yang tersimpan di dalam tag RFID dilampirkan ke objek fisik. Sebagai contoh, RFID banyak digunakan untuk sistem absensi atau sistem *Smart Lock*. Biasanya modul RFID SL030 membaca dan menulis tag RFID menggunakan 13,56 Mhz [8]. RFID dapat juga dikombinasikan dengan MySQL untuk membaca objek dan mengirim data ke database melalui internet.

### Kirim Data ke Internet

Tujuan pengiriman data ke internet adalah untuk membantu operator memantau pergerakan dan sistem AGV di halaman web. Sebagai mikrokontroler, Arduino Mega tidak dilengkapi dengan modul internet, namun AGV membutuhkan ESP8266 NodeMCU sebagai Modul WiFi [2]. Karena NodeMCU dan Arduino mega adalah perangkat yang berbeda, komunikasi serial mereka perlu didefinisikan dalam sketsa Arduino. Jadi, NodeMCU akan menerima data dari Arduino mega dan data yang diterima akan dikirim ke MySQL. Untuk mencapai tujuan ini, program lain perlu diunggah ke NodeMCU.



### 3. Hasil dan Pembahasan

Setelah perakitan selesai, pengujian kemudian dilakukan untuk memastikan AGV ini dapat bekerja dengan baik. Ada lima tes yang akan dilakukan yaitu tuning program PID, uji bobot beban, uji gabungan bobot beban dengan *line follower*, uji keseluruhan, dan uji baterai atau daya tahan.

#### Tuning Program Derivatif Integral Proporsional

Untuk menemukan yang terbaik untuk koefisien Proporsional ( $K_p$ ), Koefisien derivasi ( $K_d$ ), Koefisien integral ( $K_i$ ) penulis menggunakan metoda *trial-error* dengan mengubah nilainya yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan mengunggah ke program Arduino dengan kecepatan motor PWM 40. Pada percobaan ke-10 didapat hasil yang memuaskan yaitu  $K_p= 50$ ,  $K_i= 0.0125$ , dan  $K_d= 100$ .

Table 1. Tuning nilai koefisien Proportional, Integral and Derivative

NO	$K_p$	$K_i$	$K_d$	Result
1	0	0	0	AGV just moves straight
2	10	0	0	AGV starts to follow line but not stable
3	20	0	0	AGV starts to follow line but not stable
4	25	0	0	AGV starts to follow line but not stable
5	50	0	0	AGV follows the line but oscillate too much
6	50	0	25	AGV needs to decrease overshoot
7.	50	0	50	AGV needs to decrease overshoot
8	50	0	100	AGV needs to eliminate some errors
9	50	0.05	100	AGV move more smooth
10	50	0.0125	100	AGV is perfect

#### Uji Bobot beban

Mengacu pada torsi maksimum motor dan perhitungan beban ideal sebelumnya, beban maksimum AGV adalah 200 gram. Beban 200 gram tersebut adalah beban ideal untuk AGV setelah menerapkan faktor keamanan untuk motor stepper dan menjaga titik berat AGV dalam segitiga stabilitas. Pada saat pengujian, kenyataannya AGV mampu mengangkat beban tiga kali lebih besar dari kondisi ideal, tetapi akan memiliki efek pada gerakan AGV atau posisi pusat gravitasinya.

#### Uji Kombinasi Beban dan *Line Follower*

Tes ini menunjukkan kemampuan AGV memindahkan objek dengan beban yang berbeda ketika program *line follower* dan motor stepper digabungkan. Perilaku AGV yang berbeda ditunjukkan dengan mengubah beban tetapi dengan PWM motor yang sama. Sebagai contoh, pada 40 PWM dan beban 580gram AGV mampu mengangkat objek tetapi gagal memindahkan objek karena bebannya terlalu berat. Untuk mengatasi situasi ini, motor kecepatan PWM perlu ditingkatkan untuk mendapatkan lebih banyak torsi. Tetapi sebagai efek samping, sebelum AGV menemukan dan mengangkat objek, AGV bergerak lebih cepat dan lebih tidak stabil karena penyetelan program PID) diatur dengan 40 PWM.



### Uji Baterai

Ketika empat baterai disusun seri, tegangan totalnya adalah 14,4V tetapi mili ampere hour (mAh) tetap sama. Dalam hal ini penulis menggunakan empat baterai 3,7 Volt dengan 500mAh dengan koneksi seri. Tes ini menunjukkan berapa siklus AGV dapat bertahan dengan 500 mAh.

Saat PWM meningkat, konsumsi daya juga meningkat. Namun, hal ini menyebabkan PWM tinggi memiliki siklus maksimum lebih rendah pada 1 periode. Tapi, sementara PWM terlalu rendah, AGV juga memiliki siklus yang lebih rendah karena PWM rendah tidak dapat berjalan ketika baterai menurun di beberapa titik. Misalnya, ketika PWM rendah tidak dapat berjalan ketika baterai 3,0 VDC karena menghasilkan daya atau torsi rendah pada motor dc. Akan berbeda jika PWM yang lebih tinggi digunakan. PWM 40 cocok untuk kasus ini, AGV dapat berjalan mulus dan memiliki siklus tertinggi pada 1 periode. Juga, ada faktor eksternal yang menyebabkan kurangnya siklus yang merupakan kondisi baterai. Baterai yang digunakan tidak boleh bercampur dengan baterai baru atau akan mempengaruhi kinerja baterai secara seri. Biasanya salah satu baterai akan jatuh lebih cepat atau pengisi daya lebih cepat dari yang lain. Untuk diketahui, bahwa 1 siklus adalah ketika AGV bergerak dari A dan kembali ke A di sirkuit AGV.

### Hasil Tes keseluruhan

Tes keseluruhan berarti tes untuk AGV mulai dari tes *line follower*, uji RFID, memindahkan objek dan mulai mengulang. Sebagai hasil dari Tabel 4.5, dapat disimpulkan bahwa dari 60 percobaan dengan berbagai kecepatan PWM AGV berhasil 63,3%. Sebagian besar kegagalan disebabkan ketika AGV bergerak mundur dan kecepatan PWM. Ketika kecepatan PWM terlalu tinggi, AGV menjadi tidak stabil karena Koefisien Proporsional, Integral, Turunan (Kp, Kd, Ki) ditetapkan dengan kecepatan PWM rendah.

Table 2. Hasil tes keseluruhan.

NO	Initial Speed (PWM 1-255)	Maximum Speed	Load (gram)	Success	Failed	Trial(s)
1	38	45	120	12	3	15
2	40	45	120	11	4	15
3	42	48	120	9	6	15
4	45	50	120	6	12	15

Success 63.3% and failed 36.7% from 60 trials.

## 4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat prototipe mini AGV berbasis Arduino. Prototipe AGV adalah forklift berbasis Arduino yang dikombinasikan dengan *line follower* yang membantu memindahkan objek dari satu tempat ke tempat lain yang telah ditentukan. Dari uji coba yang telah dilakukan, kesalahan AGV terjadi ketika harus bergerak mundur dan mencari trek lain setelah mengirimkan objek. Kesalahan ini terjadi karena motor tergantung pada baterai. Yang berarti bahwa ketika baterai rendah, motor kehilangan torsi untuk bergerak mundur. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa AGV ini bekerja dengan baik dengan beberapa catatan sebagai berikut:

1. Komunikasi antara Arduino IDE, Modul Perangkat Identifikasi Frekuensi Radio dan program Derivative Integral Derivative (PID) berjalan lancar seperti yang dirancang.
2. Gerakan AGV tergantung pada koefisien PID, jika tidak, koefisien PID perlu disesuaikan.
3. AGV dapat diulang hingga 17 kali dengan empat baterai Li-Ion seri 3,7 V, 500 mAh.





4. AGV bisa mengangkat tiga kali lebih besar dari beban yang ditentukan.
5. AGV menyelesaikan 63,3% dari keseluruhan tes di mana semua kegagalan terjadi ketika AGV mundur.

Dari hasil di atas, ada beberapa poin yang dapat disarankan untuk menyempurnakan AGV:

1. Memanfaatkan sasis AGV terutama dalam sistem pengangkat.
2. AGV dapat diprogram oleh sistem GPS.
3. Gunakan sensor ultrasonik untuk mengidentifikasi halangan di depan AGV.
4. Gunakan lebih banyak sensor inframerah di bagian belakang AGV untuk bergerak mundur.

### **Daftar Pustaka**

- [1] Shu I. T., et al. 2011. *An Overview of Industry 4.0: definition, Components, and Government Initiatives*. Available: [www.researchgate.com](http://www.researchgate.com) [Sept. 22, 2019].
- [2] R.P Onkare, et al. 2017). *Arduino Nano Based Automatic Forklift Robot*. Vol. 6. Available: [www.ijareeie.com](http://www.ijareeie.com) [Sept. 22, 2019].
- [3] Rahul K., et al. 2016). *Android Phone controlled Bluetooth Robot*. Available: [www.irjet.com](http://www.irjet.com) [Oct. 10 2019].
- [4] B.T Felix, et al. 2011). *A mini Forklift Robot*. Available: [www.researchgate.com](http://www.researchgate.com) [Sept. 28, 2019].
- [5] *Motor Stepper datasheet*. Available: [www.researchgate.com](http://www.researchgate.com) [Oct. 20 2019].
- [6] Decuir F., et al. 2016). *Mechanical Strength of 3-D Printed Filaments*. Available: [www.researchgate.com](http://www.researchgate.com) [Oct. 20 2019].
- [7] Vikram B., et al. 2015). *Optimization of PID Control for High Speed Line Tracking Robots*. Available: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) [Oct. 20 2019].
- [8] Davinder P., et al. 2012). *The RFID Technology and Applications: A review*. Vol. 2. Available: [www.researchgate.com](http://www.researchgate.com) [Oct. 20 2019].
- [9] Fezari M. and Ali Al D. 2018). *NodeMCU V3 For Fast IoT Application Development*. Available: [www.researchgate.com](http://www.researchgate.com) [Oct. 20 2019].
- [10] Dwi B. S., et al. 2018). *Prototype Mesin Pengantar Barang Otomatis Menggunakan Load Cell Berbasis Robot Line Follower*. Vol. 10. Available: [www.scholar.google.co.id](http://www.scholar.google.co.id) [Oct. 15 2019].
- [11] Daniel F and Chris McCoy. 2016). *Materials Testing of 3D Printed ABS and PLA Samples to Guide Mechanical Design*. Available: [www.researchgate.com](http://www.researchgate.com) [Oct. 20 2019].
- [12] Bojan B., et al. 2018). *Consistency analysis of mechanical properties of elements produced by FDM additive manufacturing technology*. Vol.23. No. 4. Available: [www.researchgate.com](http://www.researchgate.com) [Oct. 20 2019].
- [13] Ferdinand P., et al., 2015). *Vectors for Mechanics (11th editions)*. Available: [www.researchgate.com](http://www.researchgate.com) [Oct. 20 2019].
- [14] Sutisna, N.A. and Harist F. 2018). *Rancang Bangun Prototipe Mesin Gravitasi Berbasis Mikro-kontroler Arduino*. Vol. 3. Available: <http://e-journal.president.ac.id/> [Oct. 20 2019].
- [15] Kumar S. 2016). *Design and Methodology of Automated Guided Vehicle*. Available: [www.researchgate.com](http://www.researchgate.com) [Nov.15 2019].