

ROBOT MOBIL *LINE FOLLOWER* DENGAN KENDALI PID SEBAGAI PENGEMBANGAN BRT TRANS SEMARANG

I Gusti Made Andi D^{*)}, Budi Setiyono dan Enda Wista Sinuraya

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: igusti.damara1@gmail.com

Abstrak

Transportasi menjadi salah satu pilar penting dalam perputaran roda ekonomi. Perannya yang digunakan manusia untuk berpindah dari satu lokasi ke lokasi lainnya menjadikan transportasi menjadi penting. Namun peran transportasi umum masih belum signifikan karena kurangnya kepercayaan masyarakat untuk menggunakan moda transportasi umum. Seringnya berkendara diluar batas kecepatan, tidak bergerak sesuai jalurnya, dan tidak sesuai standar operasional. Untuk meningkatkan kepercayaan, kenyamanan, dan kemudahan masyarakat dalam menggunakan moda transportasi umum, maka dibuatlah perancangan sistem automasi pada salah satu moda transportasi yaitu bus. Dengan menggunakan prinsip *line following* yang menggunakan sensor garis, kendaraan akan bergerak secara otomatis mengikuti garis yang ada sesuai dengan jalurnya. Dengan mengikuti garis hitam diatas putih, kendaraan akan bergerak mengikuti garis dan memperbaiki keadaan *set point* dari nilai *error* yang didapat. Prinsip *line following* ini menggunakan kontrol PID untuk mengatur kecepatan gerak robot mobil terhadap garis yang ada. Pada perancangan ini juga diterapkan bahwa kendaraan dapat menjaga jarak aman dengan kendaraan didepannya dengan menggunakan sensor ultrasonik.

Kata kunci: transportasi, PID, line following, sensor ultrasonik

Abstract

Transportation is one of the important pillars in the economic cycle. The role that humans use to move from one location to another makes transportation important. However, the role of public transportation is still not significant due to the lack of public confidence in using public transportation modes. Frequently driving outside the speed limit, not moving according to the track, and not according to operational standards. To increase public trust, comfort, and convenience in using public transportation modes, an automation system design was made in one of the modes of transportation, namely buses. By using the line following principle that uses line sensors, the vehicle will move automatically to follow the existing line in accordance with the lane. By following the black and white lines, the vehicle will move along the line and improve the set point state of the error value obtained. This line following principle uses the PID control to regulate speed of mobile robot against the existing line. In this design also applied that the vehicle can maintain a safe distance from the vehicle in front of it by using ultrasonic sensors.

Keywords: transportation, PID, line following, ultrasonic sensor

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi berkembang sangat pesat dalam beberapa sektor, salah satunya pada sektor transportasi[1]. Salah satu infrastruktur yang memiliki peran penting yaitu transportasi. Transportasi memiliki peran yang sangat penting dalam menunjang pertumbuhan ekonomi masyarakat dan merupakan urat nadi dalam pembangunan ekonomi suatu negara[2]. Selain itu transportasi memiliki peran sebagai pemicu tumbuhnya sektor-sektor perekonomian yang sudah ada maupun yang baru.

Salah satu moda transportasi yang ada di Semarang yaitu BRT Trans Semarang. Dalam operasionalnya, BRT Trans Semarang membagi area layanannya menjadi 8 koridor

utama[3]. Dalam sidang tanggal 9 Desember 2019, Kepala Badan Layanan Umum (BLU) dan Unit Pelayanan Teknis Terpadu (UPTD) Trans Semarang Ade Bhakti Ariawan menemukan oknum pengemudi nakal yang mengemudikan bus dengan kecepatan di atas 60 km/jam dan memotong jalur yang seharusnya dilewati. Sesuai Peraturan Menteri Pehubungan Nomor PM 111 tahun 2015 tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan, penetapan batas kecepatan ditetapkan secara nasional dan dinyatakan dengan rambu lalu lintas, yakni 60 km/jam dalam kondisi arus bebas dan paling tinggi 100 km/jam untuk jalan bebas hambatan[4].

Oleh karena kebutuhan yang tinggi akan transportasi publik maka diperlukan sistem transportasi yang dapat memenuhi kebutuhan di perkotaan dengan kepadatan yang

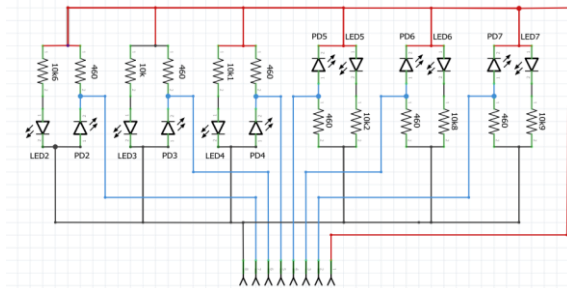
tinggi. BRT telah diidentifikasi sebagai salah satu pilihan untuk menyediakan layanan pengangkutan untuk tujuan perjalanan manusia[5]. Untuk itu diperlukan pemanfaatan dan pengembangan yang lebih banyak lagi pada teknologi yang ada di sistem transportasi. Hal ini bertujuan untuk memberikan kualitas layanan dan kenyamanan yang lebih tinggi untuk pemenuhan kebutuhan transportasi. Dengan pelayanan transportasi publik yang lebih baik, maka kepuasan masyarakat akan meningkat dan semakin banyak yang beralih menggunakan transportasi publik[6].

Untuk menjawab semua permasalahan yang sudah dijabarkan, maka penulis membuat sebuah perancangan dalam skala prototipe berbentuk robot mobil untuk sistem automasi pada salah satu moda transportasi yaitu bus. Dengan menggunakan prinsip *line following*, bus dapat bergerak tanpa kendali manusia secara langsung di dalam bus. Hal tersebut terjadi karena bus dapat membaca jalur yang sudah ditentukan dengan menggunakan sensor garis.

2. Metode

2.1. Sensor Garis

Sensor ini memiliki fungsi sebagai pendeteksi adanya garis pada suatu lintasan. Komponen penyusun dari sensor ini adalah led inframerah dan photodiode. Led inframerah berfungsi sebagai pemancar (*transmitter*) dan photodiode sebagai penerima (*receiver*)[7].



Gambar 1. Skematik sensor garis

Sensor photodiode merupakan salah satu jenis sensor yang peka terhadap cahaya maka dari itu biasa disebut dengan *photodetector*. Photodiode akan mengalami perubahan resistansi pada saat menerima intensitas cahaya dan akan mengalirkan arus listrik secara forward sebagaimana dioda pada umumnya. Sensor photodiode merupakan salah satu jenis *phototransistor*, photodiode akan mengalirkan arus yang membentuk fungsi linear terhadap intensitas cahaya yang diterima. Perbandingan antara arus keluaran dengan *power density* disebut sebagai *current responsivity*[8]. Arus yang dimaksud adalah arus bocor ketika photodiode tersebut mendapatkan banyak cahaya yang masuk. Photodiode biasa digunakan untuk mendeteksi ada tidaknya cahaya dan dapat diperuntukkan untuk membentuk alat ukur yang dapat mendeteksi intensitas

cahaya dibawah 1pW/cm^2 sampai intensitas diatas 10mW/cm^2 [9].

2.2. Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 adalah sensor pengukur jarak berbasis gelombang ultrasonik. Keunggulan sensor ini adalah jangkauan deteksi sekitar 2 cm sampai kisaran 400-500 cm dengan resolusi 1 cm. Sensor HC-SR04 adalah versi *low cost* dari sensor ultrasonik PING buatan parallax. Perbedaannya terletak pada pin yang digunakan. HC-SR04 menggunakan 4 pin sedangkan PING buatan parallax menggunakan 3 pin[10].

Sensor jarak pada perancangan penelitian ini berfungsi untuk mengukur jarak robot mobil dengan benda yang ada di sisi depan. Penggunaannya difungsikan sebagai pemandu dalam menjaga jarak aman dengan kendaraan yang ada didepannya. Prinsip kerja dari sensor HC-SR04 adalah sebagai berikut:

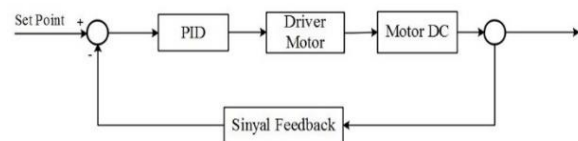
- Gelombang ultrasonik yang dipancarkan tersebut kemudian akan merambat sebagai sinyal / gelombang bunyi dengan kecepatan bunyi yaang berkisar 340 m/s. Sinyal tersebut kemudian akan dipantulkan dan akan diterima kembali oleh bagian receiver ultrasonik[11].
- Setelah sinyal tersebut diterima kembali, kemudian sinyal tersebut akan diproses untuk menghitung jaraknya. Jarak dihitung berdasarkan rumus:

$$S = \frac{340 \times t}{2} \quad (1)$$

Dimana S adalah jarak antara sensor ultrasonik dengan bidang pantul, dan t adalah selisih waktu antara pemancaran gelombang ultrasonik sampai diterima kembali oleh bagian penerima ultrasonik[12].

2.3. Kendali PID

Sistem kendali PID adalah salah satu jenis sistem kendali *loop* tertutup. Sistem kendali PID digunakan untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik (*feedback*) pada suatu sistem[13]. Kendali PID memiliki tiga komponen yang terdiri dari kendali *Proportional* (P), *Integral* (I), dan *Derivative* (D). Ketiga komponen tersebut dapat digunakan secara bersamaan ataupun digunakan masing-masing sesuai dengan kebutuhan respon yang diinginkan dari suatu plant. PID blok diagram dapat dilihat pada gambar dibawah:



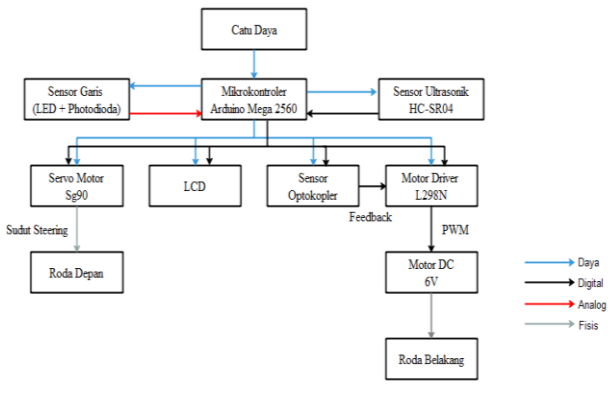
Gambar 2. Diagram blok sistem PID

Dalam menentukan kecepatan robot mobil, nilai *error* akan diambil dari nilai *set point* dikurangi nilai *feedback*[14] dari hasil pembacaan sensor kecepatan. Setelah itu akan dihitung dengan nilai PID untuk mengatur keluaran dari *driver* motor untuk menggerakkan motor dc.

2.4. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan penggunaan perangkat keras dari robot mobil *line follower* dengan kontrol PID pada tugas akhir ini terdiri dari modul mikrokontroler, modul sensor, dan modul *motor driver*. Diagram blok sistem dapat dilihat pada gambar 3.

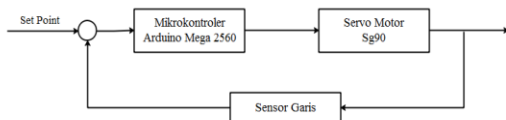
Terdapat 10 jenis komponen utama pada gambar 3, yaitu: catu daya, sensor jarak, sensor garis, mikrokontroler, motor *driver*, motor DC, servo motor, sensor optokopler, roda depan, dan roda belakang.



Gambar 3. Diagram blok sistem perangkat keras

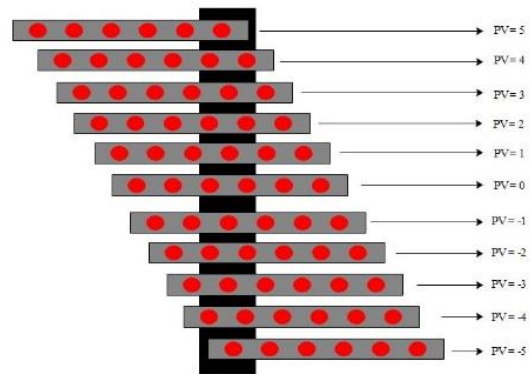
2.5. Perancangan Algoritma Kendali Motor Servo

Untuk mengatur sudut *steering* pada robot mobil digunakan sistem kendali *loop* terbuka. Tidak digunakan *feedback* untuk menentukan posisi keluaran sudut *steering*.



Gambar 4. Blok diagram kendali sudut putar roda

Nilai delta *error* didapatkan dengan melakukan pengurangan nilai *error* sekarang dikurangi dengan *error* sebelumnya. Nilai *error* didapatkan dari nilai *set point* dikurangi dengan nilai *present value* (PV). Berikut merupakan ketetapan dari penentuan nilai PV yang ditunjukkan dalam skema berikut:

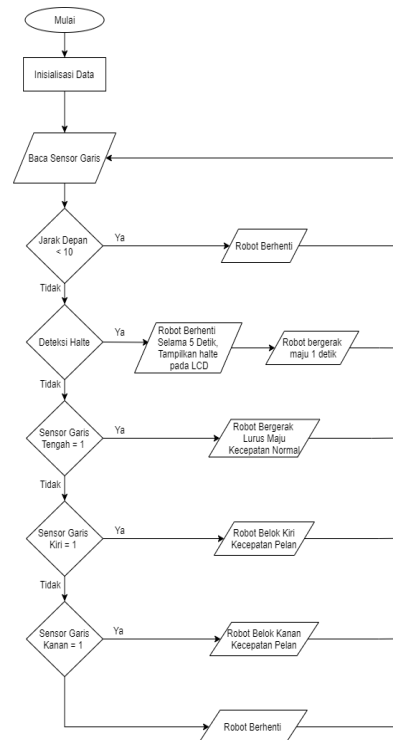


Gambar 5. Kondisi nilai PV

Dalam menentukan sudut putar pada roda, *error* akan diambil dari *set point* dikurangi nilai *feedback* dari sensor garis. Semakin jauh posisi tengah mobil dari garis hitam maka nilai *set point* akan semakin besar. Nilai *set point* yang semakin besar akan menyebabkan bertambahnya nilai sudut putar pada servo motor. Hal ini yang diperlukan untuk membalikkan posisi robot mobil menjadi lurus dengan garis hitam.

2.6. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dirancang pada penelitian ini adalah perancangan senarai program yang ada pada mikrokontroler sesuai dengan algoritma yang telah ditentukan. Dalam proses perancangan perangkat lunak akan dijelaskan dalam diagram alir berikut.



Gambar 6. Diagram alir sistem robot line follower

Dalam prosesnya dimulai dari inialisasi data dan pembacaan sensor. Jika sensor ultrasonik mendeteksi adanya halangan di depan dengan jarak <5 cm, maka robot mobil tidak akan bergerak. Setelah tidak terdapat halangan di depan <5 cm, maka robot mobil akan bergerak mengikuti jalur.

Bahasa yang digunakan pada aplikasi Arduino IDE merupakan bahasa C[15]. Program utama dijalankan dengan menggunakan perintah seperti berikut:

```
void loop() {
  hcsr();
  tampilanLCD();
  if (distancel < 10) {
    errorlaju = 0;}
  else
  {
    errorlaju = errorlaju;
  }
  bacaSensor();
  cariError();
  go();
  kirimData();
}
```

3. Hasil dan Analisa

Pengujian dilakukan langsung pada robot mobil dalam beberapa tahap, yaitu pengujian penggunaan sensor-sensor, pengujian tanpa menggunakan kontroler, pengujian dengan menggunakan kontroler, dan pengujian fitur yang dipakai.

3.1. Pengujian Sensor

3.1.1. Pengujian Sensor Garis

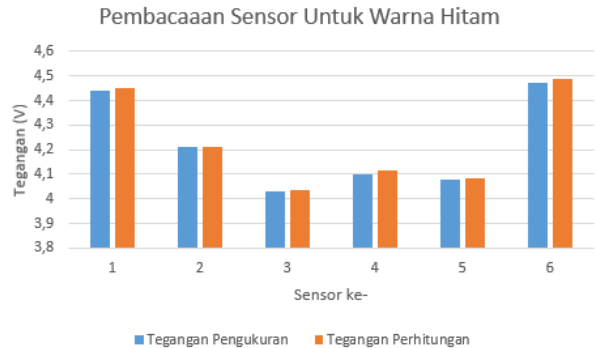
Pengujian sensor garis dilakukan dengan membaca nilai analog dan tegangan keluaran pada komponen serta dilakukan perhitungan secara manual dengan menggunakan rumus pembagi tegangan. Berikut merupakan data yang telah diambil.

Tabel 1. Pembacaan Sensor Garis

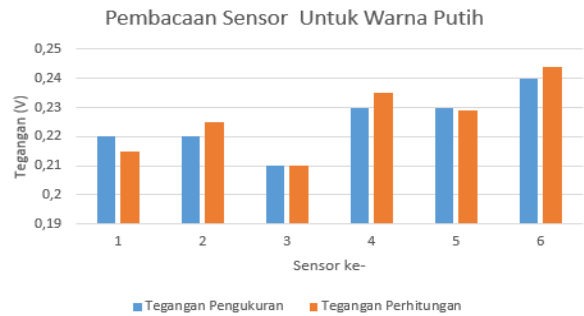
Sensor	Nilai Analog		Nilai Tegangan (Volt)	
	Hitam	Putih	Hitam	Putih
Sensor 1	911	44	4,44	0,22
Sensor 2	862	46	4,21	0,22
Sensor 3	826	43	4,03	0,21
Sensor 4	842	48	4,10	0,23
Sensor 5	835	47	4,08	0,23
Sensor 6	918	50	4,47	0,24

Berdasarkan tabel diatas, dapat dihitung bahwa terdapat perbedaan nilai $\pm 0,01$ volt antara dengan nilai pengukuran yang dilakukan secara langsung menggunakan multimeter. Perbedaan nilai ini disebabkan akibat tidak lurus saat pemberian garis hitam dibawah rangkaian sensor, sehingga menyebabkan nilai analog dapat berbeda pada setiap

percobaan. Di lain sisi perbedaan nilai analog antar sensor dapat diakibatkan oleh tidak presisi pemasangan komponen pada rangkaian.



Gambar 7. Perbandingan nilai tegangan keluaran untuk pembacaan warna hitam



Gambar 8. Perbandingan nilai tegangan keluaran untuk pembacaan warna putih

3.1.2. Pengujian Sensor Ultrasonik

Tabel 2. Pengujian sensor ultrasonik

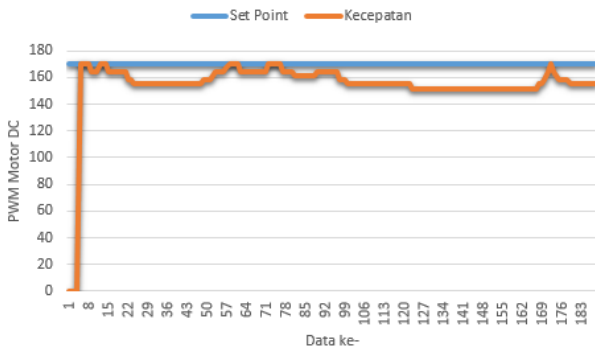
No	Jarak (cm)		Nilai Error
	Set point	Pengukuran langsung	
1	5	5,1	2%
2	10	10,4	4%
3	15	14,6	2,67%
4	20	20,9	4,5%
5	25	24,6	1,6%
6	30	29,7	1%

Berdasarkan hasil pembacaan secara langsung, terdapat nilai *error* yang didapatkan dari selisih antara nilai *set point* dan pengukuran secara langsung dibagi dengan nilai *set point* dan dikali dengan 100%. Dari nilai pembacaan jarak 5 cm, terdapat nilai *error* 3,4%. Pada pembacaan jarak 10cm terdapat nilai *error* 4,5%, pembacaan jarak 15cm terdapat *error* 2,67%, pembacaan jarak 20cm terdapat *error* 4,55%, pembacaan jarak 25cm terdapat *error* 1,6%, dan pada pembacaan 30cm terdapat *error* 0,93%. Dari hasil pembacaan ini didapatkan nilai *error*

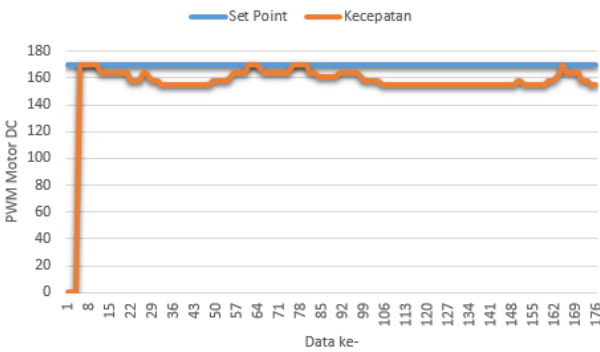
berada dibawah angka 5% dan ini dapat dikategorikan masih dalam batas toleransi pada kendaraan.

3.2. Pengujian Tanpa Kontroler

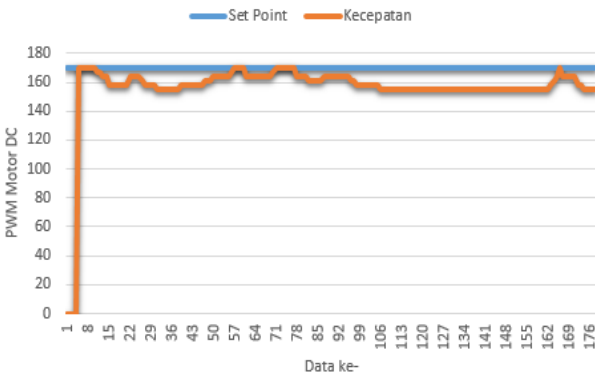
Pada pengujian ini, robot mobil *line follower* dijalankan dengan tidak menggunakan sistem kendali PID. Hasil pembacaan berupa respon sistem nilai kecepatan dalam PWM yang ditunjukkan dalam grafik. Berikut merupakan keluaran dari respon sistem yang dilakukan sebanyak 4 kali percobaan.



Gambar 9. Percobaan 1 tanpa sistem kendali PID



Gambar 10. Percobaan 2 tanpa sistem kendali PID



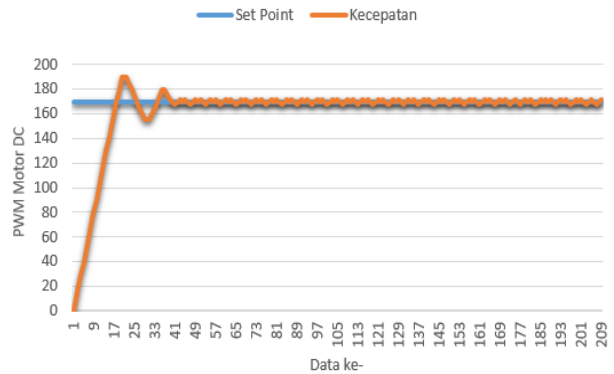
Gambar 11. Percobaan 3 tanpa sistem kendali PID

Dari ketiga grafik diatas dapat diketahui bahwa sistem tidak memiliki kestabilan yang tetap, hal tersebut ditunjukkan dengan tidak adanya nilai konstan pada *set point* yang sudah ditentukan.

Berdasarkan grafik diatas yang menunjukkan respon sistem tanpa kendali, maka dapat dikatakan sistem belum bekerja dengan baik sesuai keinginan. Oleh karena itu diperlukan adanya kontroler yang dapat mengatur respon sistem agar keluarannya stabil dan bagus.

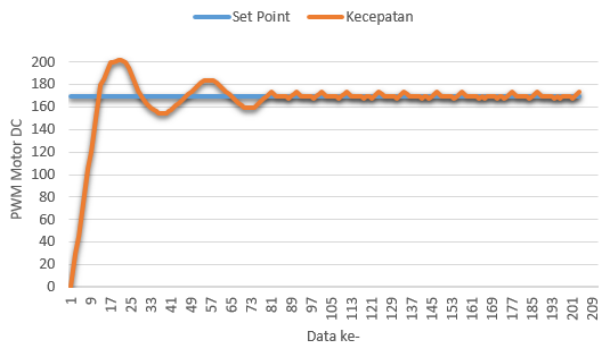
3.3. Pengujian Dengan Kontroler

Pada pengujian ini, robot mobil *line follower* dijalankan dengan menggunakan sistem kendali PID. Hasil pembacaan berupa grafik yang menunjukkan respon sistem. Berikut merupakan keluaran dari respon sistem yang dilakukan sebanyak 5 kali percobaan.



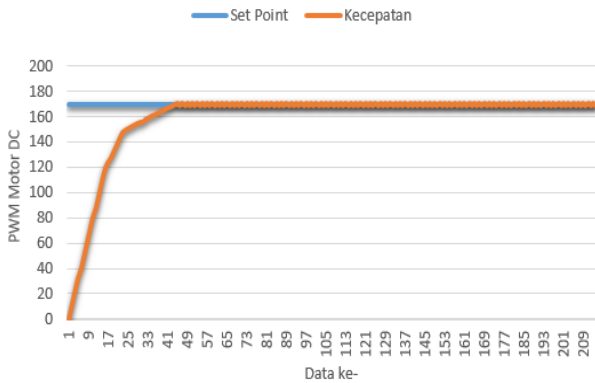
Gambar 12. Respon sistem dengan $K_p=1$, $K_i=1$, dan $K_d=1$

Dari grafik respon sistem diatas dapat diketahui bahwa keluaran sistem memiliki overshoot yang bernilai 11,7% dari jangkauan nilai PWM yang diberikan untuk kondisi stabil. Respon sistem juga menunjukkan adanya osilasi hingga 9% dari nilai keadaan stabil yang ditentukan. Sistem menunjukkan keadaan cukup stabil mulai dari data ke-50.



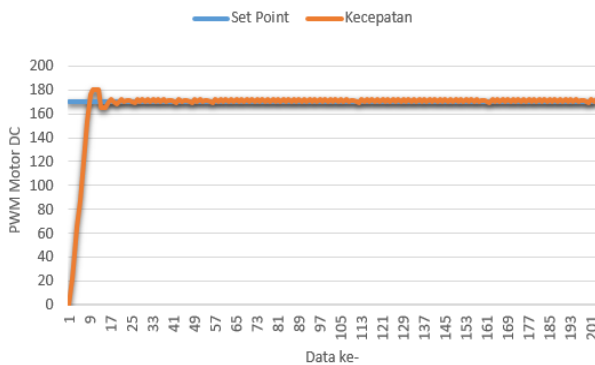
Gambar 13. Respon sistem dengan $K_p=3$, $K_i=1$, dan $K_d=1$

Dari grafik respon sistem diatas dapat diketahui bahwa keluaran sistem memiliki overshoot yang bernilai 18,8% dari jangkauan nilai PWM yang diberikan untuk kondisi stabil. Selain itu respon sistem juga menunjukkan adanya osilasi hingga 12% dari nilai keadaan stabil yang ditentukan. Sistem menunjukkan keadaan cukup stabil mulai dari data ke-86.



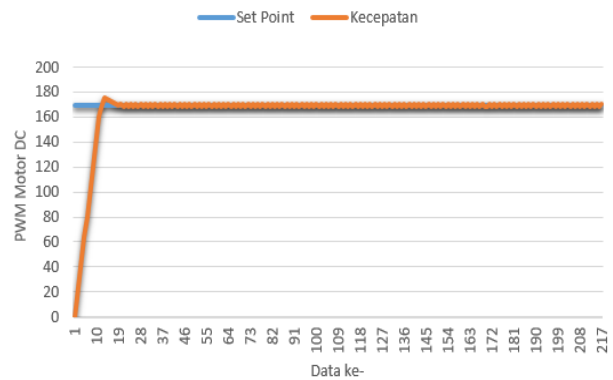
Gambar 14. Respon sistem dengan $K_p=3$, $K_i=0,1$, dan $K_d=2$

Dari grafik respon sistem diatas dapat diketahui bahwa keluaran sistem sudah mencapai kondisi stabil saat data ke 49. Namun respon sistem masih memiliki *rise time* yang tinggi yang membuat respon sistem tergolong lama untuk mencapai kondisi stabil.



Gambar 15. Respon sistem dengan $K_p=10$, $K_i=0,1$, dan $K_d=2$

Dari grafik respon sistem diatas dapat diketahui bahwa keluaran sistem memiliki overshoot yang bernilai 5,88% dari jangkauan nilai PWM yang diberikan untuk kondisi stabil. Respon sistem mencapai kondisi yang cukup stabil dimulai dari data ke-25.

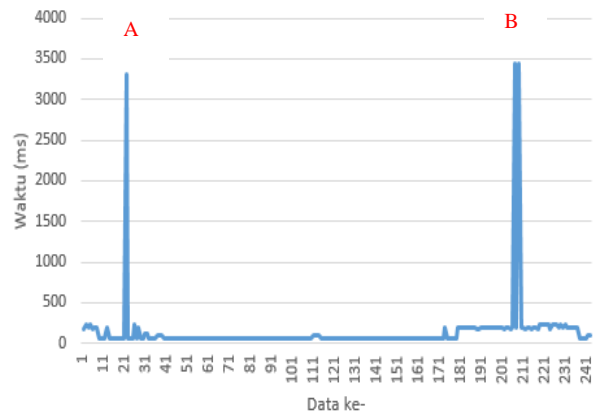


Gambar 16. Respon sistem dengan $K_p=8$, $K_i=0,1$, dan $K_d=2$

Dari grafik respon sistem diatas dapat diketahui bahwa keluaran sistem memiliki overshoot yang bernilai 2,35% dari jangkauan nilai PWM yang diberikan untuk kondisi stabil. Respon sistem mencapai kondisi yang cukup stabil dimulai dari data ke-23.

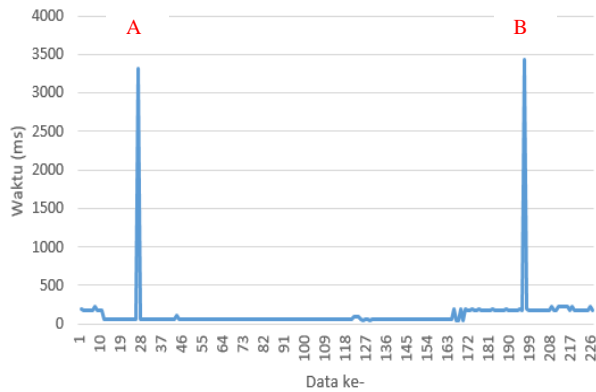
3.4. Pengujian Fitur Henti

Pengujian fitur pada robot mobil bertujuan untuk mengetahui apakah fitur yang sudah ditetapkan berjalan dengan baik atau tidak. Fitur yang ditetapkan yaitu robot mobil dapat berhenti selama 3 detik di setiap koridor yang sudah ditentukan.



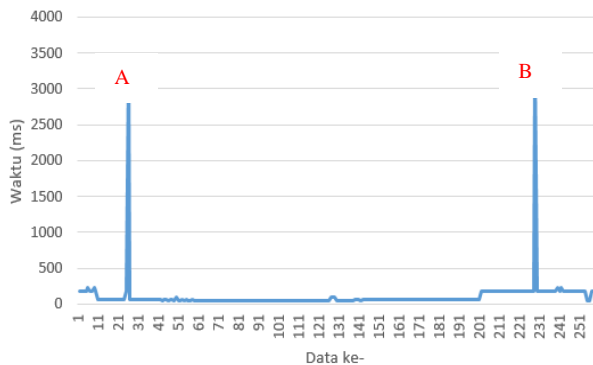
Gambar 17. Respon 1 terhadap waktu dari sistem

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa respon sistem menunjukkan 2 kali nilai yang tinggi dibandingkan dengan nilai lainnya. Pada grafik yang ditunjukkan dengan huruf A bernilai 3309 ms atau senilai dengan 3,3 detik. Grafik yang ditunjukkan dengan huruf B bernilai 3436 ms atau senilai dengan 3,4 detik. Dari hasil pembacaan grafik, sistem masih memiliki perbedaan waktu senilai 0,3 – 0,4 detik lebih lama dari waktu yang sudah ditentukan.



Gambar 18. Respon 2 terhadap waktu dari sistem

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa respon sistem menunjukkan 2 kali nilai yang tinggi dibandingkan dengan nilai lainnya. Pada grafik yang ditunjukkan dengan huruf A bernilai 3318 ms atau senilai dengan 3,3 detik. Grafik yang ditunjukkan dengan huruf B bernilai 3435 ms atau senilai dengan 3,4 detik. Dari hasil pembacaan grafik, sistem masih memiliki perbedaan waktu senilai 0,3 – 0,4 detik lebih lama dari waktu yang sudah ditentukan.



Gambar 19. Respon 3 terhadap waktu dari sistem

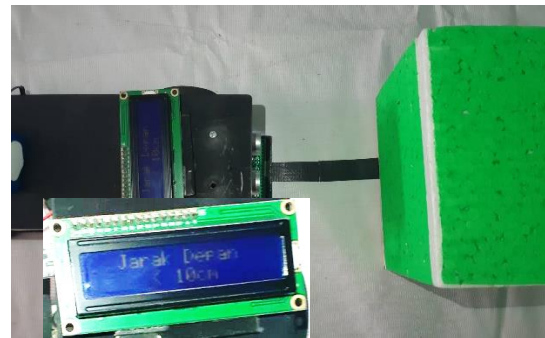
Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa respon sistem menunjukkan 2 kali nilai yang tinggi dibandingkan dengan nilai lainnya. Pada grafik yang ditunjukkan dengan huruf A bernilai 3318 ms atau senilai dengan 3,3 detik. Grafik yang ditunjukkan dengan huruf B bernilai 3434 ms atau senilai dengan 3,4 detik. Dari hasil pembacaan grafik, sistem masih memiliki perbedaan waktu senilai 0,3 – 0,4 detik lebih lama dari waktu yang sudah ditentukan.

Dengan ketiga grafik yang sudah ditunjukkan, maka sudah bisa dikategorikan bekerja sesuai dengan fitur yang sudah ditetapkan. Meskipun masih memiliki perbedaan waktu 0,3 – 0,4 detik lebih lama dari waktu yang sudah ditentukan.

3.5. Pengujian Jarak Aman Robot Mobil

Pengujian jarak aman dilakukan untuk mengetahui apakah sistem *safety* pada robot mobil sudah bekerja dengan baik

atau belum. Pengujian jarak aman dilakukan dengan menggunakan nilai *set point* 5 cm.



Gambar 20. Pengujian pertama jarak aman

Pada gambar diatas menunjukkan pengujian pertama pada prototipe robot mobil. Robot mobil menunjukkan kondisi berhenti saat jarak di depan kurang dari 10cm yang ditampilkan pada layar lcd.



Gambar 21. Pengujian pertama jarak aman

Pada gambar diatas menunjukkan pengujian pertama pada prototipe robot mobil. Robot mobil menunjukkan kondisi berhenti saat jarak di depan kurang dari 10 cm yang ditampilkan pada layar lcd.



Gambar 22. Pengujian pertama jarak aman

Pada gambar diatas menunjukkan pengujian ketiga pada prototipe robot mobil. Robot mobil menunjukkan kondisi berhenti saat jarak di depan kurang dari 10 cm yang ditampilkan pada layar lcd.

4. Kesimpulan

Pengujian pada robot mobil *line follower* sudah dapat berjalan sesuai perancangan. Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan nilai parameter PID untuk kontrol kecepatan motor dc yaitu $K_p = 8$, $K_i = 0,1$, dan $K_d = 2$. Nilai parameter yang didapatkan ini menggunakan metode *trial and error* dan berlaku untuk sistem yang digunakan. Saran pengembangan dari topik judul tugas akhir ini yaitu dengan memaksimalkan sistem steering pada roda agar robot mobil bisa berbelok dengan sudut yang kecil. Serta membuat sistem robot mobil dengan menggunakan kontrol adaptif.

Referensi

- [1]. Bo Chen and Harry H. Cheng. "A Review of the Application of Agent Technology in Traffic and Transportation Systems," IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, Vol. 11, No. 2, June, 2010.
- [2]. Taotao Deng, "Impacts of Transport Infrastructure on Productivity and Economic Growth: Recent Advances and Research Challenges," Shanghai University of Finance and Economics, China, 2013.
- [3]. Wildan Ryan irfana, Arief Laila, M. Awaluddin. "Pembuatan Aplikasi Peta Rute Bus Rapid Transit (BRT) Kota Semarang berbasis Mobile GIS Menggunakan Smartphone Android," Teknik Geodesi, Universitas Diponegoro, Semarang, 2019.
- [4]. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 111 Tahun 2015.
- [5]. Chintia Puja Dewi. "Inovasi Pelayanan Transportasi Publik BRT (Bus Rapid Transit) Trans Semarang Oleh Dinas Perhubungan Kota Semarang," Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [6]. Steven E. Shladover, Sc.D. "Bus Rapid Transit and Automation: Opportunities for Synergy," Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley. (undated)
- [7]. Ramadhan Dwi Pratama. "Rancang Bangun Sistem Kendali Robot Mobil Untuk Parkir Otomatis dan Dapat Mendeteksi Obstacle Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560," Teknik Elektro, Lampung, 2017.
- [8]. Sonie Ruswanto, Endah Suryawati, Irwan Ramli. "Pengaturan Gerak dan Keseimbangan Robot Line Tracer Dua Roda Menggunakan PID Controller," The 13th Industrial Electronics Seminar, Surabaya, 2011.
- [9]. Aprilia Imam Udin. "Prototipe Robot Line Follower Berkaki Sebagai Pengantar Makanan di Restoran Berbasis Mikrokontroler AtMega328," Teknik Elektronika UNY, Yogyakarta, 2016.
- [10]. Dr. N. Sa Thish Kumar, dkk. "IoT Based Smart Garbage Alert System Using Arduino Uno," Sri Ramakrishna Engineering College, India, 2016.
- [11]. Ari Hidayanto, Heru Winarno. "Prototipe Sistem Auto Break Pada Mobil Menggunakan Sensor Jarak Ultrasonik HC-SR04 Berbasis Ardino Mega 2560," Gema Teknologi Vol.18, No. 4, Semarang, 2016.
- [12]. Ahmad Martani, Andani Achmad, Dewiani. "Prototype Sistem Kontrol Untuk Implementasi Parkir Otomatis," Teknik Elektro UNHAS, Makassar, 2017.
- [13]. Rievqi Alghoffary. "Sistem Pengaturan Kecepatan Motor DC Pada alat Ekstraktor Madu Menggunakan Kontroler PID," Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, 2014.
- [14]. Satria M Nuswantara. "Perancangan Proses Otomatis Pada Sistem Kontrol Servo Valve Untuk Pencampuran Fluida Warna Berbasis Mikrokontroler," Teknik Elektro UNDIP, Semarang, 2009.
- [15]. Dwi Indah Partwi, Muhammad Rivai, Fajar Budiman. "Rancang Bangun Deteksi Jalur Pipa Terpendam Menggunakan Mobile Robot Dengan Metal detector," Jurnal Teknik ITS Vol.6, No.1, Surabaya, 2017.