

## Simulasi Sistem Pengendalian Motor Stepper dengan Metode *Pulse Width Modulation*

Hans Timothy Wijaya<sup>1</sup>, Devin Pangestu<sup>2</sup>, Marcellus Timothy Sutjipto<sup>3</sup>, Williem Surya Widjaja<sup>4</sup>, Karel O Bachri<sup>5\*</sup>, Tajuddin Nur<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik  
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta 12930, Indonesia

### Article Info

#### Article history:

Received  
25-11-2023

Accepted  
30-11-2023

#### Keywords:

*Astable Multivibrator,  
Controller, PWM,  
Microcontroller,  
Stepper Motor,  
Simulation*

### Abstract

*This paper discusses the control of a stepper motor using Pulse Width Modulation (PWM) methods. In this paper, the author presents two designs: one using a stepper motor controller with an astable multivibrator as a pulse generator and the other utilizing a microcontroller as the pulse generator. The design of the stepper motor controller with an astable multivibrator involves using the IC timer 555 to control the stepper motor speed and a latch circuit to control the direction of the stepper motor rotation. Meanwhile, the design of the stepper motor controller with a microcontroller employs the Arduino UNO R3 to control both the direction and speed of the stepper motor. Testing is conducted through a simulation of the system design using Proteus software. From the test results, it is observed that an increase in the PWM value leads to a faster rotation speed of the stepper motor, conversely, a decrease in PWM value results in a slower rotation speed of the stepper motor.*

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diterima:  
25-11-2023

Disetujui:  
30-11-2023

#### Kata Kunci:

*Mikrokontroler, Motor  
Stepper, Multivibrator  
Astable, Pengendali,  
PWM, Simulasi*

### Abstrak

*Makalah ini membahas pengendalian motor stepper dengan metode pulse width modulation (PWM). Pada makalah ini, penulis melakukan dua buah perancangan, yaitu perancangan pengendali motor stepper dengan multivibrator astabil sebagai pembangkit pulsa dan pengendali motor stepper dengan mikrokontroler sebagai pembangkit pulsa. Perancangan pengendali motor stepper dengan multivibrator astabil dilakukan dengan menggunakan IC timer 555 sebagai pengendali kecepatan motor stepper dan menggunakan rangkaian latch sebagai pengendali arah putar motor stepper; Sedangkan, Perancangan pengendali motor stepper dengan mikrokontroler dilakukan dengan menggunakan Arduino UNO R3 sebagai pengendali arah dan kecepatan motor stepper. Pengujian dilakukan dengan simulasi perancangan sistem menggunakan software Proteus. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa semakin besar nilai PWM maka kecepatan putaran motor stepper akan semakin cepat, sebaliknya ketika nilai PWM semakin kecil, maka kecepatan putaran motor stepper akan semakin melambat.*

## 1. PENDAHULUAN

Motor stepper merupakan salah satu jenis motor yang paling banyak digunakan di industri saat ini. Penggunaan motor stepper banyak digunakan pada peralatan yang membutuhkan ketepatan kendali gerak dan akurasi yang tinggi. Contoh dari penggunaan motor stepper adalah pengendali pembesaran (*zoom*) kamera, mesin printer, dan pembuatan robot [1].

Motor stepper merupakan suatu perangkat elektromekanis yang mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik. Motor Stepper ini merupakan motor listrik sinkron tanpa sikat (*brush*) yang dapat membagi putarannya menjadi sejumlah langkah (*step*). Motor Stepper dapat dikontrol secara akurat tanpa mekanisme umpan balik. Motor stepper menggunakan teori operasi magnet untuk membuat poros motor berputar pada jarak yang tepat ketika pulsa listrik diberikan [4]. Pulsa listrik ini diterjemahkan menjadi putaran *shaft*, dengan setiap putaran membutuhkan jumlah pulsa yang ditentukan.

Satu pulsa listrik dapat menghasilkan satu langkah (*step*) diskrit pada motor stepper. Maka, untuk memperoleh jumlah putaran yang diinginkan, harus dihitung jumlah pulsa listrik yang akan diberikan.

\*Corresponding author. Karel Oktavianus Bachri  
Email address: [karel.bachri@atmajaya.ac.id](mailto:karel.bachri@atmajaya.ac.id)

Semakin banyak jumlah step, maka semakin tepat gerak suatu motor. Maka, untuk menghasilkan ketepatan kontrol yang lebih tinggi, beberapa *driver* motor akan membagi step normal menjadi setengah step [2].

Berdasarkan penjelasan di atas, penulis ingin menyimulasikan pengendalian motor stepper dengan metode pulse width modulation (PWM) untuk mengatur masukan pulsa dari motor stepper. Pada makalah ini, penulis akan melakukan dua buah perancangan, yaitu perancangan pengendali motor stepper dengan multivibrator astabil sebagai pembangkit pulsa dan pengendali motor stepper dengan mikrokontroler sebagai pembangkit pulsa.

Tujuan dari perancangan makalah ini adalah merancang pengendalian motor stepper dengan metode pulse width modulation (PWM) dan membandingkan hasil pengendalian motor stepper antara kedua jenis pembangkit pulsa yang dirancang.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Pulse Width Modulation

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan suatu sinyal digital yang biasa digunakan dalam rangkaian mekanisme kontrol motor dan sistem pencahayaan. Dalam metode PWM, tegangan disuplai ke motor stepper dalam bentuk peralihan pulsa secara cepat (HIGH dan LOW), tidak dalam bentuk tegangan analog yang diberikan secara kontinu seperti pada motor DC.

*Duty cycle* dan frekuensi pada sinyal PWM menyatakan suatu tegangan keluaran. *Duty cycle* pada sinyal PWM merupakan lama pulsa bernilai HIGH yang berada dalam 1 siklus dan ditentukan sebagai persentase. Persentase *duty cycle* dari PWM didapatkan melalui Persamaan (1) dan Persamaan (2).

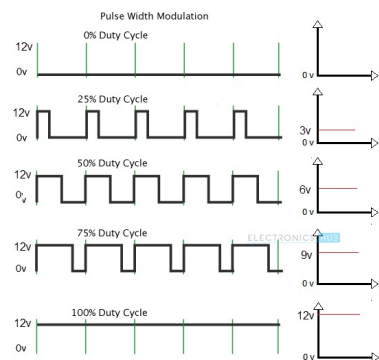
$$T = T_{HIGH} + T_{LOW} \quad (1)$$

$$DUTY\ CYCLE(\%) = \frac{T_{HIGH}}{T} \times 100 \quad (2)$$

Dengan,

$T_{HIGH}$  : Waktu pulsa HIGH selama durasi 1 siklus

$T_{LOW}$  : Waktu pulsa LOW selama durasi 1 siklus

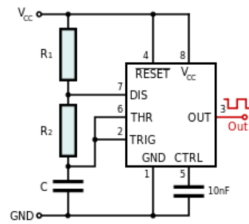


Gambar 1. Sinyal PWM dengan *duty cycle* yang berbeda

Perbandingan sinyal PWM dengan *duty cycle* yang berbeda akibat dari tegangan yang diberikan dapat dilihat pada Gambar 1. Tegangan yang diberikan hanya mempengaruhi waktu HIGH dan tidak mengubah nilai frekuensi dan amplitudo [3].

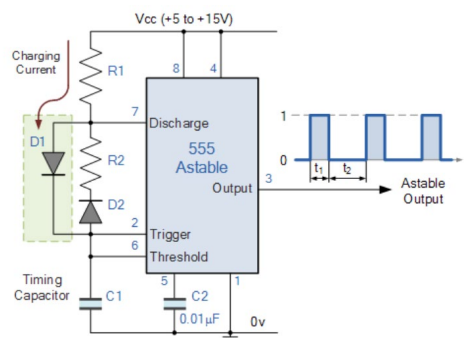
PWM dapat dibangkitkan dengan rangkaian Multivibrator Astabil dengan IC555. Jenis multivibrator ini menyatakan bahwa rangkaian ini tidak memiliki keadaan keluaran yang stabil akibat dari pengisian dan pengosongan kapasitor. Perlu diketahui *duty cycle* minimum yang dapat dicapai oleh IC555 adalah 50%. Perhitungan ini didasarkan dari resistor yang terpasang pada rangkaian pembangkit pulsa yang dapat dilihat di Gambar 2, yaitu  $R1 \geq R2$ . Berdasarkan waktu pembangkitan sinyal PWM terhadap waktu ON (*Charge*) dan OFF (*Discharge*) kapasitor, karena adanya resistor R2 dalam proses *charge* kapasitor, maka nilai *duty cycle* yang dihasilkan melalui Persamaan (3) [4].

$$DUTY\ CYCLE_{(\%)} = \frac{R_1 + R_2}{(R_1 + 2R_2)} \quad (3)$$



Gambar 2. Rangkaian multivibrator astabil dengan IC 555

Untuk memodifikasi nilai *duty cycle* yang kurang dari 50%, maka nilai R1 yang terpasang harus lebih kecil dibanding nilai R2 dan memasang diode dari V<sub>cc</sub> menuju kapasitor. Tanpa adanya pemasangan diode, *duty cycle* yang dihasilkan tidak akan bisa kurang dari 50% meskipun nilai R1 < R2. Hal ini diakibatkan nilai R1+R2 akan selalu lebih besar dari nilai R1 itu sendiri.



Gambar 3. Penambahan diode pada rangkaian multivibrator astabil

Pada Gambar 3 menunjukkan pemasangan diode yang bertujuan mengisi tegangan kapasitor tanpa harus melewati R2. Dengan menggunakan potensiometer sebagai pengganti R2 dan penambahan diode untuk melakukan *bypass* terhadap potensiometer R2, maka nilai *duty cycle* yang dihasilkan melalui Persamaan (4) [4].

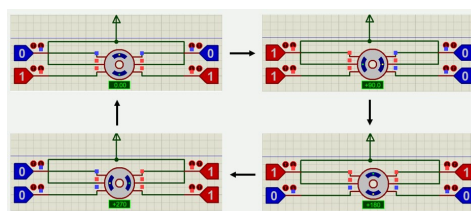
$$DUTY\ CYCLE_{(\%)} = \frac{R_1}{(R_1 + 2R_2)} \quad (4)$$

PWM juga dapat dibangkitkan dengan menggunakan mikrokontroler. Sebuah mikrokontroler memiliki pin keluaran yang mendukung keluaran PWM. Selain itu, juga sebagian besar mikrokontroler memiliki fitur *built-in timers* yang membantu dalam pembangkit PWM dengan variasi lebar pulsa berbeda, sehingga frekuensi dan amplitudo yang merupakan dasar dari PWM tetap stabil [5].

## 2.2 Motor Stepper

Motor stepper adalah suatu motor listrik yang berputar berdasarkan langkah (*step*) diskrit. Motor stepper memiliki masukan yang berasal dari pulsa listrik. Sebuah motor stepper dapat mengubah sinyal-sinyal listrik menjadi gerakan mekanis diskrit. Pergerakan yang dihasilkan oleh motor stepper dikenal dengan istilah *step* yang bergerak secara teratur [6].

Pada perancangan ini, digunakan 2 jenis motor yaitu motor stepper dan motor bi-stepper. Cara kerja motor stepper pada rangkaian simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.



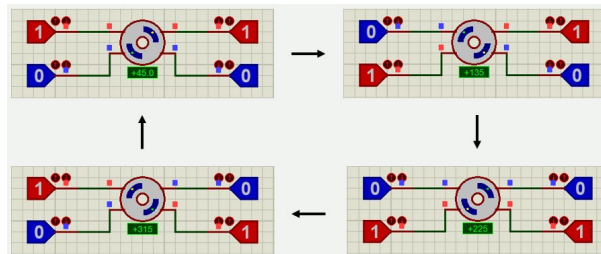
Gambar 4. Cara kerja motor stepper

Berdasarkan Gambar 4, cara kerja motor stepper pada rangkaian simulasi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Cara kerja motor stepper

Step (°)	A	B	C	D
0°	0	0	1	1
90°	1	0	0	1
180°	1	1	0	0
270°	0	0	1	1

Sedangkan, cara kerja motor bi-stepper pada rangkaian simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Cara kerja motor bi-stepper

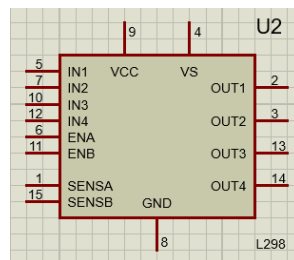
Berdasarkan Gambar. 5, cara kerja motor bi-stepper pada rangkaian simulasi dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2. Cara kerja motor bi-stepper

Step (°)	A	B	C	D
45°	1	1	0	0
135°	0	1	0	1
225°	0	0	1	1
315°	1	0	1	0

### 2.3 Motor Driver L298

IC L298 merupakan sebuah motor *driver* dengan menggunakan IC tipe H-bridge yang biasa digunakan untuk mengendalikan mengendalikan beban-beban induktif seperti relay, solenoid, motor DC, maupun motor stepper. IC L298 terdiri dari transistor-transistor logika (TTL) dengan gerbang NAND yang berfungsi untuk memudahkan dalam menentukan arah putaran suatu motor dc maupun motor stepper.



Gambar 6. IC L298

Berdasarkan Gambar 6, pin IC L298N pada rangkaian simulasi bekerja sebagai berikut:

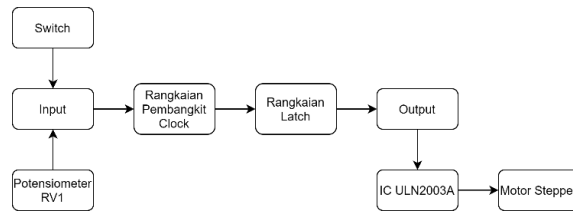
- Pin ENA berfungsi untuk mengaktifkan pin OUT1 dan pin OUT2
- Pin ENB berfungsi untuk mengaktifkan pin OUT3 dan pin OUT4

Pin IN1, IN2, IN3, IN4 adalah pin kontrol yang berfungsi sebagai kendali perputaran dan kecepatan motor stepper yang dihubungkan ke Mikrokontroler.

## 3. PERANCANGAN

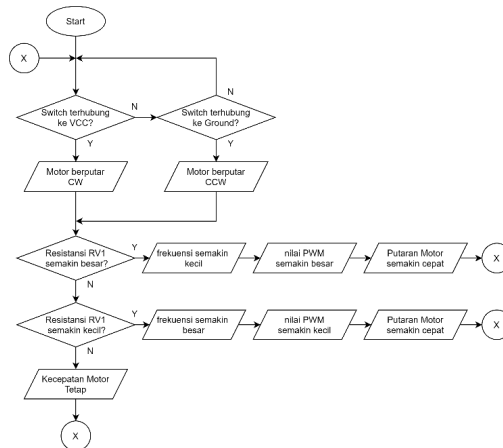
### 3.1 Pengendali Motor Stepper dengan Multivibrator Astabil

Diagram blok dari perancangan motor stepper dengan multivibrator astabil sebagai pembangkit pulsa dapat dilihat pada Gambar 7.



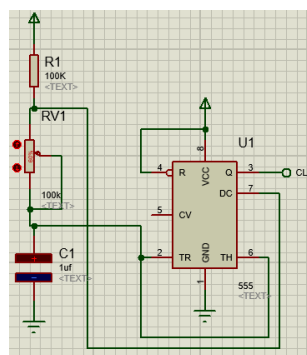
Gambar 7. Diagram blok perancangan pengendali motor stepper dengan multivibrator astabil

Diagram alur dari perancangan motor stepper dengan multivibrator astabil sebagai pembangkit pulsa dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alur perancangan pengendali motor stepper dengan multivibrator astabil

Untuk penjelasan perancangan lebih lanjut, penulis akan membahas detail perancangan yang dibuat. Berikut perancangan rangkaian pembangkit pulsa PWM (*Clock*) dengan menggunakan IC 555.

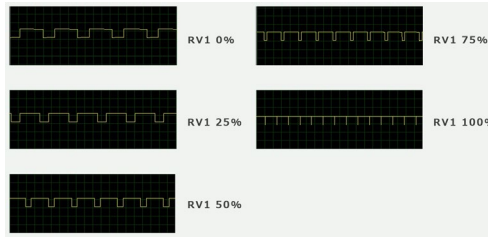


Gambar 9. Rangkaian pembangkit clock

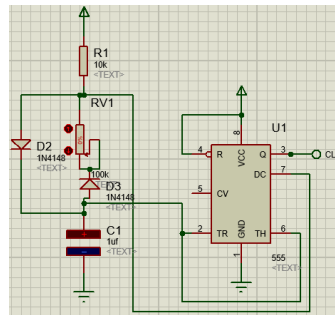
Berdasarkan Gambar 9, parameter yang mempengaruhi nilai frekuensi yang dihasilkan pin Q (*clock*) adalah R1, RV1 dan C1. Apabila RV1 bernilai semakin besar, maka frekuensi yang dihasilkan semakin kecil, sebaliknya, apabila RV1 bernilai semakin kecil, maka frekuensi yang dihasilkan semakin besar. Perhitungan frekuensi yang dihasilkan IC 555 dapat dihitung menggunakan persamaan 5.

$$f = \frac{1}{0,693 C1(R1+2RV1)} \quad (5)$$

Keluaran IC 555 ini menghasilkan gelombang kotak yang digunakan sebagai *clock* pada rangkaian latch. PWM yang dihasilkan rangkaian pembangkit *clock* dapat dilihat pada Gambar 10.

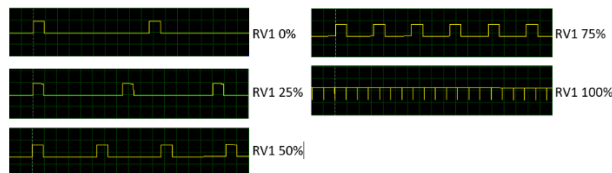


Gambar 10. Pulsa PWM yang dihasilkan rangkaian pembangkit clock



Gambar 11. Rangkaian pembangkit clock dengan diode

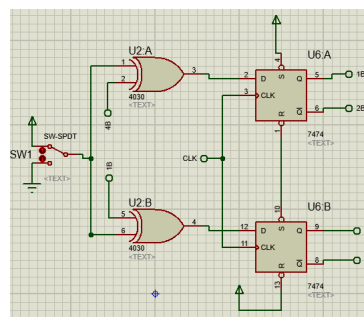
Berdasarkan Gambar 11, dilakukan perubahan nilai R1 dari rangkaian pembangkit *clock* menggunakan diode untuk melakukan modifikasi pada nilai *duty cycle* kurang dari 50%. Fungsi dari diode adalah untuk melangsungkan pengisian kapasitor tanpa harus melewati RV1.



Gambar 12. Pulsa PWM yang dihasilkan rangkaian pembangkit clock dengan diode

Keluaran IC 555 dengan diode ini menghasilkan gelombang kotak yang digunakan sebagai *clock* pada rangkaian latch. PWM yang dihasilkan rangkaian pembangkit *clock* dengan diode dapat dilihat pada Gambar 12.

Berikut perancangan rangkaian latch dengan menggunakan IC 4030 (Gerbang XOR) dan IC 7474 (D Flip-flop).

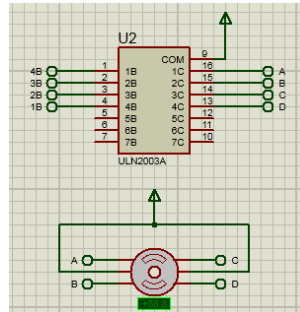


Gambar 13. Rangkaian latch

Berdasarkan rangkaian pada Gambar 13, pulsa PWM yang dihasilkan IC 555 menjadi masukan D flip-flop. Sesuai dengan cara kerja D flip-flop, ketika masukan *clock* bernilai HIGH, maka keluaran pin Q (pin 5 dan pin 8) akan mengalami perubahan kondisi dari HIGH ke LOW atau sebaliknya dari LOW ke HIGH. Kemudian, keluaran pin Q ini diumpun balik ke pin 2 dan 5 dari gerbang XOR untuk menghasilkan umpan balik ke rangkaian Latch. Keluaran D flip-flop ini bertujuan untuk mengubah derajat putar motor ketika masukan *clock*-nya HIGH.

Sedangkan, arah putaran motor ditentukan oleh saklar (*switch*) yang dihubungkan antara VCC dan *ground*. Ketika *switch* terhubung dengan VCC, maka motor akan berputar searah dengan jarum jam atau CW (*clock wise*). Sedangkan apabila *switch* terhubung dengan *ground* maka motor akan berputar berlawanan arah jarum jam atau CCW (*counter clock wise*).

Berikut perancangan rangkaian motor stepper dengan IC ULN2003A sebagai *driver* motor.



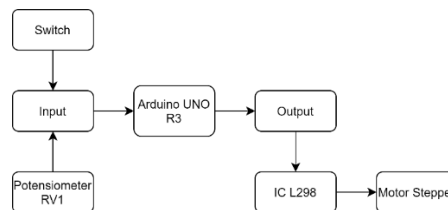
Gambar 14. Rangkaian motor stepper dengan IC ULN2003A

Pada Gambar 14, pin masukan 1B hingga 4B pada IC ULN2003A berasal dari keluaran rangkaian latch. Masing-masing pin ini terhubung ke basis transistor dan dipicu dengan menggunakan tegangan +0V (LOW) dan +5V (HIGH). Pin COM (pin 9) digunakan sebagai pin uji atau pin penekan tegangan.

Keluaran IC ULN2003A (pin A hingga pin D) dihubungkan dengan motor Stepper. Sebagai pengendali motor stepper, IC ULN2003A membalik masukannya. Sebagai contoh, ketika masukan pin 1B berlogika LOW maka keluaran pin 1C akan berlogika HIGH.

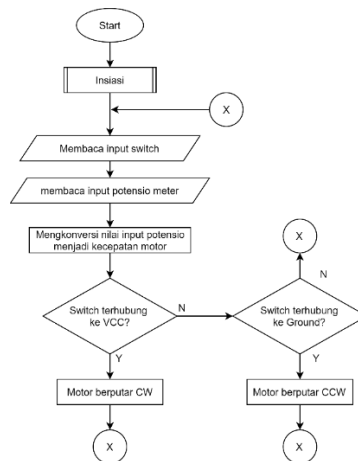
### 3.2 Pengendali Motor Stepper dengan Mikrokontroler

Diagram blok dari perancangan motor stepper dengan mikrokontroler sebagai pembangkit pulsa dapat dilihat pada Gambar 15.



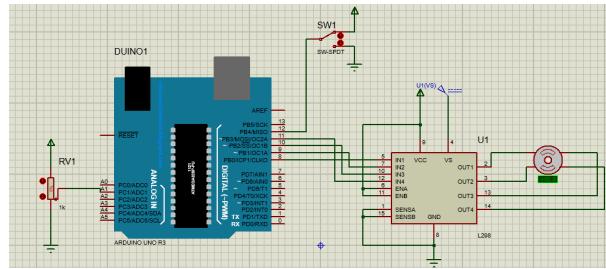
Gambar 15. Diagram blok perancangan pengendali motor stepper dengan mikrokontroler

Diagram alur dari perancangan motor stepper dengan mikrokontroler sebagai pembangkit pulsa dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Diagram alur perancangan pengendali motor stepper dengan mikrokontroler

Untuk penjelasan perancangan lebih lanjut, penulis akan membahas detail perancangan yang dibuat. Berikut perancangan rangkaian pengendali motor stepper menggunakan mikrokontroler.



Gambar 17. Rangkaian pengendali motor stepper dengan mikrokontroler

Pada rangkaian di atas, potensiometer dan *switch* menjadi parameter masukan mikrokontroler yang digunakan untuk mengendalikan motor stepper. Selanjutnya, digunakan motor bi-stepper dan IC L298 *driver* motor yang akan dikendalikan menggunakan mikrokontroler. Sebagai pengendali motor stepper, digunakan modul atau *library* “stepper” untuk pengendali motor stepper.

#### 4. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada kedua rangkaian untuk melihat kecepatan dan arah putar motor berdasarkan masukan potensiometer dan *switch*. Pengujian pengendali kecepatan motor stepper dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 3. Pengujian pengendali kecepatan motor stepper dengan rangkaian multivibrator astabil tanpa dioda

%Potensio	Waktu/rotasi	Kecepatan tanpa dioda
0%	0,85 s	71 rpm
25%	0,7 s	86 rpm
50%	0,55 s	109 rpm
75%	0,425 s	141 rpm
100%	0,275 s	218 rpm

Tabel 4. Pengujian pengendali kecepatan motor stepper dengan rangkaian multivibrator astabil menggunakan dioda

%Potensio	Waktu/rotasi	Kecepatan dengan dioda
0%	1,39 s	43 rpm
25%	1,1 s	55 rpm
50%	0,78 s	77 rpm
75%	0,472 s	127 rpm
100%	0,277 s	216 rpm

Tabel 5. Pengujian pengendali kecepatan motor stepper dengan mikrokontroler

%Potensio	Waktu/rotasi	Kecepatan
0%	3,6 s	17 rpm
25%	2,5 s	24 rpm
50%	1,7 s	35 rpm
75%	0,8 s	75 rpm
97%	0,3 s	200 rpm
100%	-	0 rpm

Berdasarkan data pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5, dapat dibuktikan bahwa kecepatan motor stepper dapat dikendalikan menggunakan potensiometer untuk menghasilkan pulsa PWM pada rangkaian multivibrator astabil dan mikrokontroler. Namun, pada rangkaian pengendali dengan mikrokontroler, ketika potensiometer diatur mendekati 100%, kecepatan putar motor semakin menurun dan pada akhirnya motor berhenti berputar.



Selanjutnya, dilakukan pengujian arah putar motor stepper dengan menghubungkan *switch* ke VCC dan *ground*. Pengujian pengendali arah putar motor stepper dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengujian pengendali arah putar motor stepper

Switch	Multivibrator Astabil	Mikrokontroler
VCC	<i>Clock wise</i>	<i>Clock wise</i>
Ground	<i>Counter clock wise</i>	<i>Counter clock wise</i>

Berdasarkan data pada Tabel 6, dapat dibuktikan bahwa arah putar motor stepper dapat dikendalikan menggunakan *switch* pada rangkaian multivibrator astabil dan mikrokontroler.

Selanjutnya, dilakukan pengukuran tegangan dan arus pada masukan motor stepper. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 7. Pengukuran tegangan masukan motor stepper

Kondisi	Tegangan	
	Multivibrator Astabil	Mikrokontroler
HIGH	5 V	4,96 V
LOW	0,04 V	0,04 V

Tabel 8. Pengukuran arus masukan motor stepper

Kondisi	Arus	
	Multivibrator Astabil	Mikrokontroler
HIGH	0 mA	41 mA
LOW	-41,3 mA	-41 mA

Berdasarkan data pada Tabel 7, dapat dilihat bahwa ketika kondisi HIGH, tegangan masukan pin motor stepper pada rangkaian mikrokontroler mengalami penurunan tegangan, sedangkan pada rangkaian multivibrator astabil, tegangan masukan pin motor stepper tetap sama dengan tegangan sumber. Ketika kondisi LOW, kedua rangkaian memiliki tegangan masukan pin motor stepper yang sama, yaitu 0,04 V.

Berdasarkan data pada Tabel 8, dapat dilihat bahwa ketika kondisi HIGH, masukan pin motor stepper pada rangkaian multivibrator astabil tidak diberikan arus listrik, sedangkan pada rangkaian mikrokontroler, pin motor stepper diberikan arus sebesar 41 mA. Ketika kondisi LOW, pada kedua rangkaian, arus sebesar 41 mA mengalir dari motor stepper ke IC motor *driver*.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan yang penulis lakukan, berikut kelebihan dan kekurangan dari masing-masing rangkaian.

Kelebihan dari rangkaian pengendali motor stepper dengan multivibrator astabil adalah :

- Multivibrator astabil mampu menghasilkan pulsa PWM yang sangat stabil dan akurat.
- Multivibrator Astabil dapat memberi daya dan melakukan pekerjaan secara konsisten tanpa adanya gangguan dari luar [7].
- Biaya perancangan pengendali motor stepper dengan multivibrator astabil lebih murah dibandingkan dengan penggunaan mikrokontroler.
- Perubahan kecepatan motor stepper dengan multivibrator astabil lebih stabil, hal ini terjadi karena pulsa PWM multivibrator astabil yang lebih stabil dan akurat.
- Tegangan keluaran motor *driver* ketika kondisi HIGH tidak mengalami tetap sama dengan tegangan sumber.

Kekurangan dari rangkaian multivibrator astabil adalah:

- Perancangan pembangkit pulsa menggunakan multivibrator astabil lebih rumit dibanding pembangkit pulsa menggunakan mikrokontroler karena memerlukan banyak komponen.
- Membutuhkan komponen tambahan yaitu diode untuk mengubah nilai PWM dengan *duty cycle* menjadi kurang dari 50% dan nilai *duty cycle* yang dihasilkan tidak dapat diubah menjadi 0%.

- Multivibrator astabil tidak mentransfer seluruh sinyal keluarannya ke masukan. Meskipun penguat mengembalikan energi yang hilang ketika memperkuat sinyal, tetapi sering kali sinyal terlalu kecil untuk digunakan [7].

Kelebihan dari rangkaian pengendali motor stepper dengan mikrokontroler adalah:

- Mikrokontroler memiliki *library* pengendalian motor stepper, sehingga perancangan pengendali menggunakan mikrokontroler lebih sederhana dan mudah.
- Ukuran sistem yang lebih kecil karena integrasi yang lengkap dalam sebuah mikrokontroler [5].

Kekurangan dari rangkaian pengendali motor stepper dengan mikrokontroler adalah:

- Arsitektur Mikrokontroler lebih kompleks, hanya melakukan eksekusi dalam jumlah terbatas dalam waktu yang bersamaan [5].
- Kebanyakan hanya digunakan pada peralatan mikro, tidak dapat terhubung dengan perangkat yang berdaya tinggi secara langsung [5].
- Biaya perancangan pengendali motor stepper dengan mikrokontroler lebih mahal dibandingkan dengan penggunaan multivibrator astabil.
- Perubahan kecepatan motor stepper dengan mikrokontroler tidak stabil, kecepatan motor meningkat dan menurun secara signifikan seiring perubahan hambatan pada potensiometer.
- Kecepatan putar motor semakin menurun hingga motor berhenti berputar ketika potensiometer mendekati 100%, yang mana seharusnya kecepatan motor semakin meningkat.
- Tegangan keluaran motor *driver* ketika kondisi HIGH mengalami penurunan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. Utomo, B. Rahmat dan E. Rijanto, “Desain dan Implementasi Kontrol Kecepatan Mode Sinus Motor Stepper Menggunakan Mikrokontroler Atmega8,” *Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom*, 2018.
- [2] Andalanelektro.id, “Skema Rangkaian Pengatur Putaran dan Kecepatan Motor Stepper Beserta Cara Kerjanya,” 2019. [Online]. Available: <https://www.andalanelektro.id/2019/10/skema-rangkaian-pengatur-putaran-dan-kecepatan-motor-stepper-serta-cara-kerjanya.html>. [Diakses 18 10 2021].
- [3] D. Kho, “Pengertian PWM (Pulse Width Modulation atau Modulasi Lebar Pulsa),” [Online]. Available: <https://teknikelektronika.com/pengertian-pwm-pulse-width-modulation-atau-modulasi-lebar-pulsa/>. [Diakses 18 10 2021].
- [4] E. Tutorials, “555 Oscillator Tutorial,” [Online]. Available: [https://www.electronicstutorials.ws/waveforms/555\\_oscillator.html](https://www.electronicstutorials.ws/waveforms/555_oscillator.html). [Diakses 18 10 2021].
- [5] N. Barru, “Pengertian, Perbedaan, Fungsi, Kelebihan Mikrokontroler dan Arduino,” 2020. [Online]. Available: <https://naufalbarru.com/pengertian-perbedaan-fungsi-kelebihan-mikrokontroler-dan-arduino/>. [Diakses 17 10 2021].
- [6] Elprocus, “What is a Stepper Motor : Types & Its Working,” [Online]. Available: [www.elprocus.com/stepper-motor-types-advantages-applications/](http://www.elprocus.com/stepper-motor-types-advantages-applications/). [Diakses 18 10 2021].
- [7] D. Kho, “Pengertian Multivibrator Astabil (Astable Multivibrator) dan Cara Kerjanya,” [Online]. Available: <https://teknikelektronika.com/pengertian-multivibrator-astabil-astable-multivibrator-cara-kerjanya/>. [Diakses 11 10 2021].