

Implementasi Multiplexer 74HC4051 untuk Optimasi Jumlah Sensor Garis pada Robot Line Follower

Agusma Wajiansyah¹, Supriadi^{2*}, Ansar Rizal³, Hari Purwadi⁴

^{1,2,3,4}Program Studi D3 Teknik Komputer, Politeknik Negeri Samarinda; Jl, Dr. Ciptomangunkusumo Kampus Gn. Panjang Samarinda Kalimantan Timur 75131.

Received: 28-11-2025
Accepted: 27-01-2026

Keywords:
Robot Line Follower;
Sensor Garis;
Multiplexer 74HC4051.

Correspondent Email:
supriadi.polnes@gmail.com

Abstrak. Robot line follower membutuhkan sejumlah sensor reflektif untuk mendeteksi posisi garis secara akurat. Namun, keterbatasan jumlah pin ADC pada mikrokontroler sering menjadi hambatan dalam penambahan sensor. Penelitian ini membahas implementasi multiplexer 74HC4051 sebagai solusi untuk memperluas jumlah kanal sensor tanpa menambah kebutuhan pin ADC. Delapan sensor reflektif dihubungkan melalui 74HC4051 dan diuji pada dua kondisi permukaan, yaitu putih dan hitam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai ADC pada permukaan putih berada pada rentang 966–978 dengan rata-rata 972, sedangkan permukaan hitam menghasilkan nilai pada rentang 127–387 dengan rata-rata 239. Selisih rata-rata sebesar 733 poin ADC menunjukkan tingkat kontras yang sangat baik untuk proses deteksi garis. Waktu pembacaan ADC menggunakan multiplexer berada pada kisaran 113 μ s, hanya sedikit lebih tinggi dibanding pembacaan tanpa multiplexer, sehingga tidak mengganggu performa waktu nyata robot. Hasil ini membuktikan bahwa implementasi multiplexer 74HC4051 efektif dalam mengoptimalkan jumlah sensor garis sekaligus mempertahankan kualitas dan kecepatan pembacaan. Pendekatan ini memungkinkan desain robot line follower yang lebih presisi, responsif, dan fleksibel dalam konfigurasi jumlah sensor

Abstract. Line follower robots require a number of reflective sensors to accurately detect line positions. However, the limited number of ADC pins on a microcontroller often hinders the addition of sensors. This study discusses the implementation of the 74HC4051 multiplexer as a solution to expand the number of sensor channels without increasing the need for ADC pins. Eight reflective sensors were connected via a 74HC4051 and tested on two surface conditions, namely white and black. The test results show that the ADC value on the white surface is in the range of 966–978 with an average of 972, while the black surface produces a value in the range of 127–387 with an average of 239. The average difference of 733 ADC points indicates an excellent contrast level for the line detection process. The ADC readout time using the multiplexer is in the range of 113 μ s, only slightly higher than the reading without a multiplexer, so it does not affect the real-time performance of the robot. These results prove that the implementation of the 74HC4051 multiplexer is effective in optimizing the number of line sensors while maintaining the quality and speed of the reading. This approach allows for the design of line follower robots that are more precise, responsive, and flexible in their sensor number configuration..

1. PENDAHULUAN

Robot line follower telah menjadi platform edukasi dan penelitian yang fundamental dalam bidang robotika otonom. Kemampuannya untuk bergerak mengikuti jalur yang telah ditentukan menjadikannya model ideal untuk mempelajari konsep-konsep kunci seperti sistem kendali, pemrosesan sensor, dan navigasi [1,2,3,4]. Kinerja robot ini sangat bergantung pada akurasi dan resolusi sistem sensornya dalam mendeteksi posisi relatif terhadap garis. Secara empiris, peningkatan jumlah sensor pada array sensor garis berbanding lurus dengan peningkatan kinerja navigasi robot, khususnya ketika menghadapi lintasan kompleks seperti hairpin atau persimpangan [5].

Namun, skalabilitas sistem sensor ini menghadapi kendala teknis yang signifikan. Mikrokontroler populer seperti Arduino Uno, yang banyak digunakan dalam prototipe, memiliki sumber daya pin I/O analog yang terbatas (biasanya hanya 6 pin). Konfigurasi tradisional yang menghubungkan satu sensor ke satu pin membatasi jumlah sensor maksimal yang dapat diintegrasikan tanpa menggunakan mikrokontroler yang lebih tinggi atau kompleks. Keterbatasan ini menjadi penghalang (bottleneck) utama dalam mendesain robot line follower berkinerja tinggi dengan array sensor yang padat.

Solusi lain ditawarkan pada [6] dengan menggunakan Line sensor berbasis kamera. Hal tersebut tentu memberikan fleksibilitas yang tinggi. Namun, solusi tersebut seringkali kurang optimal karena pertimbangan biaya, kompleksitas pemrograman, serta penggunaan komputer dengan spesifikasi yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan sebuah solusi yang hemat biaya, dan efisien untuk mengekspansi kapasitas akuisisi data analog dari mikrokontroler.

Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan multiplexer analog. Integrated Circuit (IC) 74HC4051, sebuah 8-channel analog multiplexer/demultiplexer, menawarkan solusi hardware yang efektif. IC ini berfungsi sebagai saklar elektronik multi-posisi yang memungkinkan satu pin input analog mikrokontroler untuk membaca sinyal dari hingga delapan sumber sensor yang berbeda, yang dipilih menggunakan kombinasi tiga pin digital [7,8]. Dengan demikian,

implementasi 74HC4051 berpotensi meningkatkan jumlah sensor secara signifikan—dari 6 menjadi 48 sensor pada 6 pin analog Arduino Uno—dengan penambahan komponen yang minimal.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada implementasi IC 74HC4051 untuk mengoptimalkan jumlah sensor garis pada robot line follower. Studi ini bertujuan untuk menginvestigasi kelayakan dan kinerja teknik multiplexing ini dalam konteks akuisisi data sensor secara real-time. Dengan mengatasi keterbatasan I/O, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan sistem sensor robotika yang lebih skalabel dan efisien.

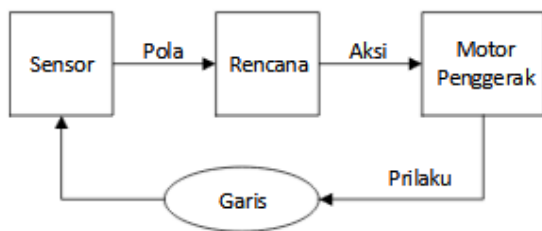
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Robot Line Follower

Robot adalah suatu benda dengan kemampuan bergerak atau bekerja secara otomatis yang dibangun dari gabungan beberapa sistem elektronika dan sistem mekanik. Mobile robot merupakan salah satu jenis robot yang memiliki kemampuan untuk berpindah posisi dengan sumber dayayang dimiliki. Robot beroda adalah contoh mobile robot yang menggunakan roda untuk berpindah posisi. Berbagai macam fungsi dapat diterapkan pada robot beroda, salah satunya adalah Line follower Robot. Konfigurasi roda dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Salah satu contohnya adalah konfigurasi differential-drive [9]

Proses pergerakan robot dengan konfigurasi differential-drive di kontrol oleh dua buah roda pada kedua sisinya dan satu buah roda penyeimbang. Kedua roda masing-masing terhubung pada motor yang kendalikan putarannya. Arah pergerakan robot dipengaruhi oleh kecepatan putaran roda dan arah putaran roda. Kombinasi dari berbagai kecepatan putar dan arah putaran roda akan menghasilkan perilaku berupa gerakan robot

Pada Line Follower Robot digunakan sensor untuk membaca posisi robot terhadap garis pemandu. Hasil pembacaan sensor berupa pola yang digunakan untuk menentukan perilaku yang harus dilakukan untuk mencapai referensi yang diinginkan. Proses ini ditunjukkan pada gambar 1

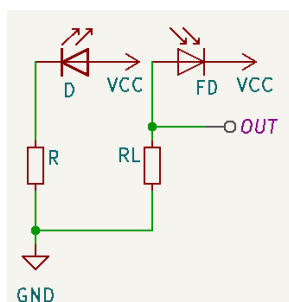


Gambar 1. Siklus Kerja Line Follower Robot

2.2. Sensor Garis

Sensor garis adalah sebuah perangkat sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan garis berwarna kontras dengan latarnya, paling sering garis hitam di atas permukaan putih, atau sebaliknya[10]. Sensor ini adalah komponen fundamental dalam robotika, khususnya untuk Robot Line Follower (Robot Pengikut Garis). Sensor garis bekerja berdasarkan perbedaan reflektansi cahaya antara warna terang (putih) dan warna gelap (hitam) pada permukaan lintasan. Pada permukaan putih cahaya banyak di pantulkan dan sebaliknya pada permukaan hitam sebagian besar cahaya akan diserap.

Perhatikan Gambar 2, sensor Garis dapat dibangun dengan memanfaatkan pasangan LED Bright (D, LED dengan pemancar cahaya yang lebih terang) dan Photodiode (FD, penerima cahaya), sensor ini mendeteksi intensitas pantulan cahaya yang berbeda, lalu mengubahnya menjadi sinyal listrik.



Gambar 2. Skematik Pasangan LED dan Fotodiode pada Sensor Garis

Photodiode menerima cahaya pantulan dan mengubah intensitas cahaya menjadi arus listrik[11,12]. Saat cahaya pantulan banyak (putih) maka arus photodiode meningkat. Sebaliknya Saat cahaya pantulan sedikit (hitam) maka arus photodiode menurun. Photodiode bekerja terbalik, diberi bias terbalik (reverse bias), Arus bocor (reverse current) meningkat proporsional dengan intensitas cahaya.

Arus dari photodiode sangat kecil (mikroampere), sehingga tidak langsung bisa dibaca mikrokontroler. Karena itu, photodiode dipasangkan dengan resistor beban (R_L) yang mengubah arus menjadi tegangan sesuai dengan hukum Ohm yang dituliskan pada persamaan (1):

$$V_{OUT} = I_R \times R_L \quad (1)$$

Dimana :

- V_{OUT} = Tegangan Output (Volt)
- I_R = Arus Revers Fotodiode (Amper)
- R_L = Resistor Beban (Ohm)

Tegangan Output akan semakin besar bersamaan dengan semakin banyaknya intensitas cahaya yang diterima oleh Fotodiode. Tegangan Output ini akhirnya dapat langsung dihubungkan ke Analog to Digital Converter (ADC). Pada Gambar 2 dengan tegangan Sumber (VCC) sebesar 5 Volt, maka Tegangan Output yang didapat berada pada range 0 hingga 5 Volt. Dengan menggunakan ADC 10-bit maka akan didapat nilai digital dengan range 0 hingga 1023. Untuk merepresentasikan kondisi ada Garis atau tidak ada Garis hanya diperlukan logic '0' dan '1'. Untuk tujuan tersebut, secara software nilai digital tersebut dikonversi menjadi logic '0' dan '1' dengan membandingkan nilai digital yang didapat dengan nilai threshold. Nilai threshold ini adalah nilai tengah dari range nilai terendah sampai dengan nilai tertinggi yang didapat sensor ketika sensor garis berada diatas garis atau tidak berada diatas garis.

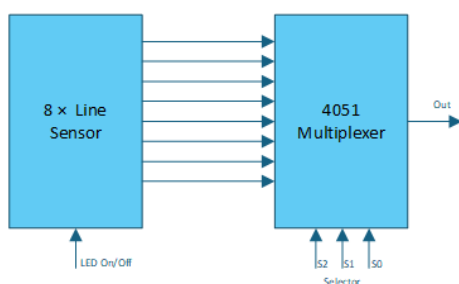
3. METODE PENELITIAN

3.1. Line Sensor Array

Untuk mendapatkan informasi posisi robot relatif terhadap garis, maka beberapa sensor di susun berjajar sehingga membentuk sensor Array. Sensor Array diposisikan tegak lurus terhadap garis, dengan bagian tengah sensor tepat berada diatas garis. Dengan posisi ini sensor bagian kanan dan kiri digunakan untuk mendeteksi penyimpangan robot terhadap garis.

Logika pergerakan robot didasarkan pada pembacaan kombinasi pada Line sensor Array:

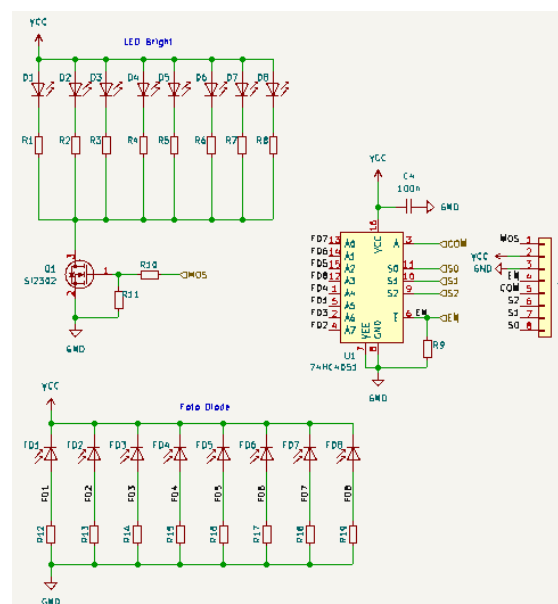
- Semua sensor pada latar belakang putih: Menandakan robot telah kehilangan garis (keluar jalur).
- Hanya sensor tengah yang mendeteksi garis: Robot berada pada jalur yang benar dan bergerak lurus.
- Hanya sensor kanan (atau lebih ke kanan) yang mendeteksi garis: Menandakan garis melengkung ke kanan atau robot terlalu jauh ke kiri. Robot akan menggerakkan motor kirinya lebih cepat (atau motor kanannya lebih lambat) untuk berbelok ke kanan.
- Hanya sensor kiri (atau lebih ke kiri) yang mendeteksi garis: Menandakan garis melengkung ke kiri atau robot terlalu jauh ke kanan. Robot akan menyesuaikan diri untuk berbelok ke kiri.
- Semua sensor mendeteksi garis hitam: Menandakan adanya persimpangan atau garis tebal, yang bisa digunakan sebagai penanda navigasi (misalnya, untuk menghitung jumlah persimpangan)



Gambar3. Block Diagram Line Sensor Array dengan multiplexer 4051

Pada Line sensor array, Jumlah sensor garis pada array menentukan jumlah channel ADC yang digunakan untuk mengakuisisi. Untuk mengatasi keterbatasan jumlah channel ADC pada mikrokontroller, multiplexer analog dapat diterapkan. Multiplexer 74HC4051 memiliki 8 input dan 1 output, sehingga dengan menggunakan 1 buah 74HC4051 maka dapat menghubungkan 8 sensor garis dengan hanya menggunakan 1 channel input ADC pada sisi mikrokontroller [13,14]. Gambar 3 memperlihatkan desain Line Sensor Array. Gambar 4 menunjukkan desain Skematik dari Line Sensor Array. Mosfet Q1 digunakan untuk On/Off LED Bright. Ini bertujuan untuk mendapatkan intensitas ambient light. Nilai

tersebut digunakan untuk tujuan kalibrasi pada sensor setiap sensor digunakan. ambient light diukur dengan membuat Mosfet dalam kondisi Off, sehingga LED Bright dalam keadaan padam. Pada kondisi tersebut hanya pencahayaan lingkungan sekitar sensor yang dibaca oleh Fotodiode. Line Sensor Array dapat beroperasi pada tegangan kerja sebesar 5 Volt dan 3,3 Volt. Jika dioperasikan pada tegangan 5 Volt maka nilai R1 – R8 adalah 120 Ohm, dan jika pada tegangan 3,3 Volt maka nilai resistor tersebut adalah 68 Ohm. Nilai tersebut menjamin arus pada setiap LED bright D1 – D8 tidak melampaui 10mA



Gambar 4. Desain Skematik Line Sensor Array, menggunakan 8 LED & 8 Foto Diode

Fotodiode FD1-FD8 bekerja pada mode Reverse-bias. Setiap Fotodiode dihubungkan seri dengan resistor R12-R19. Signal tegangan output sensor dicuplik dari Resistor tersebut. Nilai tegangan dibangkitkan berdasarkan Arus Revers I_R dari Fotodiode. I_R berbanding lurus dengan Intensitas cahaya yang diterima oleh fotodiode. Hal ini berarti semakin besar intensitas cahaya yang diterima fotodiode maka nilai I_R akan semakin besar, sehingga semakin besar tegangan yang dihasilkan.

3.2. Algoritma Pembacaan Sensor

Pembacaan sensor dilakukan secara sekuensial menggunakan protokol multiplexing dengan algoritma berikut:

```

FUNCTION BacaSemuaSensor
  SET SenArr = 0
  SET Threshold[8] =
    {TH1, TH2, TH3, TH4, TH5, TH6, TH7, TH8}

  FOR i = 0 TO 7 DO
    SET DIG_OUT(PIN_S0, i & 0b001)
    SET DIG_OUT(PIN_S1, (i >> 1) & 0b001)
    SET DIG_OUT(PIN_S2, (i >> 2) & 0b001)
    TUNGGU(1us)

    SET AnalogVal = RD_ADC_INP(PIN_COM)
    IF AnalogVal < Threshold[i] THEN
      SET SensorBit = 1
    ELSE
      SET SensorBit = 0
    END IF

    SenArr = SenArr | (SensorBit << i)
  END FOR
  RETURN SensorData
END FUNCTION

```

Semua sensor dibaca secara bergantian, dengan cara mengatur input multiplexer S0, S1 dan S2. Tegangan yang didapat pada output multiplexer dibaca oleh ADC. Nilai hasil pembacaan ADC kemudian dibandingkan dengan nilai threshold masing-masing sensor. Jika nilai ADC yang didapat lebih kecil dari threshold maka bit sensor akan bernilai '1'. Hal ini menandakan bahwa sensor berada di atas garis hitam. Namun jika nilai ADC lebih besar dibanding dengan threshold maka nilai bit sensor adalah '0' yang berarti sensor berada di atas background putih. Dengan menggunakan algoritma tersebut, jika dua buah sensor bagian tengah dari sensor Array berada di atas garis hitam maka nilai Sensor Data nya adalah '00011000'.

Untuk mendapatkan nilai threshold digunakan metode min-max. metode min-max merupakan metode yang sederhana dan mudah untuk diimplementasikan namun dapat menghasilkan sistem yang robust terhadap perbedaan pencahayaan [10,13,14]. pada metode ini setiap sensor akan diletakkan pada permukaan background (putih) dan Garis (Hitam) secara bergantian, sehingga akan didapatkan nilai pembacaan minimum (min) dan nilai hasil pembacaan maksimum (max). nilai min-max yang didapat kemudian digunakan untuk menghitung nilai threshold (T) sesuai persamaan (2):

$$T_i = \frac{\min_i + \max_i}{2} \quad (2)$$

Pseudocode metode min-max adalah sebagai berikut:

```

FUNCTION BuatThreshold
  SET MIN[8] = {1023}
  SET MAX[8] = {0}
  SET Threshold[8]

  FOR i = 0 TO 10 DO
    SET DIG_OUT(PIN_S0, i & 0b001)
    SET DIG_OUT(PIN_S1, (i >> 1) & 0b001)
    SET DIG_OUT(PIN_S2, (i >> 2) & 0b001)
    TUNGGU(1us)

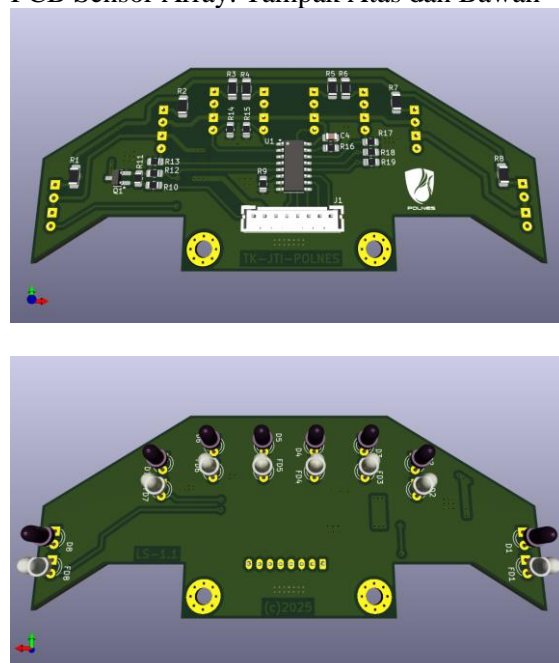
    SET AnalogVal = READ_ADC_INP(PIN_COM)
    IF AnalogVal < MIN[i] THEN
      MIN[i] = AnalogVal
    END IF
    IF AnalogVal > MAX[i] THEN
      MAX[i] = AnalogVal
    END IF
  END FOR

  FOR i = 0 TO 8 DO
    Threshold[i] = (MIN[i] + MAX[i]) / 2
  END FOR
END FUNCTION

```

3.3. Pembuatan prototype Line sensor Array

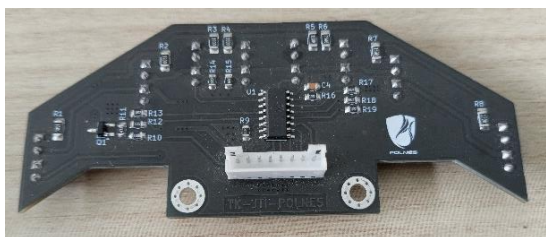
Prototype dibuat pada PCB. Desain Layout PCB dimulai dengan mengkonversi Desain skematik. Kemudian menentukan bentuk pola PCB, Tataletak komponen, Routing dan Polygon Pour. Gambar berikut adalah Desain PCB Sensor Array. Tampak Atas dan Bawah



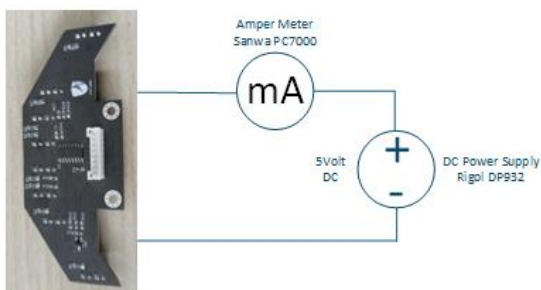
Gambar 5. Desain Layout PCB Line Sensor Array

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa penggunaan multiplexer 74HC4051 dapat mengoptimalkan jumlah sensor garis yang digunakan pada robot line follower. Menjamin sinyal dari setiap sensor dapat terbaca dengan baik oleh mikrokontroler meskipun jumlah pin input terbatas dan mengetahui pengaruh implementasi multiplexer terhadap performa robot, khususnya kecepatan pembacaan sensor. Pengujian dilakukan pada module sensor yang telah dibuat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pengujian pertama adalah mengukur arus yang dikonsumsi oleh module sensor saat semua LED Bright menyala dan padam. Gambar 7 memperlihatkan diagram pengukuran beserta perangkat ukur yang digunakan, Table 1 menunjukkan hasil pengukuran.



Gambar 6. Module Line Sensor Array multiplexer HC4051, Tampak atas dan bawah



Gambar 7. Diagram pengukuran Arus

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konsumsi Arus Modul Array Sensor, tegangan input 5 Volt DC

Kondisi Pengukuran	Arus (mA)
LED Bright ON	86,29
LED Bright OFF	0,46

Berdasarkan data pengukuran pada Tabel 1, dimana module array sensor yang terdiri dari 8 pasang LED dan fotodiode, ditemukan bahwa konsumsi arus total sistem saat seluruh LED aktif adalah 86,29 mA dan saat LED non-aktif adalah 0,46 mA pada tegangan kerja 5 V. Secara analitis, jika total arus adalah 86,29 mA, maka rata-rata arus yang dikonsumsi oleh setiap unit LED adalah sebesar 10,78 mA. Angka ini menunjukkan desain yang sangat optimal. Arus ~10 mA per LED berada pada titik kerja yang aman (di bawah batas maksimal rata-rata LED sebesar 20 mA), sehingga memperpanjang usia pakai (*lifespan*) komponen dan mencegah degradasi intensitas cahaya akibat panas berlebih. Selain hal tersebut, arus sebesar ini sudah cukup untuk memberikan pantulan cahaya yang memadai pada fotodiode tanpa menyebabkan saturasi yang bisa mengaburkan perbedaan antara permukaan gelap dan terang (*dynamic range* yang terjaga).

Pengujian berikutnya adalah pengukuran waktu eksekusi pembacaan data satu buah sensor pada sensor array. Sebagai pembandingan dilakukan pengukuran untuk sensor array dengan menggunakan multiplexer HC4051 dan sensor array tanpa multiplexer HC4051. Pengukuran dilakukan dengan board Arduino nano dengan mikrokontroler ATmega328 dan bekerja pada frekuensi 16MHz. Pada bagian software, pengukuran waktu memanfaatkan fungsi `micros()` yang mencatat waktu sebelum dan sesudah pemanggilan fungsi pembacaan sensor array. Table 2 menunjukkan hasil pengukuran tersebut. Dari 5 kali pengukuran didapatkan rata-rata waktu untuk mengeksekusi fungsi pembacaan sensor array sebesar 113,6 μ s untuk sensor yang berbasis multiplexer dan non-multiplexer. Data ini menunjukkan bahwa penggunaan multiplexer HC4051 tidak memberikan penalti waktu (*latensi*) tambahan dibandingkan dengan pembacaan sensor secara langsung, dengan rata-rata waktu eksekusi yang identik. Waktu eksekusi sebesar 113,6 μ s mengindikasikan

bahwa durasi pembacaan sepenuhnya didominasi oleh waktu konversi internal ADC pada mikrokontroler. Pada Arduino nano clock ADC ditetapkan sebesar 125 KHz. Untuk mengkonversi 10 bit ADC dibutuhkan 13 siklus Clock ADC sehingga waktu yang dibutuhkan untuk satu kali konversi selama 104 μ S. Perbedaan sekitar 9 μ S masih dapat diterima, mengingat perbedaan tersebut dapat datang dari overhead dari code fungsi analogRead. Dengan tidak adanya perbedaan waktu menunjukkan bahwa instruksi digital untuk memilih address pada multiplexer dieksekusi dalam hitungan *clock cycles* yang sangat singkat, sehingga tidak menambah beban komputasi yang terdeteksi pada skala mikrodetik (μ s).

Tabel 2. Hasil pengukuran waktu

Kondisi Pengukuran	Pengukuran Ke- (μ S)					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
Multiplexer	116	112	112	112	116	113,6
Non multiplexer	108	116	116	112	116	113,6

Berdasarkan pengujian beban penuh, total waktu eksekusi untuk membaca 8 sensor adalah 1022 μ s (atau sekitar 1,022 ms). Secara keseluruhan, sistem membutuhkan waktu 1022 μ s untuk menyelesaikan satu siklus pembacaan penuh terhadap 8 sensor. Durasi ini menunjukkan adanya overhead sebesar 113,2 μ s di luar proses konversi ADC murni, yang dialokasikan untuk manajemen alamat multiplexer dan pemrosesan data internal. Dengan frekuensi sampling mencapai 978,47 Hz, sistem ini menjamin responsivitas yang tinggi terhadap perubahan lintasan, sekaligus memvalidasi bahwa penggunaan multiplexer HC4051 tidak mengorbankan performa real-time sistem.

Pada table 3 dan 4 adalah hasil pembacaan sensor terhadap warna putih dan hitam. Sensor Array menggunakan delapan sensor reflektif untuk mendeteksi perbedaan intensitas cahaya pantulan. Permukaan putih memantulkan cahaya jauh lebih besar dibanding hitam, sehingga nilai ADC putih biasanya tinggi, sedangkan nilai hitam rendah. Hal ini terlihat jelas pada hasil pembacaan pada tabel 3 dan 4. Pembacaan sensor pada permukaan putih menghasilkan nilai ADC yang sangat tinggi dan konsisten, menunjukkan bahwa semua sensor menerima pantulan cahaya kuat. Pada permukaan putih sensor array

memiliki karakteristik Rentang Nilai dari 966 hingga 978 dan rata – rata 972. Nilai ini mendekati nilai maksimum ADC yaitu 1023. Hal ini menunjukkan pada permukaan putih sensor memiliki pantulan cahaya sangat tinggi dengan variasi antar sensor sangat kecil.

Hasil pembacaan pada permukaan hitam menunjukkan nilai yang lebih rendah dan lebih bervariasi antar sensor akibat perbedaan sensitivitas dan jarak sensor. Pada permukaan hitam sensor array memiliki karakteristik rentang nilai 127 hingga 387 dengan rata-rata 239. Hal ini menunjukkan bahwa pantulan cahaya jauh lebih rendah dibandingkan pada warna putih. Variasi yang lebih besar dapat disebabkan oleh sensitivitas tiap sensor tidak identik, kondisi permukaan (bergelombang/rata) atau geometris posisi sensor (Assembly sensor pada PCB).

Tabel 3. Hasil pembacaan Sensor Garis terhadap warna putih

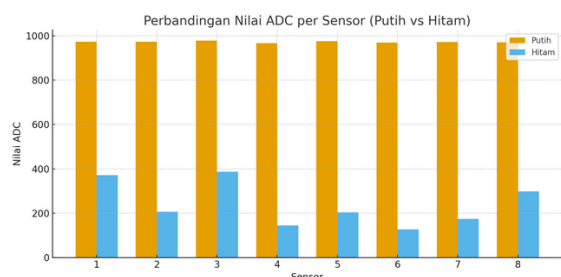
Sensor Ke-	Nilai ADC pada Pengukuran Ke-					Rata - rata
	1	2	3	4	5	
1	973	973	973	973	973	973
2	973	973	973	973	973	973
3	978	977	978	978	978	978
4	967	966	966	966	966	966
5	975	975	975	975	975	975
6	969	969	969	969	969	969
7	973	972	972	972	972	972
8	970	970	970	970	970	970

Tabel 4. Hasil pembacaan Sensor Garis terhadap warna hitam

Sensor Ke-	Nilai ADC pada Pengukuran Ke-					Rata - rata
	1	2	3	4	5	
1	401	394	347	354	358	371
2	198	205	209	209	209	206
3	393	393	390	381	378	387
4	158	151	143	138	137	145
5	198	200	212	206	206	204
6	132	136	136	115	117	127
7	163	168	187	170	180	174
8	205	212	227	445	408	299

Walaupun pada permukaan hitam sensor memiliki nilai yang lebih bervariasi, namun tiap sensor memiliki nilai kontras yang tinggi antara permukaan putih dan hitam Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. semakin besar selisih, semakin mudah menentukan threshold. Dari table 3 dan 4, tiap sensor memiliki nilai min dan max dengan selisih yang tinggi yaitu 602, 767, 591, 821, 771, 842, 798, 671 dan rata-

rata selisihnya adalah 733. Dengan nilai selisih yang tinggi maka nilai threshold dapat ditetapkan secara Bersama atau dihitung persensor untu mendapatkan akurasi yang lebih tinggi.



Gambar 8. Grafik perbandingan Nilai ADC per sensor

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian delapan sensor garis menggunakan multiplexer 74HC4051, diperoleh bahwa penggunaan MUX tidak hanya memungkinkan peningkatan jumlah sensor pada sistem line follower, tetapi juga tetap menjaga kualitas pembacaan ADC secara konsisten. Nilai pembacaan pada permukaan putih berada pada rentang 966–978 dengan rata-rata 972, menunjukkan tingkat reflektansi tinggi dan konsistensi antar sensor yang baik. Sementara itu, pembacaan pada permukaan hitam berada pada rentang 127–387 dengan rata-rata 239, yang mengindikasikan reflektansi rendah sebagaimana yang diharapkan dari permukaan gelap.

Perbedaan nilai antara putih dan hitam menghasilkan kontras rata-rata sekitar 733 poin ADC, yang merupakan gap sangat besar dan ideal untuk proses deteksi garis. Kontras yang signifikan ini memastikan bahwa sistem tetap mampu membedakan garis secara akurat meskipun terdapat variasi individu antar sensor. Selain itu, waktu pembacaan ADC menggunakan multiplexer tetap berada pada kisaran 113 μ s, hanya sedikit berbeda dari pembacaan langsung tanpa MUX, sehingga tidak menimbulkan bottleneck pada sistem pembacaan cepat yang diperlukan oleh robot line follower.

Dengan demikian, implementasi multiplexer 74HC4051 terbukti efektif dalam mengoptimalkan jumlah sensor tanpa mengorbankan performa pembacaan, memungkinkan desain robot line follower yang lebih responsif dan akurat dalam mendeteksi

posisi garis. Teknologi ini memberikan fleksibilitas dalam menambah jumlah kanal sensor sekaligus mempertahankan keandalan sistem secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pusat Penelitian & Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Samarinda atas dukungan dana dan fasilitasi kegiatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad Sahrul Romadhon. Firmansyah Adiputra. 2018. Robot line follower pemisah benda menggunakan sensor warna tcs 3200. *Journal SimanteC*. 6(3): 144-151
- [2] Risa Aisyah. Ayu Latifah. Endang Prayoga Hidayatulloh. Nurhidayat. Jalaludin Kifti. M Fitroh Sodikin. Bintang Nur Alfiyah. 2024. Implementation of Line Follower Robot for Food Delivery Robot. *Journal of Electrical, Electronic, Information, and Communication Technology (JEEICT)*. 6(2): 55-58
- [3] Chekuri Ramarao. Shivaram Velidineni. Shravan Keshaboina. Sai Thaduri. m c chinnaiiah. Krishna D Hari. 2024. "Design and Implementation of Line Follower Robot on SoC with SDK", *3rd International Conference for Innovation in Technology (INOCON)*.
- [4] Diva, I. P. 2024. Simulation Of Fuzzy Logic Controller As Direction Adjustment For Line Following Robot. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1):3420-3426
- [5] S. Shirmohammadi. F. Baghbani. 2024. "Design and Implementation of a Line Follower Robot," *10th International Conference on Artificial Intelligence and Robotics (QICAR)*, pp. 268-271.
- [6] Yudha Febrian. 2023. Implementasi Fuzzy Logic dengan sistem Visual Camera pada Robot Jetbot sebagai Line Follower. *Electrician : Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 17(3):287-291.
- [7] Alimsyah, S. Murdiantoro, M. 2021. Penerapan Metoda Multiplexing – Demultiplexing Pada Sistem Kelistrikan Mobil. *Sinusoida*. 23(2):69-77
- [8] Andang, A. Priyatna, R. Nursuwars, F,M,S. 2021. Multiplikasi Input Analog pada PLC menggunakan Multiplexer IC74HC4067. *Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika (ELKOMIKA)*. 9(4):813 – 826
- [9] Wajiansyah, A. Supriadi. Nur, S. Wicaksono, P,A,B. 2018. Implementasi Fuzzy Logic

- Pada Robot Line Follower. *JTIK*, 5(4): 395–402
- [10] I, G, M, A, Damara. B, Setiyono. E, W, Sinuraya. 2020. Robot Mobil Line Follower Dengan Kendali Pid Sebagai Pengembangan Brt Trans Semarang. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*. 9(4): 651-658
- [11] Desmira. 2023. “Smart Sensor Photo Dioda Dalam Meningkatkan Efisiensi Di Dunia Industri Untuk Mensortir Barang Berdasarkan Ketinggian Barang”. *Vocational Education N Ational Seminar (VENS)*. 2(1): 40-44
- [12] Saro, F,S. Sompie, S,R,U,A. Allo, E,K. 2018. Rancang Bangun Alat Simulasi Latihan Menembak Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer (JTEK)*. 7(3):315-322
- [13] Samsul Arifin. Siti Sendari. Ilham Ari Elbaith Zaeni. 2021. Pengaruh Catu Daya pada Kecepatan Motor Navigasi Mobile Robot Line Follower Berbasis Arduino Nano. *Jurnal Inovasi Teknik dan Edukasi Teknologi*, 1(10):758-766.
- [14] R, Poerwandito. M, Munadi. I, Haryanto. 2024. Pengujian Jarak Optimal Robot Manipulator Berbasis Image-Based Visual Servoing. *Jurnal Teknik Mesin*. 12(1): 59-64.