



PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC PADA *ROBOT LINE FOLLOWER* MENGUNAKAN *PULSE WIDTH MODULATION (PWM)*

Arief Budijanto¹⁾

¹⁾Universitas Widya Kartika, Fakultas Teknik, Teknik Elektro
Email: ariefbudijanto@widyakartika.ac.id

Abstrak

Pengaturan kecepatan motor DC dapat dilakukan dengan menggunakan metoda *pulse width modulation (PWM)* yaitu dengan memberikan tegangan DC rata-rata pada motor DC dengan mengatur lebar pulsanya. Dalam penelitian ini metoda tersebut digunakan untuk mengetur kecepatan motor DC yang diterapkan pada *Line Follower Robot*. Pengaturan kecepatan putaran motor DC dikendalikan melalui kondisi/posisi sensor garisnya yang menempati jalur. Sehingga dengan metoda *PWM* laju kecepatan robot dapat menyesuaikan jalur yang berbelok-belok atau lurus. Jika jalur berbelok maka robot akan mengurangi kecepatan putaran motor DC nya. Sebaliknya jika Jalur yang dilewati lurus maka laju kecepatan robot pada kondisi maksimal. Robot dirancang menggunakan 5 buah sensor garis yang menggunakan modul sensor reflektif Infra merah dengan tipe TCR5000 dan pusat pengendali microcontroller Arduino Nano. Kemudian untuk penggerak motor DC menggunakan chip L293, karena dengan chip ini gerakan robot dapat diatur dengan mudah melalui Arduino Nano. Setelah menerapkan algoritma pengendali kecepatan motor DC dengan PWM, maka robot dapat berjalan lebih stabil walaupun melewati jalur yang berbelok-belok.

Kata kunci : *Arduino Nano, Sensor Garis, robot, PWM*

Abstract

DC motor speed adjustment can be done by using pulse width modulation method (PWM) that is by giving DC average voltage on DC motor by adjusting its pulse width. In this research the method is used to determine the speed of DC motor applied to Line Follower Robot. Setting the speed of DC motor rotation is controlled through the position of the line sensor that occupies the path. In addition to the PWM method the speed of the robot can adjust the lane or straight path. If the path turns then the robot will reduce the speed of its DC motor rotation. Conversely, if the path is passed straight then the robot speed rate at maximum conditions. The robot is designed using 5 line sensors that use Infra red reflector sensor module with TCR5000 type and Arduino Nano microcontroller as controller. Then to drive a DC motor using L293 chip, because with this chip the movement of the robot can be arranged easily through Arduino Nano. After applying the motor speed control algorithm DC with PWM, then the robot can run more stable even though through a path

Keywords: *Arduino Nano, Line Sensor, robot, PWM*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *mobile robot* (robot bergerak) sangat pesat, antara lain robot pengikut garis (*line follower robot*), robot pengikut dinding (*wall follower robot*) atau robot bergerak yang dapat

mendeteksi rintangan dan mencari jalan secara otomatis. Dalam penelitian-penelitian terdahulu tentang robot pengikut garis yang telah dilakukan adalah pengembangan peningkatan respon sensor garis yang menggunakan sensor infra

merah dan menggunakan algoritma *PID* (*Proportional Integral Derivatif* untuk meningkatkan keandalan navigasi (Engin, M. dan Engin, D, 2012).

Selain itu robot pengikut garis telah diterapkan secara luas untuk digunakan dalam banyak aplikasi kendaraan bergerak otonom di industri seperti untuk transportasi barang di dalam gudang tertutup atau pabrik. Sehingga banyak sistem yang menggunakan sensor untuk mendeteksi/ pelacakan garis yang memanfaatkan beberapa jenis sensor diskrit seperti reflektif *LED* infra-merah, *light dependent resistor (LDR)*, dan induktansi multi-array. Beberapa dari sensor diskrit ini harus disusun tertutup dalam satu kemasan di depan kendaraan dan menghadap ke lantai untuk melacak profil garis tersebut. Minimal dua sensor diperlukan untuk memastikan efektivitas algoritma deteksi garis, terutama untuk menentukan posisi kendaraan, baik di kiri atau di kanan terhadap garis (Pakdaman, dkk. 2010).

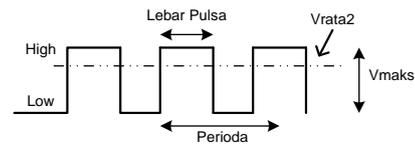
Makalah ini mengusulkan ide terbaru dalam pelacakan garis yang diterapkan pada robot pengikut garis yaitu menggunakan 5 buah sensor dan pengaturan kecepatan robot dalam melintasi jalur yang berbelok-belok menggunakan metoda PWM (*Pulse Width Modulation*). Selain itu robot dapat berjalan mundur untuk melacak garis jalur apabila robot tersebut berjalan maju telah keluar jalur.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Modulasi Lebar Pulsa

Modulasi Lebar Pulsa (*Pulse Width Modulation*) merupakan teknik untuk mengatur lebar pulsa pada kondisi tinggi (*high*) dan kondisi rendah (*low*), tetapi periodenya tidak ada perubahan. Teknik ini dapat digunakan untuk mengendalikan kecepatan putaran motor DC dengan memberikan tegangan rata-rata dari pulsa tersebut pada motor DC (Salvador,2018). Untuk menghitung tegangan rata-rata dengan pendekatan praktis dapat

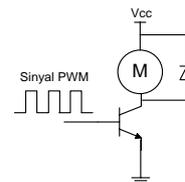
dilakukan menggunakan rumus (1) dan (2).



Gb 1. Bentuk Sinyal PWM

$$D = (\text{LebarPulsa}/\text{Periode}) \times 100\% \quad \dots(1)$$

$$V_{rata2} = V_{maks} \times D \quad \dots(2)$$



Gambar 2. Kendali Motor DC dengan PWM

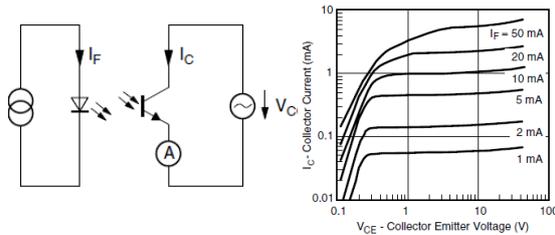
B. Sensor Garis TCR5000

Sensor garis yang digunakan pada robot adalah TCRT5000. Sensor ini merupakan sensor reflektif yang sudah terintegrasi dalam satu modul terdiri dari pemancar inframerah dan phototransistor. Bentuk fisik dan rangkaian internal dari sensor TCR5000 ditunjukkan pada gambar 3.



(a) Bentuk Fisik (b) Rangkaian Internal
 Gambar 3. Sensor TCR5000

Pengoperasian TCR5000 dapat dijelaskan melalui karakteristik sensor tersebut yang dapat dilihat pada gambar 4. Semakin besar *IF* (arus yang mengalir pada LED) maka IC dari photo transistor semakin besar. Sehingga tegangan *output collector (VCE)* dapat diatur dengan menghubungkan resistor secara seri pada collector. Selain itu untuk membatasi arus *IF* supaya tidak lebih dari 50mA, maka bagian anoda LED diseri dengan resistor.

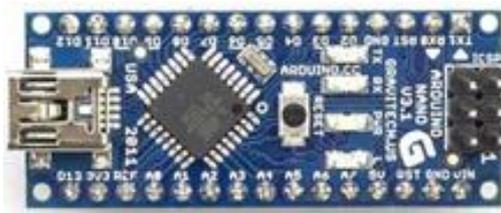


Gambar 4. Karakteristik TCR5000

C. Arduino Nano

Arduino Nano merupakan papan (*board*) rangkaian pengembangan mikrokontroler yang berbasis *chip ATmega328P* dengan bentuk yang sangat kecil (Hughes, 2016).

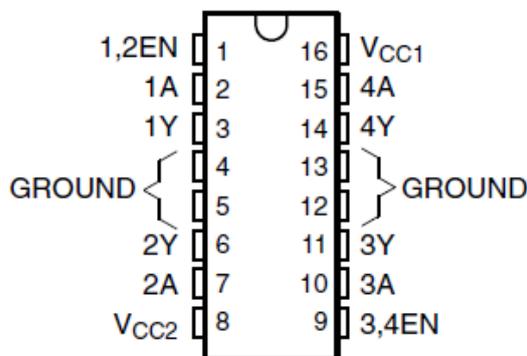
Disebut sebagai papan rangkaian pengembangan karena dapat berfungsi sebagai alat bantu *prototyping* rangkaian mikrokontroler. Dengan menggunakan papan pengembangan, akan lebih mudah merangkai rangkaian elektronika yang berbasis mikrokontroler dibanding jika memulai merakit ATmega328 dari awal di *breadboard*.



Gambar 5. Papan Arduino Nano

D. Chip L293D

Chip ini dirancang khusus sebagai penggerak motor DC. Konstruksi pin chip L293 dapat dilihat pada gambar 6.



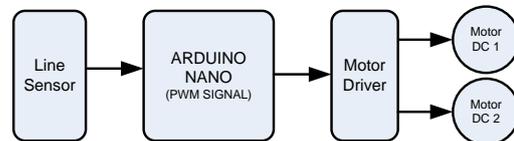
Gambar 6. Konstruksi pin chip L293D

Tabel 1. Fungsi pin chip L293

Pin	Deskripsi
Enable EN1,2 EN3,4	menerima perintah untuk menggerakkan dan mengatur kecepatan motor DC dengan memberikan sinyal digital high/low maupun sinyal PWM.
Input 1A,2A 3A,4A	Menerima input sinyal digital high/low untuk mengendalikan arah putaran motor DC.
Output 1Y,2Y 3Y,4Y	Saluran output masing-masing penggerak (<i>driver</i>) yang dihubungkan ke motor DC
VCC1 VCC2	Input sumber tegangan motor DC, dimana VCC1 untuk sumber tegangan rangkaian kontrol, VCC2 untuk sumber tegangan motor DC
Ground (GND)	Dihubungkan ke ground.

III. METODE PENELITIAN

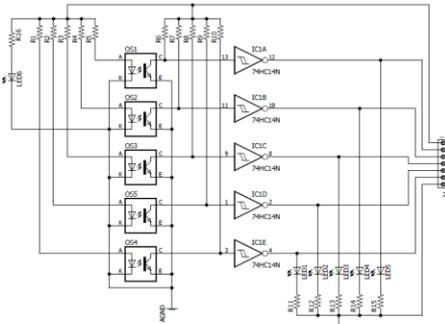
Langkah - langkah pembuatan robot meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Diagram perangkat keras ditunjukkan pada gambar 7. Perangkat keras meliputi rangkaian Sensor Garis, Arduino Nano, Penggerak Motor DC (*Motor DC Driver*). Detil penjelasan dari rangkaian-rangkaian dari perangkat keras dijelaskan pada sub bab dibawah ini.



Gambar 7. Diagram Blok Perangkat Keras

A. Rangkaian Sensor Garis

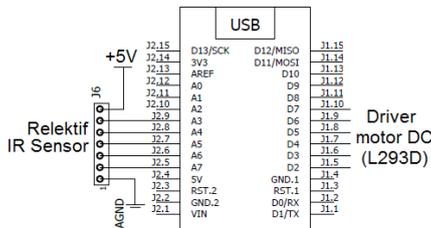
Sensor garis menggunakan *TCR5000* yang berfungsi sebagai reflektor yang memantulkan cahaya yang mengenai jalur robot. Jalur robot berwarna hitam dan putih, sehingga terkena cahaya LED yang dipancarkan dari sensor *TCR5000* maka akan dipantulkan oleh jalur dan diterima oleh *photo transistor*. Keluaran Kolektor *photo transistor* dalam bentuk tegangan. Fungsi dari IC74HC14 yang terhubung pada kolektor untuk memperbaiki bentuk sinyal high dan low, sehingga jika dibaca oleh pin input digital arduino hanya pada kondisi level '0' dan level '1'. Rangkaian sensor garis dapat dilihat pada Gb 8.



Gambar 8. Rangkaian Sensor Garis

B. Pusat Pengendali Robot

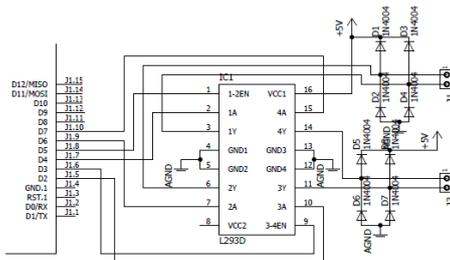
Rangkaian pusat pengendali robot menggunakan *Arduino Nano*. Dimana koneksi antara arduino dengan sensor dan penggerak motor DC ditunjukkan pada Gb.9. Arduino akan membaca sinyal digital yang dibangkitkan dari rangkaian sensor reflektif infra merah, kemudian sinyal digital tersebut akan diproses oleh arduino. Hasil proses sinyal dari sensor akan menghasilkan sinyal digital baru, yaitu sinyal untuk mengendalikan arah putaran dan kecepatan motor DC. Untuk kendali arah putaran arduino mengirimkan sinyal digital dalam bentuk logik level '0' atau '1', sedangkan untuk mengatur kecepatan putaran motor DC dalam bentuk sinyal PWM.



Gambar 9. Rangkaian Pusat Pengendali Robot

C. Penggerak Motor DC

Rangkaian penggerak motor DC pada robot pengikut garis menggunakan *chip L293D* yang dapat dilihat pada Gb 10.

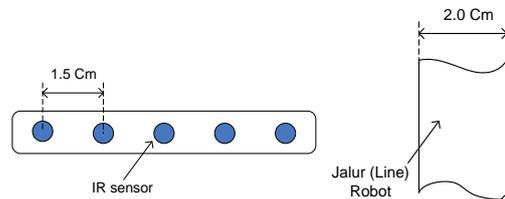


Gambar 10. Rangkaian Penggerak Motor DC

Motor DC bagian kanan robot terhubung dengan konektor J1 dan motor DC bagian kiri terhubung dengan konektor J2. Pengendalian motor DC kanan yaitu dengan memberikan sinyal digital level '0' atau '1' melalui pin 1A dan 2A chip L293D. Sinyal digital tersebut dibangkitkan dari pin arduino nano pin D4 dan D6 yang berfungsi untuk mengendalikan arah putaran motor DC. Sedangkan untuk mengatur kecepatannya dapat dilakukan dengan memberikan sinyal PWM pada pin enable(E) chip L293D. Untuk motor DC bagian kiri dapat dilakukan seperti langkah pada pengendalian motor DC bagian kanan, tetapi sinyal digital yang dikirimkan berbeda.

D. Konstruksi Jalur dan Sensor

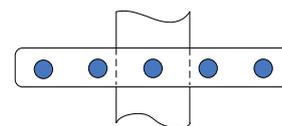
Konstruksi jalur dan sensor dapat dilihat pada Gb.11. Jalur berwarna hitam dan putih. Jalur dirancang dengan lebar 2 cm, sedangkan jarak antar sensor sebesar 2 cm.



Gambar 11. Konstruksi Sensor dan Jalur

E. Algoritma Kendali motor DC dengan PWM

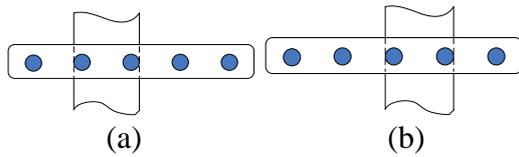
1. Jika sensor pada posisi gambar 12. robot berjalan maju, maka motor DC kanan dan kiri pada putaran maksimum sehingga *duty cycle (D)* yang harus diberikan adalah $\approx 100\%$.



Gambar 12. Posisi Sensor 1

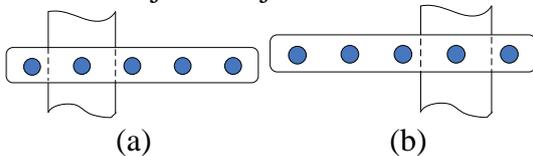
2. Jika sensor pada posisi gambar 13(a), maka motor DC kanan diberikan $D \approx 100\%$ dan kiri diberikan $D \approx 80\%$, sedangkan pada posisi gambar 14(b), motor DC kanan diberikan $D \approx 80\%$

dan kiri diberikan $D \approx 100\%$ dan robot berjalan maju.



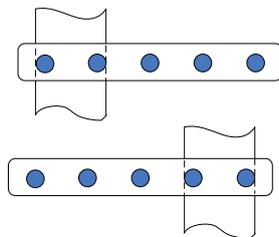
Gambar 13. Posisi Sensor 2

3. Jika sensor pada posisi gambar 14(a), maka motor DC kanan diberikan $D \approx 100\%$ dan kiri diberikan $D \approx 70\%$, sedangkan pada posisi gambar 15(b), motor DC kanan diberikan $D \approx 70\%$ dan kiri diberikan $D \approx 100\%$ dan robot berjalan maju.



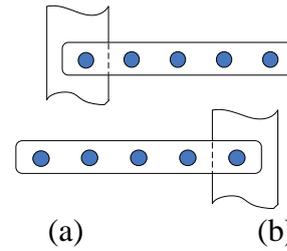
Gambar 14. Posisi Sensor 3

4. Jika sensor pada posisi gambar 15(a), maka motor DC kanan diberikan $D \approx 90\%$ dan kiri diberikan $D \approx 60\%$, sedangkan pada posisi gambar 16(b), motor DC kanan diberikan $D \approx 60\%$ dan kiri diberikan $D \approx 90\%$, dan robot berjalan maju.



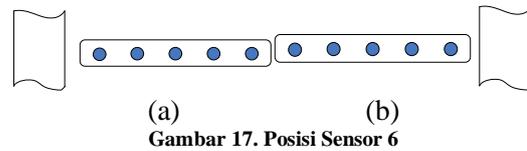
Gambar 15. Posisi Sensor 4

5. Jika sensor pada posisi gambar 16(a), maka motor DC kanan diberikan $D \approx 90\%$ dan kiri diberikan $D \approx 50\%$, sedangkan pada posisi gambar 17(b), motor DC kanan diberikan $D \approx 50\%$ dan kiri diberikan $D \approx 90\%$, dan robot berjalan maju.



Gambar 16. Posisi Sensor 5

- (b) Jika sensor pada posisi gambar 17(a) dan (b), maka motor DC kanan maupun kiri diberikan $D \approx 90\%$ selama 3 detik, kemudian robot berjalan mundur untuk mencari jalur.



Gambar 17. Posisi Sensor 6

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan robot yang berjalan pada jalur lurus dan jalur yang berbelok dijelaskan di bawah ini:

- Percobaan robot, ketika pada posisi sensor 1 (lihat Gb.12). Robot diperintahkan melalui perintah dalam bentuk *arduino code* :

```
void Robot_Maju()
{
    digitalWrite(IA1, LOW);
    digitalWrite(IA2, HIGH);
    analogWrite(ENA1, 255);
    digitalWrite(IA3, LOW);
    digitalWrite(IA4, HIGH);
    analogWrite(ENA2, 255);
}
```

Dengan mengirimkan bilangan “255” pada pin ENA1 dan ENA2 kecepatan motor DC pada posisi maksimum dengan $D = 100\%$ yaitu tegangan yang diberikan pada motor DC sebesar $\approx 5V$

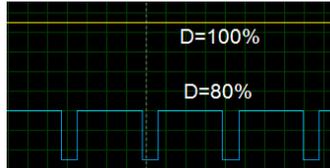


Gambar 18. Sinyal PWM Motor Kanan & Motor Kiri sama dengan 100%

- Percobaan robot, ketika pada posisi sensor 2 (lihat Gb.13). Robot

diperintahkan melalui perintah dalam bentuk *arduino code* :

```
void Robot_Maju()
{
  digitalWrite(IA1, LOW);
  digitalWrite(IA2, HIGH);
  analogWrite(ENA1, 255);
  digitalWrite(IA3, LOW);
  digitalWrite(IA4, HIGH);
  analogWrite(ENA2, 204);
}
```

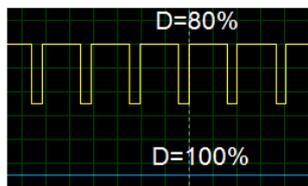


Gambar 19. Sinyal PWM D=100% dan D=80%

Dengan mengirimkan bilangan “255” pada pin ENA1 dan “204” pada pin ENA2 kecepatan motor DC kanan pada posisi maksimum (D=100%) dan motor DC kiri menurun dengan D = 70%, maka tegangan yang diberikan pada motor DC sebesar $\approx 4V$ sehingga robot akan berbelok ke kiri.

Sebaliknya Dengan mengirimkan bilangan “204” pada pin ENA1 dan “255” pada pin ENA2 kecepatan motor DC kiri pada posisi maksimum (D=100%) dan motor DC kanan menurun dengan = 80%, sehingga robot akan berbelok ke kanan.

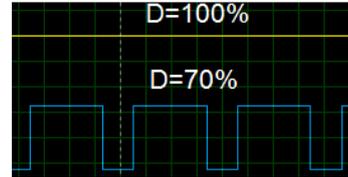
```
void Robot_Maju()
{
  digitalWrite(IA1, LOW);
  digitalWrite(IA2, HIGH);
  analogWrite(ENA1, 179);
  digitalWrite(IA3, LOW);
  digitalWrite(IA4, HIGH);
  analogWrite(ENA2, 255);
}
```



Gambar 20. Sinyal PWM D=100% dan D=80%

- Percobaan robot, ketika pada posisi sensor 1 (lihat Gb.14). Robot diperintahkan melalui perintah dalam bentuk *arduino code* :

```
void Robot_Maju()
{
  digitalWrite(IA1, LOW);
  digitalWrite(IA2, HIGH);
  analogWrite(ENA1, 255);
  digitalWrite(IA3, LOW);
  digitalWrite(IA4, HIGH);
  analogWrite(ENA2, 179);
}
```

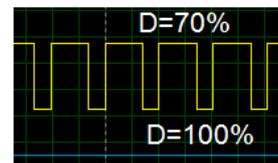


Gambar 21. Sinyal PWM D=100% dan D=70%

Dengan mengirimkan bilangan “255” pada pin ENA1 dan “179” pada pin ENA2 kecepatan motor DC kanan pada posisi maksimum (D=100%) dan motor DC kiri menurun dengan D = 700%, maka tegangan yang diberikan pada motor DC sebesar $\approx 3,5V$ sehingga robot akan berbelok ke kiri.

Sebaliknya Dengan mengirimkan bilangan “179” pada pin ENA1 dan “255” pada pin ENA2 kecepatan motor DC kiri pada posisi maksimum (D=100%) dan motor DC kanan menurun dengan = 70%, sehingga robot akan berbelok ke kanan.

```
void Robot_Maju()
{
  digitalWrite(IA1, LOW);
  digitalWrite(IA2, HIGH);
  analogWrite(ENA1, 179);
  digitalWrite(IA3, LOW);
  digitalWrite(IA4, HIGH);
  analogWrite(ENA2, 255);
}
```

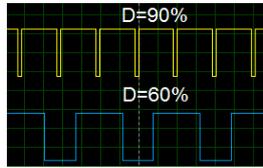


Gambar 22. Sinyal PWM D=100% dan D=80%

- Percobaan robot, ketika pada posisi sensor 1 (lihat Gb.15). Robot diperintahkan melalui perintah dalam bentuk *arduino code* :

```
void Robot_Maju()
{
  digitalWrite(IA1, LOW);
  digitalWrite(IA2, HIGH);
  analogWrite(ENA1, 230);
}
```

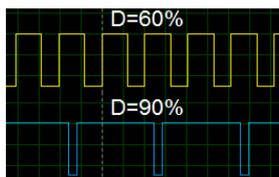
```
digitalWrite (IA3, LOW);
digitalWrite (IA4, HIGH);
analogWrite (ENA2, 153);
}
```



Gambar 23. Sinyal PWM D=90% dan D=60%

Dengan mengirimkan bilangan “230” pada pin ENA1 dan “153” pada pin ENA2 kecepatan motor DC kanan pada posisi D=90% sehingga tegangan yang diberikan motor DC kanan sebesar $\approx 4,5V$ dan motor DC kiri menurun dengan $D = 60\%$, maka tegangan yang diberikan pada motor DC sebesar $\approx 3V$ sehingga robot akan berbelok ke kiri. Sebaliknya Dengan mengirimkan bilangan “153” pada pin ENA1 dan “230” pada pin ENA2 kecepatan motor DC kiri pada posisi D=90% dan motor DC kanan pada posisi $D = 70\%$, sehingga robot akan berbelok ke kanan.

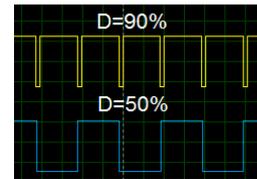
```
void Robot_Maju()
{
  digitalWrite (IA1, LOW);
  digitalWrite (IA2, HIGH);
  analogWrite (ENA1, 153);
  digitalWrite (IA3, LOW);
  digitalWrite (IA4, HIGH);
  analogWrite (ENA2, 230);
}
```



Gambar 24. Sinyal PWM D=60% dan D=90%

- Percobaan robot, ketika pada posisi sensor 1 (lihat Gb.16). Robot diperintahkan melalui perintah dalam bentuk *arduino code* :

```
void Robot_Maju()
{
  digitalWrite (IA1, LOW);
  digitalWrite (IA2, HIGH);
  analogWrite (ENA1, 230);
  digitalWrite (IA3, LOW);
  digitalWrite (IA4, HIGH);
  analogWrite (ENA2, 128);
}
```



Gambar 25. Sinyal PWM D=90% dan D=50%

Dengan mengirimkan bilangan “230” pada pin ENA1 dan “128” pada pin ENA2 kecepatan motor DC kanan pada posisi D=90% sehingga tegangan yang diberikan motor DC kanan sebesar $\approx 4,5V$ dan motor DC kiri menurun dengan $D = 50\%$, maka tegangan yang diberikan pada motor DC sebesar $\approx 2,5V$ sehingga robot akan berbelok ke kiri.

Sebaliknya Dengan mengirimkan bilangan “128” pada pin ENA1 dan “230” pada pin ENA2 kecepatan motor DC kiri pada posisi D=50% dan motor DC kanan pada posisi $D = 90\%$, sehingga robot akan berbelok ke kanan.

```
void Robot_Maju()
{
  digitalWrite (IA1, LOW);
  digitalWrite (IA2, HIGH);
  analogWrite (ENA1, 128);
  digitalWrite (IA3, LOW);
  digitalWrite (IA4, HIGH);
  analogWrite (ENA2, 230);
}
```



Gambar 26. Sinyal PWM D=50% dan D=90%

- Percobaan robot, ketika pada posisi sensor 1 (lihat Gb.17). Robot diperintahkan melalui perintah dalam bentuk *arduino code* :

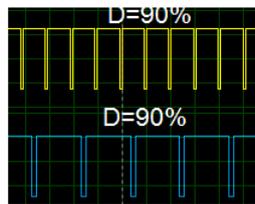
```
void Robot_Maju()
{
  digitalWrite (IA1, HIGH);
  digitalWrite (IA2, LOW);
  analogWrite (ENA1, 230);
  digitalWrite (IA3, HIGH);
  digitalWrite (IA4, LOW);
  analogWrite (ENA2, 230);
}
```

Dengan mengirimkan bilangan “230” pada pin ENA1 dan ENA2, maka motor DC bagian kiri dan kanan diberikan sinyal



PWM dengan $D=90\%$, ini berarti tegangan yang diberikan kepada masing-masing motor DC tersebut sebesar $\approx 4,5V$

Pan, T., Zhu Y. 2018. *Designing Embedded Systems with Arduino A Fundamental Technology for Makers*, Springer Nature Singapore Pte Ltd.



Gambar 27. Sinyal PWM $D=90\%$ dan $D=50\%$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Robot berkerja sudah sesuai dengan tujuan. Robot jika pada kondisi keluar jalur maka robot akan berhenti selama 3 detik, kemudian bergerak mundur untuk melacak jalur. Jika sudah sensor pada posisi diatas jalur maka bergerak maju sesuai algoritma. Tetapi ada masalah ketikan daya baterai sudah mulai menurun maka daya yang diberikan pada motor DC akan menurun juga sehingga kecepatan putaran motor DC tidak sama antara bagian kiri dan kanan.

Robot ini dapat diperbaiki kinerjanya dengan menggunakan perangkat motor DC yang mempunyai kualitas yang baik dan baterai sebagai sumber daya yang mempunyai ampere minimal 2A.

REFERENSI

- Engin, M. and Engin, D., 2012, September. *Path planning of line follower robot*. In *Education and Research Conference (EDERC), 2012 5th European DSP* (pp. 1-5). IEEE.
- Pakdaman, M., Sanaatiyan, M.M. and Ghahroudi, M.R., 2010, February. *A line follower robot from design to implementation: Technical issues and problems*. In *Computer and Automation Engineering (ICCAE), 2010 The 2nd International Conference on* (Vol. 1, pp. 5-9). IEEE.
- Salvador P.G., 2018, *8051 Microcontrollers: Fundamental Concepts, Hardware, Software and Applications in Electronics*. Springer International Publishing.
- Hughes, J. M. 2016. *Arduino: A Technical Reference A Handbook for Technicians, Engineers, and Makers*. O'Reilly Media, Inc.