

RANCANG BANGUN ROBOT LINE FOLLOWER UNTUK SISTEM DISTRIBUSI BARANG

Diana Ndun¹, Evrita Lusiana Utari², Latifah Listyalina³

^{1,2} Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Respati Yogyakarta

³ Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta

Email: diana.nana29@yahoo.co.id¹, evrita_lusiana@yahoo.com², latifah.listyalina@atk.ac.id³

Corresponding Author : Latifah Listyalina

Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta

Email: latifah.listyalina@atk.ac.id

Abstrak – Robot *line follower* merupakan robot bergerak yang mampu mengikuti jalur garis secara otomatis dengan memanfaatkan rangkaian komponen elektronik sebagai sistem kendali. Penelitian ini bertujuan untuk merancang robot *line follower* sebagai sistem bantu distribusi barang guna meningkatkan efisiensi dan ketepatan proses pemindahan barang, serta sebagai dasar pengembangan teknologi plastik di masa depan. Robot dirancang menggunakan roda dan motor sebagai penggerak, serta dilengkapi rangkaian *line follower* yang terdiri atas sensor, komparator, dan *driver*. Photodiode digunakan sebagai sensor cahaya untuk mendeteksi jalur garis, sedangkan IC L298 berfungsi sebagai *driver* motor. Prinsip kerja robot didasarkan pada pendeteksian posisi sensor terhadap garis hitam. Ketika sensor kanan mendeteksi garis, robot bergerak ke kanan, sedangkan ketika sensor kiri mendeteksi garis, robot bergerak ke kiri. Apabila kedua sensor tidak mendeteksi garis, robot akan bergerak lurus ke depan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot mampu mengikuti jalur garis dengan baik dan stabil. Dengan kinerja tersebut, robot *line follower* ini berpotensi digunakan sebagai alat bantu distribusi barang.

Kata-kata kunci: Robot, line follower, Motor, Sensor.

Abstract – A line follower robot is a mobile robot capable of automatically following a predefined line using electronic components as its control system. This study aims to design a line follower robot as a support system for goods distribution to improve efficiency and accuracy in material handling processes, while also serving as a basis for future development of plastic technology. The robot is designed using wheels and motors as the driving system and is equipped with a line follower circuit consisting of sensors, a comparator, and a driver. Photodiodes are used as light sensors to detect the line, while the L298 IC functions as a motor driver. The working principle of the robot is based on detecting the sensor position relative to the black line. When the right sensor detects the line, the robot moves to the right, whereas when the left sensor detects the line, the robot moves to the left. If both sensors do not detect the line, the robot moves straight forward. The experimental results show that the robot is able to follow the predefined path accurately and stably. Therefore, this robot has the potential to be applied as a supporting tool for goods distribution.

Keywords: Robot, line follower, Motor, Sensor.

I. PENDAHULUAN

Di era modern saat ini, perkembangan sistem di berbagai bidang berjalan dengan sangat cepat. Salah satu bidang yang mengalami perkembangan signifikan adalah industri, terutama di sektor manufaktur, khususnya dalam proses penanganan material. Banyak perusahaan industri mulai beralih menggunakan teknologi robotika untuk mendukung dan mempercepat pekerjaan manusia [1]. Dengan memanfaatkan robotika, perusahaan dapat mengurangi pengeluaran untuk tenaga kerja manual, mengurangi risiko terjadinya kesalahan yang dilakukan oleh manusia (*human error*), serta mampu meningkatkan efisiensi produksi. Selain itu, penggunaan robotika juga

membantu meningkatkan kualitas hasil produk yang dihasilkan oleh industri tersebut [2]–[5].

Salah satu tahapan krusial dalam rantai produksi adalah proses distribusi barang. Saat ini, di banyak industri manufaktur, distribusi barang mentah dari satu tahap produksi ke tahap berikutnya masih bergantung pada tenaga manusia. Proses ini sering kali memakan waktu dan tenaga yang besar dari para pekerja. Untuk mengatasi masalah ini, otomatisasi dalam proses distribusi menjadi sangat dibutuhkan. Salah satu teknologi otomatisasi yang dapat digunakan adalah *Automatic Guided Vehicle* (AGV) [6]–[8]. AGV merupakan kendaraan otomatis yang bergerak mengikuti jalur tertentu dan dikendalikan oleh sistem navigasi.

Salah satu jenis AGV yang populer adalah AGV berbasis *line follower*, yang bekerja dengan mengikuti garis atau jalur yang telah disiapkan. Teknologi ini mempermudah proses pemindahan barang dari satu lokasi ke lokasi lainnya, sehingga membantu meringankan beban kerja manusia, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi kesalahan dalam proses distribusi [3], [9], [10].

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sistem distribusi yang lebih cepat, akurat, dan efisien, diperlukan solusi teknologi yang adaptif serta hemat biaya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan robot berbasis *line follower* sebagai alat bantu distribusi barang yang dapat diimplementasikan pada lingkungan industri skala kecil hingga menengah [11]–[13]. Robot yang dikembangkan diharapkan mampu menjadi alternatif solusi otomatisasi yang sederhana namun efektif dalam mendukung sistem logistik internal perusahaan. Selain berfokus pada aspek fungsional dan kinerja navigasi. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut, khususnya dalam integrasi teknologi plastik [14]. Penggunaan material plastik pada struktur robot maupun pengembangan sistem distribusi berbasis teknologi plastik di masa depan diharapkan mampu meningkatkan efisiensi, menekan biaya produksi, serta mendukung penerapan sistem distribusi yang lebih berkelanjutan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian oleh [15] membahas mengenai robot pengikut garis, di mana robot ini mampu mengikuti jalur yang ditentukan menggunakan komponen elektronik untuk mencapai respon dan kecepatan yang optimal. Robot ini dilengkapi dengan sensor yang mempengaruhi roda yang digerakkan oleh motor, dimana kecepatan diatur berdasarkan batas maksimum kecepatan dan gesekan antara roda dan lantai. Robot pengikut garis terdiri dari dua bagian utama, yaitu perangkat lunak dan perangkat keras. Untuk memahami cara kerja robot ini, aplikasi simulasi Webots, yang merupakan perangkat *open source*, dapat digunakan oleh pemula. Simulasi dimulai dengan memanfaatkan file robot *e-puck* yang tersedia di Webots, kemudian memasukkan program dalam Bahasa C ke mikrokontroler robot. Hasil simulasi menunjukkan bahwa robot pengikut garis mampu mengenali jalur lurus maupun tikungan. Sistem ini mampu merespons dan mencapai kecepatan ideal melalui input dari sensor yang membaca garis, yang kemudian diproses oleh sistem kontrol berbasis Bahasa C, sehingga robot dapat bergerak secara optimal.

Penelitian dari [16] berlatar belakang masalah penumpukan sampah elektronik kini menjadi perhatian global. Meski demikian, perkembangan robotika terus meningkat di seluruh dunia, dengan berbagai kompetisi robotika yang digelar sebagai sarana kreatif komunitas. Namun, peningkatan penggunaan komponen elektronika dalam robotika turut berkontribusi pada bertambahnya sampah elektronik. Hal ini tidak terhindarkan karena dalam pengembangan robot, sering kali modul elektronik mengalami kerusakan dan perlu diganti dengan yang

baru. Untuk mengurangi penumpukan sampah elektronik, salah satu solusinya adalah dengan merancang modul elektronik yang portabel, sehingga komponen dapat dipasang dan dilepas dengan mudah. Portabilitas modul yang baik akan mengurangi frekuensi penggantian komponen jika terjadi kerusakan. Dalam penelitian ini, dikembangkan robot *line follower* dengan desain portabel, dimana modul-modulnya dapat dilepas dan dipasang dengan mudah. Robot ini menggunakan sensor *photodiode*, dengan kontroler Arduino Nano sebagai pusat kendali, *driver* motor L298N sebagai penggerak motor, dan motor DC 12V sebagai aktuator. Selain itu, rangka robot dibuat dari akrilik untuk menopang dan menghubungkan semua modul pada robot *line follower*. Hasil pengembangan menunjukkan bahwa robot *line follower* portabel berhasil diwujudkan, dengan modul-modul yang dapat dilepas dan dipasang dengan mudah.

Sementara itu, penelitian berjudul “Rancang Bangun Robot *line follower* untuk Menentukan Jarak Terpendek Pada *Maze Mapping*” oleh [17] ini berfokus pada perancangan dan implementasi algoritma *simple maze* pada robot beroda serta penggunaan kontroler PID untuk mengatur manuver robot. Tugas robot ini adalah menjelajahi *maze* dan menemukan target akhir, di mana terdapat tiga titik awal yang berbeda, yaitu A, B, dan C. Algoritma *simple maze* digunakan untuk menyelesaikan *maze* dengan mencari jalur terpendek. *Maze* yang digunakan dalam penelitian ini berupa garis dengan permukaan berwarna putih dan garis hitam sebagai jalurnya. Robot mengikuti aturan telusur kiri atau kanan selama penjelajahan, dan mencatat setiap persimpangan yang dilewati dengan kode seperti L (belok kiri), S (lurus), dan B (kembali). Untuk menemukan jalur terpendek, robot menyederhanakan catatan ini menggunakan algoritma *simple maze*, sehingga pada percobaan kedua, robot tidak perlu menelusuri setiap persimpangan lagi dan dapat langsung menemukan rute terpendek.

Dalam penelitian ini, tuning kontroler PID dilakukan melalui eksperimen, dengan parameter yang optimal yaitu $K_p=17$, $K_i=1$, dan $K_d=50$ untuk mendapatkan respons robot yang memuaskan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah penyederhanaan algoritma, robot dapat menempuh jalur yang lebih singkat dengan waktu yang lebih cepat pada penelusuran kedua, membuktikan bahwa program berfungsi dengan baik.

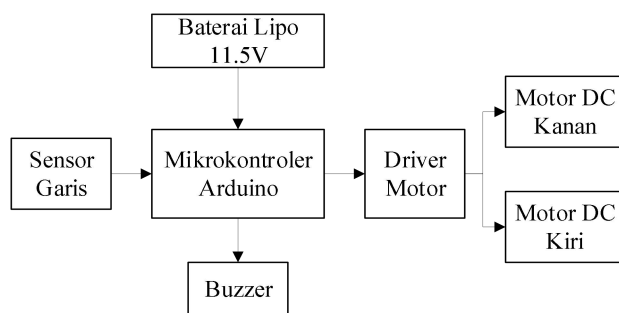
AGV untuk distribusi barang ini dapat diimplementasikan menggunakan robot *line follower*. Robot ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan mengikuti garis dengan bantuan sensor, seperti sensor *photodiode* yang digunakan untuk mendeteksi jalur. Robot *line follower* ini berbentuk *mobile* robot yang dapat secara otomatis memindahkan barang sesuai jalur yang telah ditentukan. Dengan demikian, robot ini dapat dimodelkan sebagai AGV yang berfungsi untuk membantu manusia dalam distribusi barang, meningkatkan produktivitas, dan mempermudah aktivitas sehari-hari [18], [19].

Penelitian ini memiliki beberapa keunikan dibandingkan dengan penelitian robot *line follower* sebelumnya. Pada penelitian terdahulu, robot *line follower* umumnya hanya difokuskan pada kemampuan mengikuti jalur, simulasi navigasi, atau pencarian jalur terpendek pada *maze mapping*. Selain itu, beberapa penelitian lebih menitikberatkan pada aspek portabilitas modul elektronik dan optimasi kontrol gerak robot.

Sementara itu, penelitian ini mengembangkan robot *line follower* yang secara khusus dirancang sebagai sistem distribusi barang sederhana berbasis konsep *Automatic Guided Vehicle* (AGV) untuk lingkungan industri skala kecil dan menengah.

III. METODOLOGI

Bagian ini menjelaskan bagaimana Pengembangan Rancang Bangun Robot Distribusi Barang Berbasis *line follower*. Perancangan ini menghasilkan robot yang dapat memindahkan barang menuju tempat yang telah ditentukan dengan menggunakan lintasan berbentuk garis hitam. Blok diagram Pengembangan Rancang Bangun Robot Distribusi Barang Berbasis *line follower* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gbr. 1 Blok Diagram Alat

Masing-masing blok diagram mempunyai fungsi yang berbeda, yaitu:

1. Mikrokontroler Arduino Uno sebagai perangkat kendali sistem keseluruhan.
2. Sensor garis terdiri dari kombinasi komponen photodiode sebagai penerima cahaya dan LED merah *super bright* sebagai pemancar cahaya.
3. *Driver* motor mengendalikan arah putaran dan kecepatan untuk menggerakkan robot.
4. Buzzer sebagai notifikasi, jika *limit switch* saklar robot menyentuh halangan, *buzzer* akan berbunyi dan robot akan berhenti.
5. Baterai *lipo charge* sebagai sumber catu daya alat keseluruhan. Ketika tegangan baterai 11,5 V relay akan bekerja menyalakan *charger*. dan ketika tegangan baterai mencapai 14,5 V relay akan mati dan memutuskan *charger*.
6. Motor DC kiri dan kanan membalik arah putaran motor DC dapat dilakukan dengan cara mengubah polaritas salah satu gulungan angker atau gulungan medan.

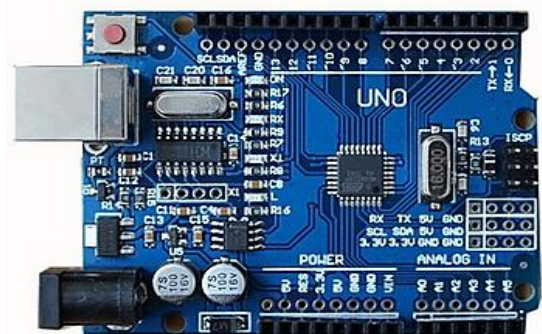
Rancang bangun robot ini menggunakan sensor garis yang terdiri dari kombinasi komponen photodiode sebagai penerima cahaya dan LED merah *super bright* sebagai pemancar cahaya. Saat sensor kanan berada diatas garis hitam maka akan memberikan perintah kepada mikrokontroler untuk menggerakkan robot ke arah kanan, sedangkan jika sensor kiri berada diatas garis hitam maka akan memberikan sinyal perintah kepada mikrokontroler untuk menggerakkan robot ke arah kiri. Jika kedua sensor berada di luar antara garis hitam maka sensor akan mengirimkan sinyal perintah agar mikrokontroler menggerakkan motor melalui *driver* motor ke arah depan atau maju.

Robot akan bergerak maju mengikuti garis hingga titik tujuan yang diberi halangan. Jika *limit switch* saklar robot menyentuh halangan, maka *buzzer* akan berbunyi dan robot akan berhenti. Catu daya pada alat ini menggunakan sumber tegangan dari baterai lipo 11,5 V 1A, seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Penggunaan catu daya tegangan berupa baterai untuk memudahkan mobilitas pergerakan robot *line follower*.



Gbr. 2 Baterai Lipo 11.5V
(Dokumentasi pribadi)

Mikrokontroler Arduino Uno digunakan sebagai pusat kendali sistem keseluruhan agar alat dapat bekerja sesuai dengan tujuan rancangan robot. Mikrokontroler ini menggunakan Arduino Uno Atmega 328. Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328 (*datasheet*). Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP *header*, dan tombol *reset*. Untuk mengaktifkan mikrokontroler, cukup hanya menghubungkan *Board* Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB, menggunakan adaptor AC ke DC, atau menggunakan baterai. *Board* Mikrokontroler ATmega 328 seperti diperlihatkan pada Gambar 3.

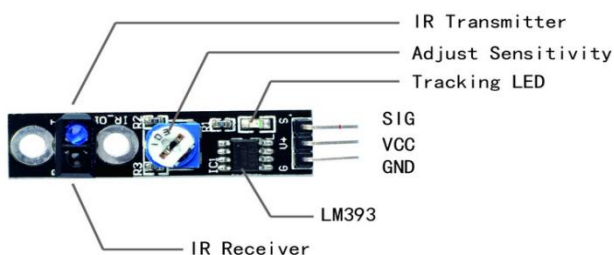


Gbr. 3 Board Mikrokontroler ATmega328 Arduino Uno [16]

Arduino Uno berbeda dengan semua *board* sebelumnya dalam hal koneksi USB-to-serial, yaitu menggunakan fitur ATmega8U2 yang diprogram sebagai *konverter USB-to-Serial*, berbeda dengan *board* sebelumnya yang menggunakan chip FTDI driver *USB-to-Serial*. Nama “Uno” berarti satu dalam bahasa Italia, untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi dari Arduino. Uno adalah yang terbaru dalam serangkaian *board* USB Arduino, dan sebagai model referensi untuk platform Arduino, untuk perbandingan dengan versi sebelumnya. Pin digital arduino uno ada 14 Pin yang dapat digunakan sebagai Input atau Output, dan 6 pin Analog berlabel A0 sampai A5 sebagai ADC. Setiap Pin Analog memiliki resolusi sebesar 10 bit. Ada beberapa pin memiliki fungsi khusus, antara lain:

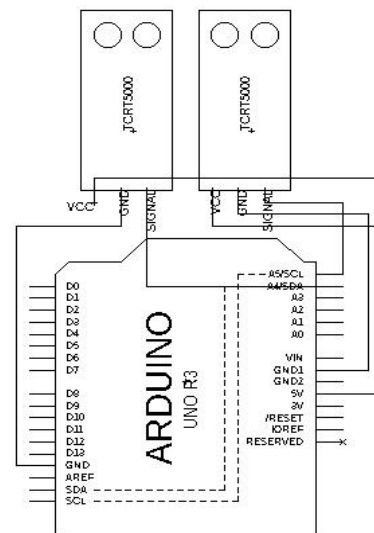
1. Serial : Pin 0 (RX) dan Pin 1 (TX) dapat digunakan untuk Mengirim (Tx) dan Menerima (Rx) TTL data serial.
2. External Interrupts : INT0 adalah Pin 2 dan INT1 adalah Pin 3.
3. PWM : 3, 5, 6, 9, 10, and 11 menyediakan output PWM 8 bit.
4. SPI : 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan SPI Library.
5. LED : 13. Built-in LED terhubung dengan Pin Digital 13.
6. I2C : A4 adalah pin SDA dan A5 adalah pin SCL. Komunikasi I2C menggunakan *Wire library*.

Perangkat sensor garis pada robot menggunakan sensor garis yang terdiri dari LED dan photodiode, seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Ketika sensor berada di atas garis hitam maka akan memberikan logika HIGH ke arah mikrokontroler Arduino, begitu pula sebaliknya jika berada di atas area yang lebih terang maka akan memberikan logika LOW ke arah mikrokontroler arduino Uno.



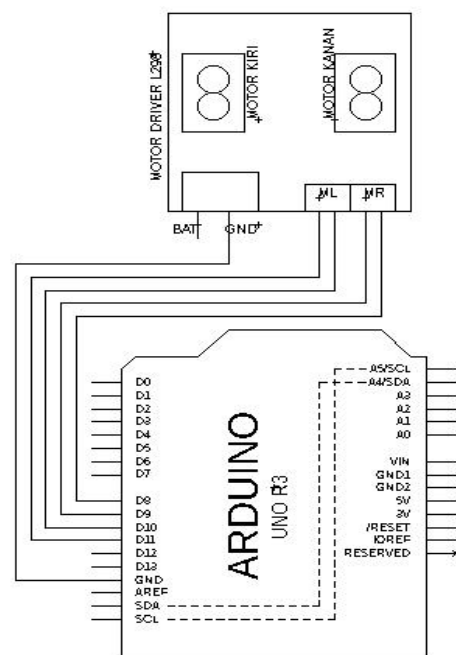
Gbr. 4 Sensor Garis TCRT5000 Pin Out [17]

Rangkaian sensor garis menggunakan modul sensor TCRT5000 seperti pada Gambar 5. Modul sensor ini memiliki 3 pin out, yaitu pin vcc yang terhubung dengan pin 5V pada mikrokontroler arduino, pin gnd yang terhubung dengan pin GND pada mikrokontroler arduino, dan pin signal yang terhubung dengan pin Analog pada mikrokontroler arduino. Penggunaan 2 buah sensor dengan tujuan untuk menjaga agar robot tetap berada di dalam jalur hitam saat bergerak. Masing-masing sensor terhubung dengan pin analog A4 dan analog A5.



Gbr. 5 Rangkaian Sensor Garis TCRT5000

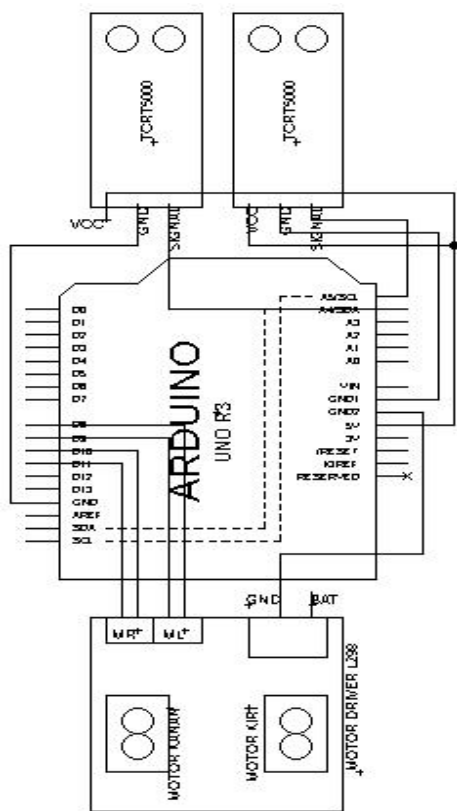
Rangkaian motor *driver* pada rancangan robot ini menggunakan modul motor *driver* L298N yang terhubung dengan pin digital 8, 9, 10 dan 11 pada mikrokontroler Arduino Uno, seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Motor *driver* L298N ini mendapatkan catu daya tegangan penggerak motor langsung dari baterai.



Gbr. 6 Rangkaian *Driver* Motor

Rangkaian motor *driver* ini digunakan untuk pengendali penggerak motor DC sebagai perangkat penggerak robot. Robot ini menggunakan 2 buah penggerak motor DC *Left* dan *Right*. Pengendali gerak motor DC bagian kiri terhubung dengan pin digital 8 dan 9 pada mikrokontroler, sedangkan pengendali perintah gerak motor DC bagian kanan terhubung dengan pin digital 10 dan 11. Rangkaian keseluruhan sistem robot seperti diperlihatkan pada Gambar 7, digunakan untuk

menggabungkan keseluruhan perangkat menjadi satu alat kerja dalam menunjang unjuk kerja alat sebagai Pengembangan Rancang Bangun Robot Distribusi Barang Berbasis *line follower*.



Gbr. 7 Rangkaian Keseluruhan Sistem Robot

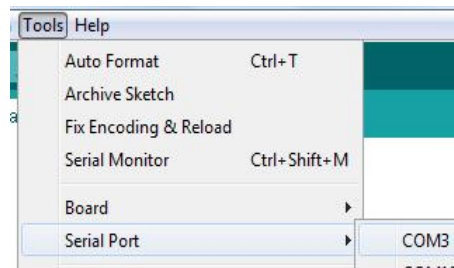
Rangkaian keseluruhan ini merupakan gabungan dari rangkaian perangkat yang digunakan. Perangkat modul sensor terhubung dengan pin analog A4 dan A5 mikrokontroler Arduino, sedangkan motor *driver* motor terhubung dengan pin 8, 9, 10 dan 11. Keseluruhan rangkaian mendapatkan catu daya tegangan dari baterai. Pembuatan *software* baris kode program dilakukan dengan menggunakan aplikasi ide arduino versi 1.8.9 dengan basis bahasa C yang disesuaikan agar dapat menunjang kinerja alat secara keseluruhan.



Gbr. 8 Tampilan Aplikasi Pemrograman IDE Arduino

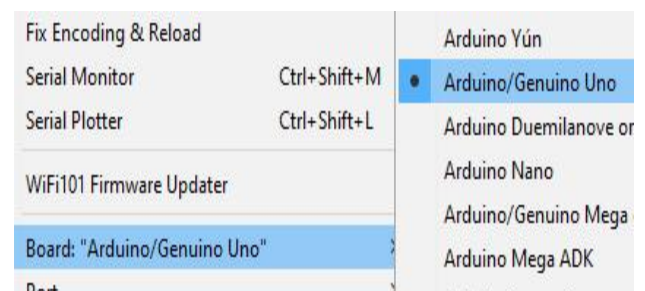
Penggunaan *software* pemrograman IDE Arduino dilakukan sesuai dengan jenis *board* mikrokontroler Arduino tipe UNO yang digunakan, seperti diperlihatkan pada Gambar 8.

Konfigurasi port serial pada Gambar 9 dilakukan untuk proses *uploading* program dari komputer ke arah mikrokontroler agar dapat beroperasi sesuai dengan *flowchart*.



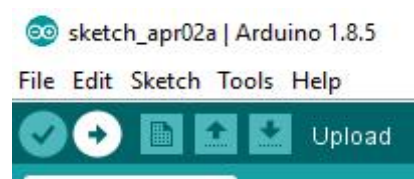
Gbr. 9 Konfigurasi Port Serial

Konfigurasi *board* mikrokontroler seperti pada Gambar 10 dilakukan untuk penyesuaian jenis *board* mikrokontroler yang digunakan dengan tipe *board* mikrokontroler yang akan diprogram pada aplikasi IDE Arduino.



Gbr. 10 Konfigurasi board mikrokontroler

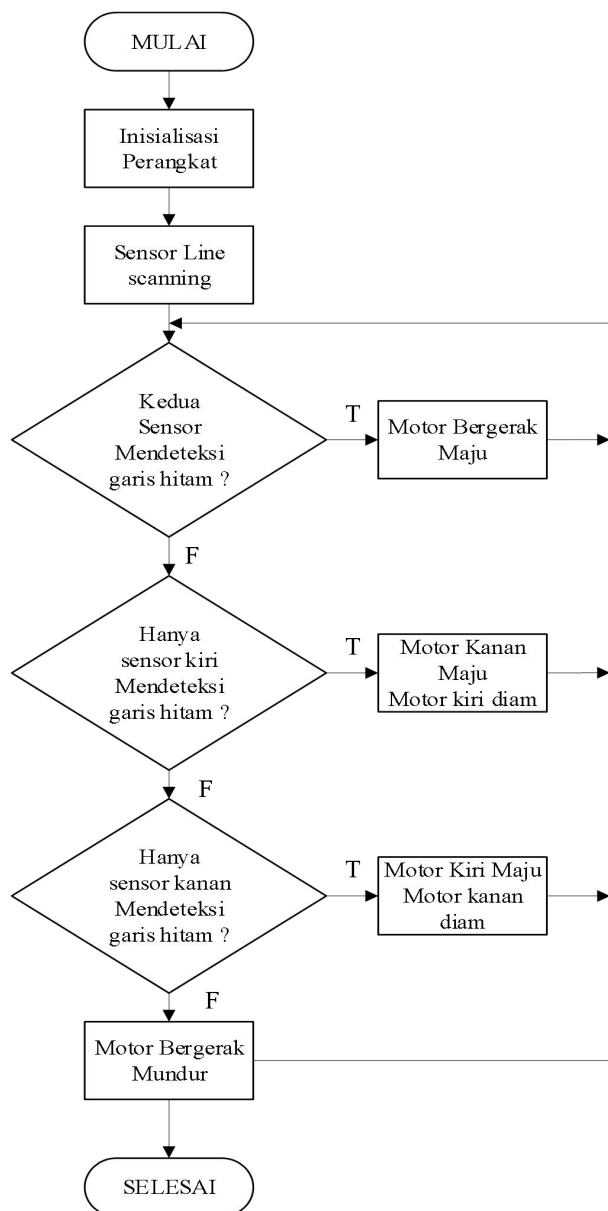
Proses *uploading* program ke arah mikrokontroler seperti pada Gambar 11, terjadi setelah dilakukan konfigurasi serial *port*, dan tipe *board* mikrokontroler selanjutnya adalah dengan cara menekan tombol *upload*.



Gbr. 11 Proses Uploading Program

Flow chart kinerja alat keseluruhan seperti diperlihatkan pada Gambar 12. Berikut adalah penjelasan mengenai *flow chart*:

1. Bagian inisialisasi perangkat merupakan tahap di mana mikrokontroler arduino mengidentifikasi perangkat yang terhubung di dalam sistem sensor *line scanning*.



Gbr. 12 Flowchart Kinerja Alat Keseluruhan

2. Pada tahap sensor *line scanning*, robot berjalan mengikuti garis dan didalamnya terdapat *circuit* yang berisi pemrograman untuk menjalankannya.
3. Kemudian tahap *input* dimana data perintah yang diproses dan diolah oleh mikrokontroler Arduino.
4. Kedua sensor mendeteksi garis hitam sehingga sensor tengah ketemu jalur hitam, maka robot akan meniti garis hitam dan bergerak maju.
5. Saat sensor kiri yang mendeteksi garis hitam, maka akan memberikan perintah kepada mikrokontroler untuk menggerakkan motor kanan maju, motor kiri diam.
6. Saat sensor kanan berada diatas garis hitam, maka akan memberikan perintah kepada mikrokontroler untuk menggerakkan motor kiri maju, motor kanan diam.
7. Jika sensor berada di luar antara garis hitam maka robot akan mundur.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian Perancangan Rancang Bangun Robot Distribusi Barang Berbasis *line follower* ini dilakukan dengan pengamatan pada unjuk kerja robot dalam menyusuri garis *track* yang telah ditentukan dengan *track* jalur searah.

Hasil perancangan penelitian ini berupa sebuah robot *line follower* yang digunakan sebagai alat bantu distribusi barang otomatis. Robot dirancang menggunakan dua roda penggerak motor DC dan satu roda caster sebagai penyeimbang. Sistem kendali utama menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang terhubung dengan sensor garis TCRT5000, *driver* motor L298N, *limit switch*, buzzer, dan sumber daya baterai Li-Po.

Rangka robot dibuat menggunakan bahan akrilik/plastik ringan sehingga memiliki bobot yang lebih ringan, mudah dibentuk, serta cukup kuat untuk menopang seluruh komponen elektronik yang digunakan. Penggunaan material plastik juga mendukung pengembangan sistem distribusi barang yang lebih ekonomis dan mudah diproduksi. Adapun bagian-bagian utama robot terdiri dari:

1. Arduino Uno sebagai pusat pengendali sistem.
2. Sensor garis TCRT5000 sebagai pembaca jalur hitam.
3. *Driver* motor L298N sebagai pengendali motor DC.
4. Motor DC kanan dan kiri sebagai penggerak robot.
5. Baterai Li-Po sebagai sumber catu daya.
6. *Limit switch* sebagai sensor pendeteksi penghalang.
7. Buzzer sebagai indikator notifikasi.
8. Rangka/*body* robot berbahan plastik/akrilik.
9. Roda caster sebagai penyeimbang gerakan robot.

Pengukuran dilakukan pada tegangan yang diukur saat alat digunakan pada Tabel 1, sehingga dapat dihasilkan perbandingan antara teoritis dan secara praktiknya. Pengujian tegangan dilakukan untuk mengetahui tegangan yang ada pada *board* mikrokontroler arduino, sensor garis, *driver* motor, baterai, dan buzzer. Pengukuran tegangan dilakukan menggunakan alat ukur multimeter digital.

TABEL I
Pengujian Tegangan

No.	Perangkat	Tegangan
1.	Arduino Uno	4,8 Volt
2.	Sensor Garis	4,7 Volt
3.	<i>Driver</i> Motor	11,7 Volt
4.	Baterai	11,7 Volt
5.	Buzzer	4,8 Volt

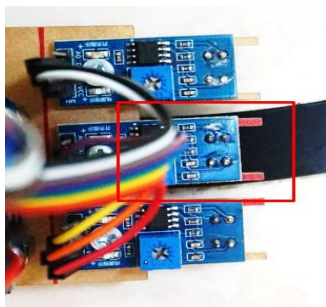
Pengujian tegangan mendapatkan hasil bahwa alat secara keseluruhan mendapatkan cukup catu daya untuk beroperasi dengan baik. Tegangan catu daya berada pada batas kerja ideal pada rentang 4,8 – 5 Volt yang mendapatkan sumber dari mikrokontroler, sedangkan yang bersumber dari baterai sebesar 11,5 Volt.

Pengujian *tracking* jalur pada Tabel 2 atau menyusuri jalur dilakukan dengan meletakkan robot di atas *track* garis jalur warna hitam. Pengujian dilakukan dengan jalur satu arah dengan 4 kali percobaan. Robot akan menyusuri jalur *track* sesuai garis dengan acuan warna pada garis hitam. Hasil pengujian seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

TABEL II
Pengujian *Tracking* Jalur

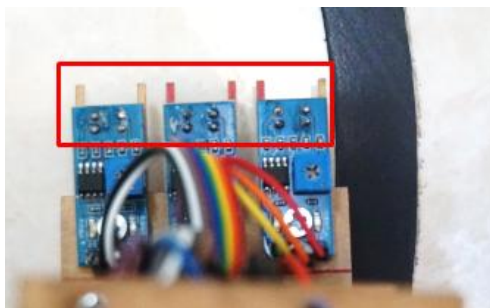
Sensor Garis						Laju Robot
Sensor Kiri		Sensor Tengah		Sensor Kanan		
In	Out	In	Out	In	Out	
-	√	√	-	-	√	Maju
-	√	-	√	-	√	Mundur
√	-	-	√	-	√	Belok Kiri
-	√	-	√	√	-	Belo Kanan
√	-	√	-	√	-	STOP

Gambar 13 menunjukkan kondisi di mana sensor *infrared* (IR) mendeteksi jalur berwarna hitam secara sejajar. Hal ini menunjukkan bahwa jalur berada tepat di tengah sensor, sehingga logika kendali robot memerintahkan motor untuk bergerak maju secara lurus. Ini adalah kondisi ideal saat robot mengikuti lintasan dengan benar.

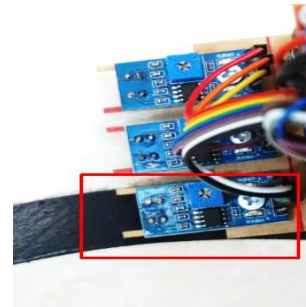


Gbr. 13 Posisi Sensor Kondisi Robot Bergerak Maju

Posisi sensor robot bergerak mundur seperti diperlihatkan pada Gambar 14. Sensor bagian kiri mendeteksi jalur hitam, sementara sensor tengah dan kanan tidak. Ini mengindikasikan bahwa lintasan berada di sebelah kiri robot. Sebagai respons, sistem akan mengaktifkan motor secara diferensial agar robot berbelok ke kiri mengikuti jalur. Hal tersebut diperlihatkan pada Gambar 15.

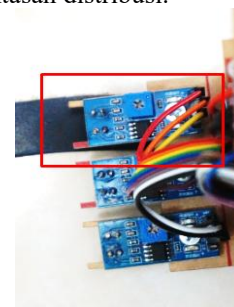


Gbr. 14 Posisi Sensor Kondisi robot Bergerak Mundur



Gbr. 15 Posisi Sensor Kondisi robot Belok Kiri

Sensor bagian kanan mendeteksi jalur, sedangkan sensor lainnya diperlihatkan pada Gambar 16. Kondisi ini mengarahkan robot untuk berbelok ke kanan, menyesuaikan posisi agar tetap mengikuti jalur hitam yang merupakan lintasan distribusi.



Gbr. 16 Posisi Sensor Kondisi robot Belok Kanan

Pengujian pada beberapa gambar di atas menunjukkan bahwa robot berhasil mengenali arah lintasan berdasarkan posisi jalur yang terbaca oleh masing-masing sensor IR. Dengan logika kendali yang sesuai, robot dapat bergerak lurus, berbelok ke kiri/kanan, dan mundur saat terjadi kesalahan posisi. Hal ini membuktikan bahwa sistem *line follower* bekerja dengan baik dalam mendukung navigasi otomatis untuk distribusi barang.

Hasil *tracking* jalur menunjukkan robot mampu meniti garis yang ditentukan secara terarah dengan baik sesuai dengan pembacaan sensor garis. Hal ini sesuai dengan unjuk kerja rancang bangun robot yang diharapkan pada Tabel 3. Pengujian buzzer dilakukan dengan pengamatan unjuk kerja perangkat buzzer disaat robot dijalankan pada jalur *track*. Buzzer akan memberikan notifikasi bunyi jika kesemua sensor berada pada garis hitam.

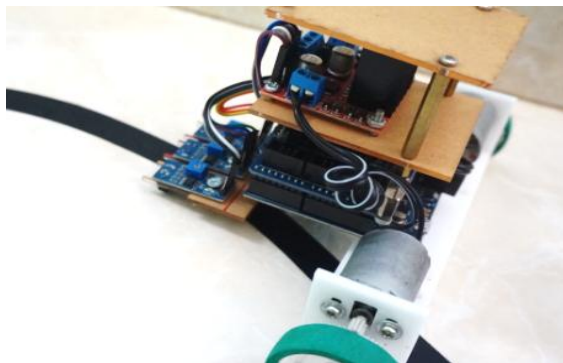
TABEL III
Pengujian Buzzer

Uji	Sensor Garis						Status Buzzer
	Sensor Kiri		Sensor Tengah		Sensor Kanan		
	In	Out	In	Out	In	Out	
1	-	√	√	-	-	√	Off
2	-	√	-	√	-	√	Off
3	√	-	-	√	-	√	Off
4	-	√	-	√	√	-	Off
5	√	-	√	-	√	-	ON

Data pengujian buzzer menunjukkan bahwa buzzer dapat merespon dengan baik kondisi sensor saat ketiga sensor berada pada garis hitam. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat buzzer dapat bekerja dengan baik. Pengujian gerak pada variasi kondisi cahaya ruang dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja respon gerak robot di dalam kondisi pencahayaan yang berbeda. Pengujian dilakukan pada kondisi terang, kondisi remang di dalam ruangan, kondisi gelap di dalam ruangan minim pencahayaan sesuai Tabel 4-6.

TABEL IV
Pengujian dalam Kondisi Ruang Terang

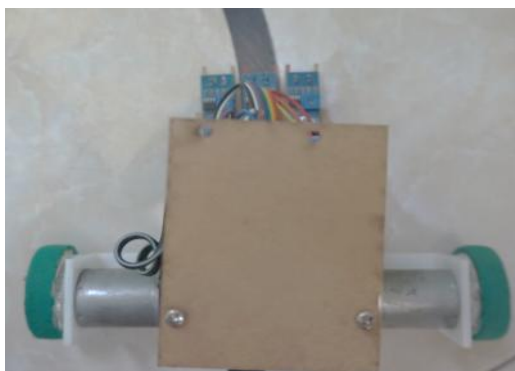
Uji ke-	Kondisi Ruang	Respon Gerak Robot
1	Terang	Lancar sesuai jalur
2	Terang	Tersendat, masih sesuai jalur
3	Terang	Tersendat, masih sesuai jalur
4	Terang	Lancar sesuai jalur
5	Terang	Lancar sesuai jalur



Gbr. 17 Pengujian Dalam Kondisi Ruang Terang

TABEL V
Pengujian dalam Kondisi Ruang Remang

Uji ke-	Kondisi Ruang	Respon Gerak Robot
1	Remang	Tersendat, masih sesuai jalur
2	Remang	Tersendat, masih sesuai jalur
3	Remang	Lancar sesuai jalur
4	Remang	Lancar sesuai jalur
5	Remang	Lancar sesuai jalur



Gbr. 18 Pengujian Dalam Kondisi Ruang Remang

TABEL VI
Pengujian dalam Kondisi Ruang Gelap

Uji ke-	Kondisi Ruang	Respon Gerak Robot
1	Gelap	Lancar sesuai jalur
2	Gelap	Lancar sesuai jalur
3	Gelap	Lancar sesuai jalur
4	Gelap	Lancar sesuai jalur
5	Gelap	Lancar sesuai jalur

Pengujian gerak pada variasi belokan dilakukan untuk menguji respon pergerakan robot dalam mengikuti kondisi jalur yang berbelok. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 2 macam belokan, yaitu belok kanan dan belok kiri. Hasil pengujian seperti diperlihatkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

TABEL VII
Pengujian Jalur Belok Kanan

Uji ke-	Tipe Belokan	Respon Robot
1	Kanan	Mampu berbelok ke kanan mengikuti jalur
2	Kanan	Mampu berbelok ke kanan mengikuti jalur
3	Kanan	Mampu berbelok ke kanan mengikuti jalur
4	Kanan	Mampu berbelok ke kanan mengikuti jalur
5	Kanan	Mampu berbelok ke kanan mengikuti jalur

TABEL VIII
Pengujian Jalur Belok Kiri

Uji ke-	Tipe Belokan	Respon Robot
1	Kiri	Mampu berbelok ke kiri mengikuti jalur
2	Kiri	Mampu berbelok ke kiri mengikuti jalur
3	Kiri	Mampu berbelok ke kiri mengikuti jalur
4	Kiri	Mampu berbelok ke kiri mengikuti jalur
5	Kiri	Mampu berbelok ke kiri mengikuti jalur

Selain pengujian *tracking* jalur, dilakukan juga pengujian terhadap sistem penghentian otomatis saat robot mencapai penghalang di titik tujuan distribusi barang. Sistem ini menggunakan *limit switch* sebagai sensor sentuh yang dipasang pada bagian depan robot dan dihubungkan dengan buzzer sebagai indikator notifikasi.

Pada saat robot bergerak mengikuti jalur garis hitam, robot akan terus berjalan hingga bagian depan robot menyentuh penghalang. Ketika *limit switch* tertekan akibat kontak langsung dengan penghalang, mikrokontroler Arduino Uno akan menerima sinyal *input* untuk menghentikan putaran motor DC melalui *driver* motor L298N. Secara bersamaan, buzzer akan aktif sebagai tanda bahwa robot telah mencapai titik tujuan atau terdapat hambatan di depan robot.

Berdasarkan hasil pengujian, robot mampu berhenti secara otomatis setelah menyentuh penghalang dengan respon yang stabil. Sistem penghentian ini berfungsi untuk mencegah robot terus bergerak dan mengurangi risiko kerusakan pada barang maupun robot. Mekanisme tersebut menunjukkan bahwa robot tidak hanya mampu mengikuti jalur secara otomatis, tetapi juga memiliki

fitur keselamatan sederhana dalam proses distribusi barang.

Pengujian dilakukan sebanyak beberapa kali percobaan dan menunjukkan bahwa *limit switch* dan buzzer dapat bekerja dengan baik sesuai rancangan. Ketika *limit switch* belum menyentuh objek, robot tetap bergerak mengikuti jalur. Setelah terjadi kontak dengan penghalang, motor berhenti dan buzzer aktif sebagai notifikasi akhir proses distribusi.

Pengujian fungsional dilakukan dengan cara menjalankan fungsi alat secara keseluruhan, yaitu dengan mengoperasikan alat. Hasil pengujian fungsional ditunjukkan pada Tabel 9.

TABEL IX
Pengujian Fungsional

No.	Komponen	Hasil
1.	Mikrokontroler Arduino Uno	Mampu secara keseluruhan mengolah data yang masuk dan yang keluar dari hasil pembacaan sensor garis dan diteruskan ke <i>driver</i>
2.	Sensor Garis	Mampu membaca warna pada garis jalur sebagai acuan gerak motor pada robot
3.	<i>Driver</i> Motor	Mampu berfungsi sebagai pengendali gerak motor dengan baik sesuai dengan hasil pembacaan sensor
4.	Baterai	Mampu mensuplai tegangan dengan baik sesuai dengan kebutuhan mikrokontroler dan motor DC yang digunakan
5	Buzzer	Mampu memberikan notifikasi bunyi saat semua sensor berada didalam garis hitam

Berdasarkan pengujian fungsional didapatkan hasil bahwa alat dapat bekerja dengan baik. Hal ini ditunjukkan dari tabel data pengujian fungsional dimana setiap perangkat yang digunakan mampu bekerja dengan baik sesuai dengan unjuk kerja masing-masing dalam menggerakkan roda motor pada robot sesuai dengan pembacaan sensor garis. Berdasarkan data pengujian *tracking* jalur, diperoleh dari pengamatan untuk kinerja robot dengan meletakkan robot pada jalur garis hitam, dan jalan secara otomatis meniti garis sampai ujung garis.

Gerak arah motor dalam mengikuti arah garis dipengaruhi oleh sensor garis sisi kiri dan kanan. Jika sensor kiri dan kanan berada di dalam garis hitam maka motor akan bergerak melaju ke depan. Jika sensor kiri dan kanan di luar garis hitam maka motor akan bergerak melaju ke belakang. Jika sensor kiri berada di dalam garis hitam disertai sensor kanan berada di luar garis hitam, maka motor akan bergerak melaju ke arah kanan. Sedangkan jika sensor kiri berada di luar garis hitam disertai sensor kanan berada di dalam garis hitam maka motor bergerak melaju ke arah kiri. Proses ini berlangsung secara terus menerus.

V. KESIMPULAN

Dari hasil Pengembangan Rancang Bangun Robot Distribusi Barang Berbasis *line follower* dapat disimpulkan bahwa:

1. robot *line follower* yang dibuat telah mampu mengikuti garis yang telah ditentukan.
2. saat sensor kanan robot *line follower* berada di atas garis hitam maka akan memberikan perintah kepada mikrokontroler untuk menggerakkan robot ke arah kanan, sedangkan jika sensor kiri berada diatas garis hitam maka akan memberikan sinyal perintah kepada mikrokontroler untuk menggerakkan robot ke arah kiri, dan jika kedua sensor berada di luar antara garis hitam maka sensor akan mengirimkan sinyal perintah agar mikrokontroler menggerakkan motor melalui *driver* motor ke arah depan atau maju.

REFERENSI

- [1] Faridha, M. & Dewiani, D. (2024). Pemanfaatan Aplikasi Particle Swarm Optimization (PSO) untuk Pengaturan Pengurangan Beban Tenaga Listrik. *Jurnal Teknik Elektro UNIBA*, 8(2), 412-418.
- [2] Wicaksana, A. (2016). Pengertian Use Case. Available: <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>.
- [3] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) dan Economic Research Institute for ASEAN and East Asia (ERIA). (2021). *Kajian Sektor Manufaktur Indonesia*. Available: https://www.eria.org/uploads/media/Books/Kajian-Sektor-Manufaktur-Indonesia-2021_FINAL.pdf.
- [4] Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0. (2023). *Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik*, 9(1), 1-366. <https://penerbit.stekom.ac.id/index.php/yayasanpat/article/view/457>.
- [5] Harahap, N. A. P., Al Qadri, F., Harahap, D. I. Y., Situmorang, M., & Wulandari, S. (2023). Analisis Perkembangan Industri Manufaktur Indonesia. *El-Mal: Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam*, 4(5), 1444-1450.
- [6] Eral, M. (2020). *Analisis Rantai Pasok (Supply Chain) Pabrikresiprene 35 PT. Industri Karet Nusantara Medan*. pp. 1-117.
- [7] Zhang, Z., Wu, L., Gao, K., Yao, J., Qin, T., & Han, B. (2025). Fast and accurate blind flexible docking. *arXiv preprint arXiv:2502.14934*.
- [8] Ir Muhammad, M. T. (2026). *Pengantar Teknik Logistik*. Penerbit Karya Bakti Makmur (KBM) Indonesia.
- [9] Kaihatu, T. S. (2016). Manajemen Supply Chain pada Industri Global.
- [10] Dahoklory, M. (2013). *Analisis dan Pengembangan e-Supply Chain Management PT Jatropa Indah*. S2 thesis, UAJY.
- [11] Rian, R. E., Utari, E. L., & Listyalina, L. (2024). Implementasi Deteksi Tepi Iris Mata pada Citra

- Mata Normal dan Kolesterol. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 9(1), 474-481.
- [12] Sulistyawati, E. (2023). Perancangan Alat Pendeteksi Ketinggian Air Bendungan untuk Mengantisipasi Terjadinya Banjir Berbasis WhatsApp. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, 8(1), 380-384.
- [13] Noviarianto, N., Kusumartono, T., Suyono, S., & Triyono, J. (2023). Rancang Bangun Komunikasi Lora Multi Node pada Navigation Buoy Sebagai Stasiun Cuaca. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, 8(1), 389-393.
- [14] Pratama, D. S., Yuwono, Y. C. H., & Sufandi, M. R. (2025). Prototipe Mobil Robot Pemindah Barang dengan Voice Control berbasis ESP32. *Jurnal Litek : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, 22(2), 89-93. <https://doi.org/10.30811/litek.v22i2.76>.
- [15] Alia, L. S. (2022). Simulation Understanding Line Follower Robot C Program with Webots: Simulasi Pemahaman Robot Pengikut Garis Program C dengan Webots. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy (IJEERE)*, 2(1), 7-18. <https://doi.org/10.57152/ijeere.v2i1.106>.
- [16] Budiayanta, N. E., Tanudjaja, H., & Mulyadi, M. (2019). Rancang Bangun Robot Line Follower Portable Sebagai Upaya Minimalisasi Sampah Elektronik di Ranah Robotika. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 20(2), 148-156. <https://doi.org/10.24912/tesla.v20i2.2991>.
- [17] Wenda, N. (2022). Rancang Bangun Robot Line Follower untuk Menentukan Jarak Terpendek pada Maze Mapping. Tugas Akhir: *Universitas Sam Ratulangi*, pp. 1-9.
- [18] Sunardi, Buyung, I., & Listyalina, L. (2024). Perancangan Automatic Tissue Processor Pada Tahap Infiltrasi Paraffin Jaringan Untuk Pembuatan Sediaan Preparat Histologi. *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika Dan Kendali*, 9(1), 47-52. <https://doi.org/10.33772/jfe.v9i1.137>.
- [19] Listyalina, L., & Mayasari, K. (2023). Analisis Perancangan Digital Nutrition Scale Berbasis Sensor Load Cell. *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, and Controls (AVITEC)*, 5(2), 137-146.