

SKRIPSI

**PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN PWM
(PULSE WIDTH MODULATION)**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro



Oleh

Ali Akbar
20170006

Muhammad Hafis
20170007

M. Ilham Rizki
20170015

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT
2024**

HALAMAN PENGESAHAN
PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN PWM
(PULSE WIDTH MODULATION)

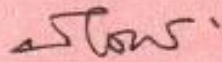
Oleh

Ali Akbar
20170006

Muhammad Hafis
20170007

M. Ilham Rizki
20170015

Dosen Pembimbing I,



Herris Yamashika, S.T., M.T.
NIDN. 1024038202

Dosen Pembimbing II,



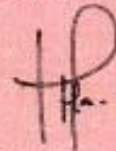
Mahyessie Kamil, S.T., M.T.
NIDN. 1002096901

Dekan Fakultas Teknik
UM Sumatera Barat,



Masril, S.T., M.T.
NIDN. 1005057407

Ketua Program Studi
Teknik Elektro,

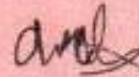


Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.
NIDN. 1009019401

LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Pengujian pada ujian tertutup tanggal 28 Februari 2024 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

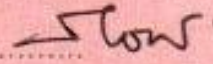
Bukittinggi, 28 Februari 2024
Mahasiswa,



Ali Akbar
20170006

Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal 19 Maret 2024:

1. Herris Yamashika, S.T., M.T.

1. 

2. Mahyessie Kamil, S.T., M.T.

2. 

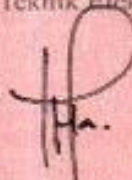
3. Ir. Yulisman, M.T.

3. 

4. Ir. Budi Santoso, M.T.

4. 

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Elektro,



Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.
NIDN. 1009019401

LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Pengujian pada ujian tertutup tanggal 28 Februari 2024 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

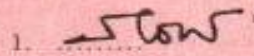
Bukittinggi, 28 Februari 2024
Mahasiswa,

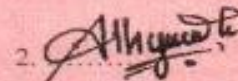


Muhammad Hafis
20170007

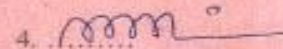
Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal 19 Maret 2024:

1. Herris Yamashika, S.T., M.T.
2. Mahyessie Kamil, S.T., M.T.
3. Ir. Yulisman, M.T.
4. Ir. Budi Santoso, M.T.

1. 

2. 

3. 

4. 

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Elektro,

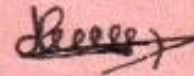


Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.
NIDN. 1009019401

LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Pengujian pada ujian tertutup tanggal 28 Februari 2024 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Bukittinggi, 28 Februari 2024
Mahasiswa,



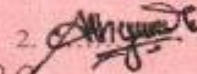
M. Ilham Rizki
20170015

Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal 19 Maret 2024:

1. Herris Yamashika, S.T., M.T.

1. 

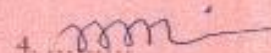
2. Mahyessie Kamil, S.T., M.T.

2. 

3. Ir. Yulisman, M.T.

3. 

4. Ir. Budi Santoso, M.T.

4. 

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Elektro,



Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.
NIDN. 1009019401

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Ali Akbar
Tempat dan Tanggal Lahir : Bukittinggi, 05 Agustus 2001
Judul Skripsi : Pengendalian Kecepatan Motor DC
Menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan cantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karna karya tulis ini dan sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak mana pun.

Bukittinggi, 22 Februari 2024
Yang membuat pernyataan,



Ali Akbar
20170006

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhammad Hafis
Tempat dan Tanggal Lahir : Bukittinggi, 08 Februari 2000
Judul Skripsi : Pengendalian Kecepatan Motor DC
Menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan cantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karna karya tulis ini dan sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak mana pun.

Bukittinggi, 22 Februari 2024
Yang membuat pernyataan,



Muhammad Hafis
20170007

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : M. Ilham Rizki
Tempat dan Tanggal Lahir : Lawang, 27 September 1998
Judul Skripsi : Pengendalian Kecepatan Motor DC
Menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan cantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karna karya tulis ini dan sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak mana pun.

Bukittinggi, 22 Februari 2024
Yang membuat pernyataan,

A 10,000 Indonesian Rupiah banknote is shown with a signature over it. The signature is in black ink and appears to be 'Ilham Rizki'. The banknote is yellow and green, with the number '10000' clearly visible. The serial number 'BLCMAHALX0735E7849' is also visible at the bottom of the note.

M. Ilham Rizki
20170015

ABSTRAK

Tugas akhir ini telah membuat pengendali kecepatan motor dc menggunakan pmw. Dimana sinyal pwm yang diberikan kecepatan motor dc akan merubah nilai tegangan efektif pada motor dc tersebut. Sinyal pwm diperoleh dari komparasi sinyal segitiga dan persegi menggunakan ic op-amp lm 339. Pengaturan motor dirancang untuk diterapkan pada motor dc 12 volt dengan arus maksimal 2 ampere. Frekuensi pwm dan *duty cyle* dapat diatur menggunakan resistor variable yang berbeda untuk masing-masing nya. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa perubahan kecepatan motor berbanding lurus dengan perubahan *duty cyle* untuk frekuensi pwm yang sama. Sementara itu perubahan frekuensi pwm pada *duty cyle* yang tetap berbanding terbalik dengan perubahan kecepatan motor. *Duty cyle* 100% pada seluruh frekuensi pwm yang diujikan menunjukkan kecepatan motor dc berada sekitar 2000 rpm. Untuk hal yang sama arus masukkan pada motor sekitar 1 ampere. Kecepatan minimum motor dari pengujian 134,6 rpm pada *duty cyle* 10% Ketika frekuensi 5000 Hz. Sementara itu kecepatan maksimum motor adalah 2071 rpm, pada *duty cyle* 100% Ketika frekuensi 1000 Hz.

Kata kunci: motor dc, pengendali pwm, op-amp



ABSTRAC

This final project has made a dc motor speed controller using PWM. Where the PWM signal given to the dc motor speed will change the effective voltage value on the dc motor. The pwm signal is obtained from the comparison of triangular and square signals using the op-amp ic lm 339. The motor setting is designed to be applied to a 12 volt dc motor with a maximum current of 2 amperes. The pwm frequency and duty cyle can be adjusted using different variable resistors for each. The results obtained show that the change in motor speed is directly proportional to the change in duty cyle for the same pwm frequency. Meanwhile, the change in pwm frequency at a fixed duty cyle is inversely proportional to the change in motor speed. Duty cyle 100% at all tested pwm frequencies shows the speed of the dc motor is around 2000 rpm. For the same, the input current to the motor is about 1 ampere. The minimum motor speed of the test is 134.6 rpm at 10% duty cyle when the frequency is 5000 Hz. Meanwhile the maximum speed of the motor is 2071 rpm, at 100% duty cyle when the frequency is 1000 Hz.

Keywords: *dc motor, pwm controller, op-amp*



KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Allah SWT atas segala berkat yang telah diberikan-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban yang harus diselesaikan untuk memenuhi sebagai persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat (UM Sumatera Barat).

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan dan doa dari berbagai pihak, Skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, yaitu kepada:

1. Orang tua, kakak, adik serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan moril, doa dan kasih sayang;
2. Bapak Masril, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
3. Bapak Hariyadi, S.Kom., M.Kom., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
4. Ibu Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro;
5. Ibu Mira Meilisa, S.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
6. Bapak Herris Yamashika, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banya memberikan masukan kepada penulis;
7. Bapak Mahyessie Kami, S.T., M.T. selaku selaku Dosen Pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banya memberikan masukan kepada penulis;
8. Bapak/Ibu tenaga kependidikan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
9. Semua pihak yang Namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, saya dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis, khususnya mahasiswa Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Bukittingi, 22 Februari 2024

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	i
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Sistematika Penulisan.....	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Motor DC	4
2.2. PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>).....	5
2.2.1. Penjelasan PWM	6
2.2.2. Membuat Sinyal PWM.....	7
2.2.3. Frekuensi Pembawa PWM	7
2.2.4. Siklus Tugas PWM	8
2.2.5. PWM untuk Kontrol Kecepatan Motor DC	8
2.3. Pembangkit Sinyal Segitiga.....	9
2.3.1. OP-AMP sebagai Pembangkit Gelombang Segitiga.....	10
2.3.2. Rangkaian Gelombang Segitiga.....	10
2.3.3. <i>Frekuensi Osilasi Oscillator</i> Gelombang Segitiga	11
2.3.4. Prinsip Kerja Rangkaian <i>Oscillator</i> Gelombang Segitiga	12
2.4. Mosfet.....	13
2.4.1. Cara Kerja Mosfet IRFZ44N	14
2.4.2. Karakteristik dan Kegunaan Mosfet IRFZ44N	14
2.4.3. Kegunaan Mosfet IRFZ44N.....	15
2.5. IC LM339	15
BAB III. KONSEP PERANCANGAN	18
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	18

3.2.	Peralatan dan Bahan	18
3.2.1.	Peralatan.....	18
3.2.2.	Bahan.....	18
3.3.	Prosedur Penelitian.....	19
3.3.1.	Studi Literatur	19
3.3.2.	Perancangan Rangkaian	19
3.3.3.	Merancang PCB	20
3.3.4.	Pemasangan Komponen.....	20
3.3.5.	Pengujian.....	21
3.4.	Diagram Alir Penelitan.....	22
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		23
4.1.	Hasil.....	23
4.1.1.	Hasil Rancangan Skematik	23
1.	Rincian Catu Daya.....	24
2.	Rangkaian Kontrol	25
3.	Rangkaian Daya	26
4.1.2.	Hasil Rancangan PCB	26
4.1.3.	Hasil Pemasangan Komponen pada PCB	28
4.2.	Pengujian	29
4.3.	Pembahasan.....	33
BAB V. PENUTUP		34
5.1.	Kesimpulan.....	34
5.2.	Saran	34
DAFTAR PUSTAKA		35
LAMPIRAN.....		37

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Rincian Komponen.....	23
Tabel 4. 2. Data kecepatan motor (RPM).....	31
Tabel 4. 3. Data Arus.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Motor DC	4
Gambar 2.2. PWM	6
Gambar 2.3. Siklus Tugas PWM.....	8
Gambar 2.4. Rangkaian Gelombang Segitiga	10
Gambar 2.5. Rangkaian Amplifier IC TL 082.....	11
Gambar 2.6. Prinsip Kerja Rangkaian Osilator Gelombang Segitiga.....	12
Gambar 2.7. Mosfet IRFZ44N (a) Bentuk Fisik Mosfet (b) Bentuk Simbol Mosfet	14
Gambar 2.8. Rangkaian IC LM399	16
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 4.1. Skematik pada aplikasi Kid Cad	23
Gambar 4.2. Rangkaian Catu Daya.....	25
Gambar 4.3. Rangkaian Kontrol	25
Gambar 4.4. Rangkaian Daya	26
Gambar 4.5. Hasil Rancangan PCB	27
Gambar 4.6. Skema Rangkaian PCB	27
Gambar 4.7. Hasil pemasangan komponen pada PCB.....	28
Gambar 4. 8. Spesifikasi Motor DC.....	29
Gambar 4.9. Pengujian Alat	30
Gambar 4.10. Grafik kecepatan motor (RPM).....	31
Gambar 4.11. Grafik Arus	32

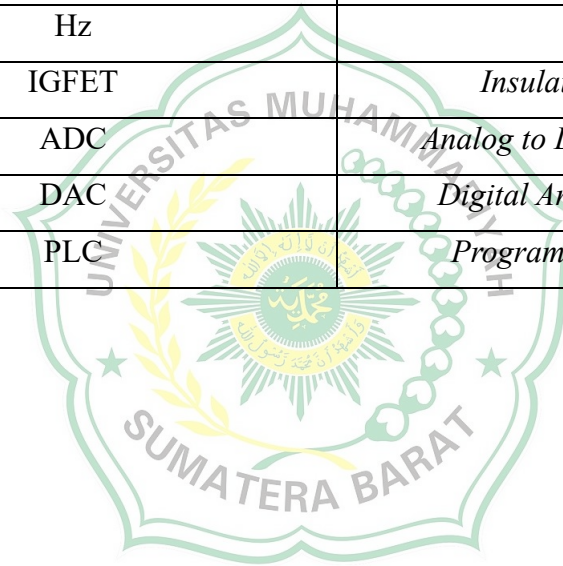
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil pengujian pada frekuensi 1000 Hz.....	38
Lampiran 2. Hasil pengujian pada frekuensi 2000Hz.....	38
Lampiran 3. Hasil pengujian pada frekuensi 2500Hz.....	39
Lampiran 4. Hasil pengujian pada frekuensi 4000Hz.....	39
Lampiran 5. Hasil pengujian pada frekuensi 5000Hz.....	40



DAFTAR NOTASI

Singkatan	Arti Keterangan
DC	<i>Direct Current</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
OP-AMP	<i>Operational Amplifier</i>
IC	<i>Integrated Circuit</i>
PMDC	<i>Permanent Magnet Direct Current</i>
RAM	<i>Random-access memory</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
Hz	<i>Hertz</i>
IGFET	<i>Insulated-Gate Fet</i>
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
DAC	<i>Digital Analog Converter</i>
PLC	<i>Program Logic Control</i>



BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini motor listrik telah menjadi salah satu penggerak utama yang paling signifikan. Motor listrik dibagi menjadi dua kategori berdasarkan sumber tegangan yang digunakan, yaitu motor arus searah (DC) dan motor arus bolak-balik (AC) [1]. Masing-masing kategori motor tersebut memiliki kelebihan dan juga kekurangan. Salah satu kelebihan dari motor DC sendiri adalah lebih mudah dalam pengaturan kecepatannya dibandingkan motor AC. Oleh karena kelebihan tersebut, motor DC saat ini masih banyak dipergunakan dalam teknologi kendali baik di industri maupun di rumah tangga [2].

Motor *Direct Current* (DC) merupakan motor listrik yang menggunakan tegangan DC untuk mengubah daya listrik menjadi daya mekanis [3]. Motor ini sangat tepat digunakan untuk daya rendah dan sangat presisi, hal ini dikarenakan fitur yang menarik seperti efektivitas biaya, karakteristik torsi kecepatan yang baik serta kemudahan dalam pengontrolannya [4]. Pada sebagian besar aplikasi, pengaturan kecepatan motor DC sangat penting terutama dalam aplikasi yang membutuhkan kontrol yang tepat, perlindungan yang dapat diandalkan serta pengoperasian yang *fleksibel* [5].

Salah satu sistem pengontrolan kecepatan putaran motor DC dapat dilakukan dengan cara *Pulse Width Modulation* (PWM). PWM merupakan sebuah cara untuk memanipulasi lebar pulsa dalam satu waktu [6]. Daya yang disuplai ke motor dapat dikontrol dengan memvariasikan lebar pulsa PWM yang diterapkan dan dengan demikian memvariasikan tegangan DC rata-rata yang diterapkan ke terminal motor [7]. Dengan mengubah waktu pulsa, kecepatan motor dapat dikontrol. Semakin lama waktu pulsa “ON” (*duty cycle*), maka semakin cepat motor berputar dan sebaliknya, semakin pendek waktu pulsa “ON” (*duty cycle*) maka semakin lambat motor berputar. Mikrokontroler telah digunakan untuk mengontrol kecepatan motor DC karena biayanya yang rendah dan juga penggunaan perangkat keras tambahan seperti penggunaan *timer*, RAM dan ROM [8].

Pada penelitian ini yang berjudul “Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan PWM” bertujuan untuk merancang alat dan menganalisa kecepatan Motor DC menggunakan metode yang berbasis PWM. Hasil dari penelitian ini akan memperhatikan cara pengendalian Motor DC menggunakan PWM. Selain itu juga menganalisa pengaruh kecepatan motor DC terhadap *Duty Cycle* dan juga pengaruh kecepatan motor DC terhadap frekuensi PWM.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara mengendalikan kecepatan motor DC menggunakan PWM?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan motor DC terhadap *Duty Cycle*?
3. Bagaimana pengaruh kecepatan motor DC terhadap frekuensi PWM?

1.3. Batasan Masalah

1. Tegangan nominal Motor DC adalah 12 Volt.
2. Sinyal PWM dibangkitkan dari komparasi gelombang segitiga dan gelombang persegi menggunakan OP-AMP.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah merancang pengendalian kecepatan motor DC menggunakan PWM.

1.5. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam pemahaman mengenai isi laporan tugas akhir, maka laporan ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I: PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, Rumusan masalah, Batasan masalah, serta maksud dan tujuan dari penelitian yang dilakukan serta sistematika penulisan dari laporan hasil penelitian.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini tujuan Tinjauan Pustaka diuraikan sumber bacaan mengenai perancangan, teori-teori baik dari buku-buku, jurnal dan hasil-hasil

penelitian yang relevan dengan permasalahan dan tujuan penelitian yang diangkat dalam skripsi.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang rencana dan prosedur penelitian yang dilakukan oleh penulis untuk memperoleh jawaban yang sesuai dengan permasalahan dan tujuan penelitian. Diantaranya penjelasan lokasi penelitian, data penelitian, metode analisis data serta bagan alir penelitian.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

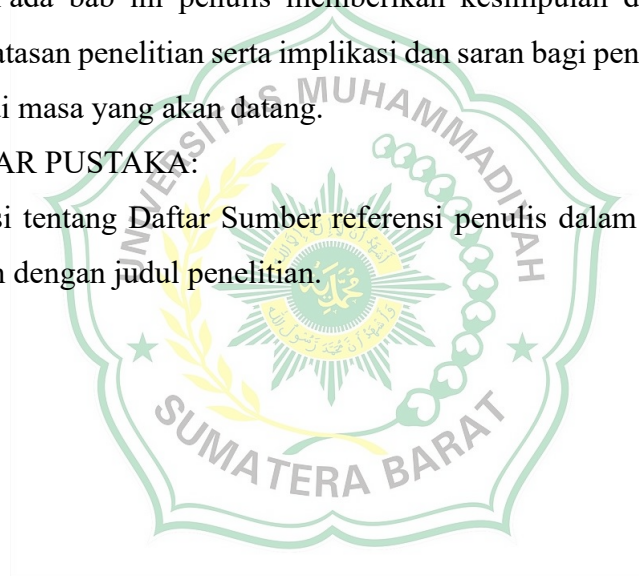
Bab ini menjelaskan tentang hasil dari penelitian, alat dan perhitungan serta pembahasan terkait judul penelitian.

BAB V: PENUTUP

Pada bab ini penulis memberikan kesimpulan dari hasil penelitian, keterbatasan penelitian serta implikasi dan saran bagi peneliti pada topik yang sama di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA:

Berisi tentang Daftar Sumber referensi penulis dalam memilih teori yang relevan dengan judul penelitian.



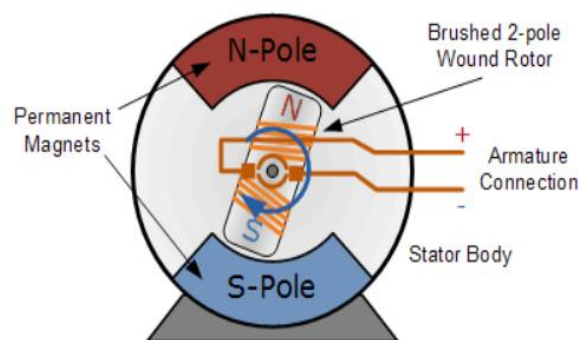
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor DC

Motor DC pada dasarnya terdiri dari dua bagian, badan motor yang tidak bergerak yang disebut "Stator" dan bagian dalam yang berputar menghasilkan gerakan yang disebut "Rotor". Untuk mesin DC, rotor biasanya disebut "*Armature*". Umumnya pada motor DC tugas ringan kecil, stator terdiri dari sepasang magnet permanen tetap yang menghasilkan fluks magnet yang seragam dan tidak bergerak di dalam motor sehingga motor jenis ini dinamakan motor "magnet permanen arus searah" (PMDC).

Armature motor terdiri dari kumparan listrik individu yang dihubungkan bersama dalam konfigurasi melingkar di sekitar bodi logamnya yang menghasilkan Kutub Utara, kemudian Kutub Selatan, kemudian Kutub Utara dan seterusnya. Arus yang mengalir di dalam kumparan rotor ini menghasilkan medan elektromagnetik yang diperlukan. Medan magnet melingkar yang dihasilkan oleh belitan anker menghasilkan kutub utara dan selatan di sekitar anker yang ditolak atau ditarik oleh magnet permanen stator yang menghasilkan gerakan rotasi di sekitar sumbu pusat motor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1:

2-Pole Permanent Magnet Motor



Gambar 2.1. Motor DC

Saat dinamo berputar, arus listrik dialirkan dari terminal motor ke rangkaian belitan dinamo berikutnya melalui sikat karbon yang terletak di sekitar komutator yang menghasilkan medan magnet lain dan setiap kali dinamo berputar, rangkaian belitan dinamo baru diberi energi yang memaksa dinamo berputar lebih dan lebih

dan seterusnya. Kecepatan putaran Motor DC tergantung pada interaksi antara dua medan magnet. Satu diatur oleh magnet permanen stator yang tidak bergerak dan yang lainnya oleh elektromagnet yang berputar di angker dan dengan mengontrol interaksi ini dapat mengontrol kecepatan putaran.

Medan magnet yang dihasilkan oleh magnet permanen stator adalah tetap dan oleh karena itu, tidak dapat diubah tetapi jika kita mengubah kekuatan medan elektromagnetik angker dengan mengontrol arus yang mengalir melalui belitan, lebih banyak atau lebih sedikit *fluks* magnetik yang akan dihasilkan sehingga menghasilkan interaksi yang lebih kuat atau lebih lemah dan oleh karena itu kecepatan yang lebih cepat atau lebih lambat.

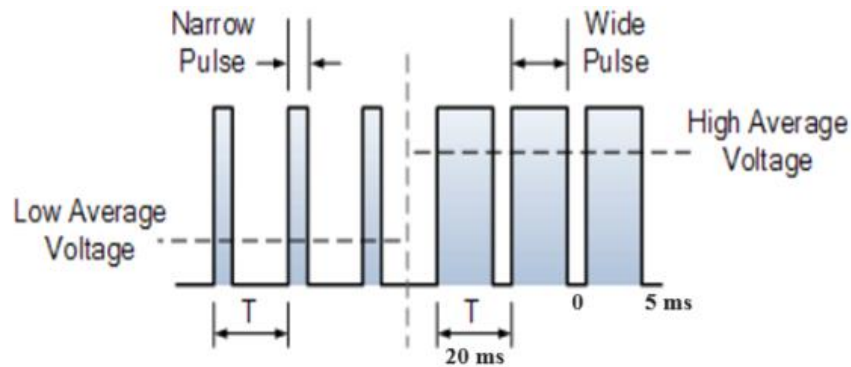
Banyak orang yang mencoba mengontrol kecepatan Motor DC menggunakan resistor variabel besar (*Rheostat*) secara seri dengan motor seperti yang ditunjukkan. Meskipun hal ini dapat berhasil, seperti yang terjadi pada balap mobil *slot Scalextric*, hal ini menghasilkan banyak panas dan daya yang terbuang pada hambatan. Salah satu cara yang sederhana dan mudah untuk mengontrol kecepatan motor adalah dengan mengatur jumlah tegangan pada terminalnya dan hal ini dapat dicapai dengan menggunakan "Modulasi Lebar Pulsa" atau PWM.

Kontrol kecepatan modulasi lebar pulsa bekerja dengan menggerakkan motor dengan serangkaian pulsa "ON-OFF" dan memvariasikan siklus kerja, fraksi waktu ketika tegangan *output* "ON" dibandingkan dengan ketika "OFF", dari pulsa-pulsa tersebut sambil menjaga frekuensinya tetap konstan. Daya yang diberikan ke motor dapat dikontrol dengan memvariasikan lebar pulsa yang diberikan dan dengan demikian memvariasikan tegangan DC rata-rata yang diberikan ke terminal motor. Dengan mengubah atau memodulasi waktu pulsa ini, kecepatan motor dapat dikontrol, yaitu semakin lama pulsa "ON", semakin cepat motor akan berputar dan juga, semakin pendek pulsa "ON" semakin lambat motor akan berputar [9].

2.2. PWM (*Pulse Width Modulation*)

Penggunaan modulasi lebar pulsa untuk mengontrol motor kecil memiliki keuntungan karena kehilangan daya pada transistor *switching* kecil karena transistor sepenuhnya "ON" atau sepenuhnya "OFF". Akibatnya, transistor *switching* memiliki disipasi daya yang jauh lebih kecil sehingga memberikan jenis kontrol

linier yang menghasilkan tabilitas kecepatan yang lebih baik. Gambar PWM akan di tunjukkan pada Gambar 2.2:



Gambar 2.2. PWM

Gambar diatas dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\text{Duty cycle} = \frac{on}{T}$$

Pada gambar 2.2 PWM diatas, nilai :

F = frekuensi

T= 20 ms

On = 5ms

Dari nilai yang telah diketahui tersebut dapat dihitung *duty cycle* sebagai berikut :

$$f = \frac{1}{0,02} = 50$$

$$\text{Duty cycle} = \frac{5ms}{20ms} \cdot 100\% = 25\%$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa *duty cycle* adalah 25% dan frekuensi 50 Hz

2.2.1. Penjelasan PWM

Perangkat beban dirancang untuk bekerja secara efisien dan melakukan tugasnya masing-masing ketika diberikan tegangan tertentu, dengan mengkonsumsi jumlah arus tertentu. Untuk mengubah parameter beban, tegangan dapat diturunkan, tetapi hal ini sering kali memiliki efek negatif, seperti menurunkan torsi motor atau menurunkan tegangan di bawah level bias maju dari rangkaian transistor atau LED. Untuk memberikan kontrol

variabel tanpa mengorbankan kemampuan operasi, diperlukan metode yang berbeda.

Sinyal PWM, atau 'modulasi lebar pulsa' digunakan untuk mengurangi daya listrik yang dipasok ke perangkat listrik dengan menyalakan dan mematikan sinyal pada frekuensi tinggi. Seiring dengan bertambah atau berkurangnya waktu relatif dari sinyal, demikian pula dengan tegangan rata-rata sinyal. Tegangan rata-rata ini memberikan daya yang setara dengan daya yang lebih rendah, namun tetap mempertahankan tegangan penuh untuk durasi *on-state* pulsa. Dua parameter utama mengontrol sinyal PWM frekuensi peralihan, dan durasi relatif dari waktu aktif, yang disebut 'siklus kerja'.

2.2.2. Membuat Sinyal PWM

Membuat sinyal PWM akan bergantung sepenuhnya pada perangkat yang menghasilkan sinyal. Jika menggunakan PLC (*Program Logic Control*) dengan kartu output PWM yang ditentukan harus memberikan nilai frekuensi dan siklus kerja ke kartu melalui teknologi bus lapangan yang dipilih. Beberapa PLC mungkin memiliki blok fungsi yang disediakan pemasok yang akan memiliki parameter yang perlu diatur sebelum operasi.

Beberapa pengontrol motor akan menerima nilai analog dalam bentuk 0-10 volt atau 4-20 mA yang akan diskalakan untuk menghasilkan siklus kerja mulai dari 0-100%. Mikrokontroler seperti Arduino menggunakan *output* digitalnya untuk memberikan sinyal PWM, cukup dengan menulis perintah output dengan argument antara 0 dan 255 yang mewakili rentang siklus kerja penuh.

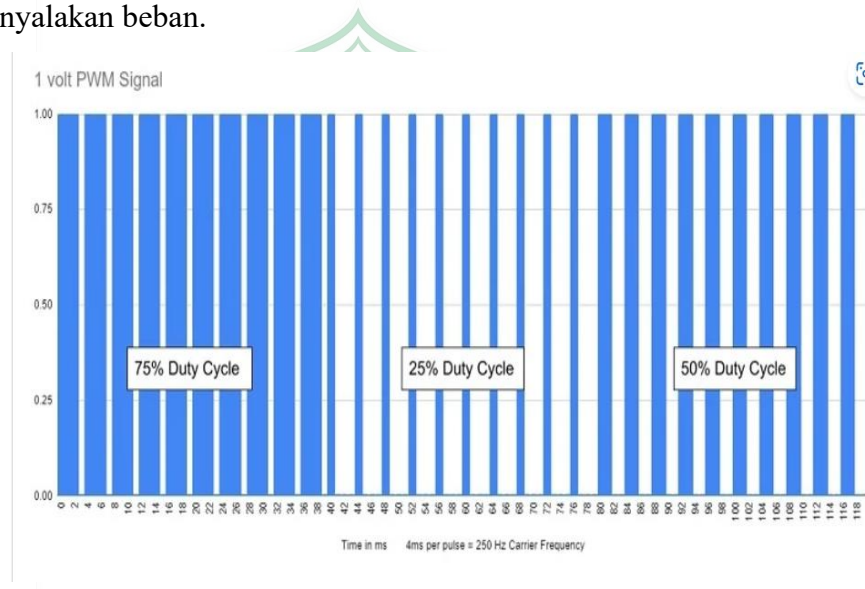
2.2.3. Frekuensi Pembawa PWM

Kecepatan pengalihan atau frekuensi pulsa tergantung pada perangkat beban yang menggunakan sinyal. Untuk pemanas listrik atau motor, frekuensinya bisa sangat lambat, mungkin dalam puluhan hingga ratusan Hz. Tetapi untuk perangkat *solid state* seperti relai atau LED, frekuensinya

mungkin harus jauh lebih tinggi lagi mungkin puluhan ribu hertz. Faktor penentu utama adalah tingkat respons perangkat beban.

2.2.4. Siklus Tugas PWM

Siklus kerja sinyal PWM adalah jumlah relatif waktu sinyal akan menyala dan dinyatakan sebagai persentase. Jika siklus kerja 100%, sinyal akan menyala sepanjang waktu. Jika diturunkan menjadi 50%, sinyal akan menyala selama setengah dari pulsa dan mati untuk setengah lainnya. Saat mengendalikan motor atau pemanas harus menggunakan siklus kerja untuk menentukan daya. Jika pengontrol PWM mengeluarkan tegangan 12 volt DC, maka siklus kerja 50% akan memberikan setara dengan 6 volt DC untuk menyalakan beban.



Gambar 2.3. Siklus Tugas PWM

2.2.5. PWM untuk Kontrol Kecepatan Motor DC

Salah satu teknik untuk mengatur kecepatan motor DC yang umum digunakan adalah dengan menggunakan PWM yang bisa mengatur kecepatan yang diinginkan dengan mudah. Teknik PWM untuk pengaturan kecepatan motor adalah, pengaturan kecepatan motor dengan cara merubah rubah besarnya *duty cycle* pulsa. Pulsa yang berubah ubah *duty cycle* perbandingan $\frac{on}{T}$ inilah yang menentukan kecepatan motor. Tegangan dapat diubah dengan menaikkan resistansi seri dalam rangkaian listrik, yang pada

gilirannya menurunkan arus yang melalui motor. Perubahan tegangan ini dapat dilakukan dengan resistor seri, *potensio* meter, atau *rheostat*. Meskipun perangkat ini mungkin efektif untuk perubahan tegangan yang kecil, daya dan torsi motor akan berkurang seiring dengan turunnya arus. Selain itu, resistensi yang signifikan dari perangkat ini dapat menghasilkan banyak panas yang dapat menyebabkan kerusakan pada perangkat lain di dalam sistem kelistrikan.

Cara yang lebih efisien untuk memvariasikan tegangan adalah dengan menggunakan pengontrol PWM. Perangkat ini menggunakan *input* analog yang diubah menjadi siklus kerja 0-100% menggunakan tegangan pengenal perangkat. Kadang-kadang perangkat ini akan memiliki tegangan *input* tetap tetapi akan menggerakkan relai *solid state* yang memungkinkan pengguna untuk menyediakan sirkuit tambahan untuk menggerakkan motor menggunakan tegangan apa pun yang sesuai untuk motor. Alasan sinyal PWM efektif untuk motor adalah karena inersia motor yang berputar. Ketika sinyal menjadi rendah, motor masih berputar dan memiliki inersia yang cukup untuk menghasilkan torsi selama sepersekian detik saat tegangan nol. Peringatan: jika frekuensinya terlalu rendah, motor akan tampak melonjak karena secara fisik mulai mengejar tegangan yang berdenyut [9].

2.3. Pembangkit Sinyal Segitiga

Operational amplifier atau disingkat OP-AMP merupakan salah satu komponen analog yang populer digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronik. OP-AMP pada dasarnya adalah sebuah *differential amplifier* (penguat diferensial) yang memiliki dua masukan. OP-AMP sejenis IC, didalamnya terdapat suatu rangkaian elektronik yang terdiri atas beberapa transistor, resistor, dan atau dioda. Jika pada IC jenis ini ditambahkan suatu jenis rangkaian, masukan dan suatu jenis rangkaian umpan balik, maka IC ini dapat dipakai untuk mengerjakan berbagai operasi matematika seperti menjumlah, mengurangi, membagi, mengali, mengintegrasikan dan sebagainya. Oleh karena itu IC jenis ini dinamakan penguat operasi atau *operational amplifier*. Namun demikian, OP-AMP

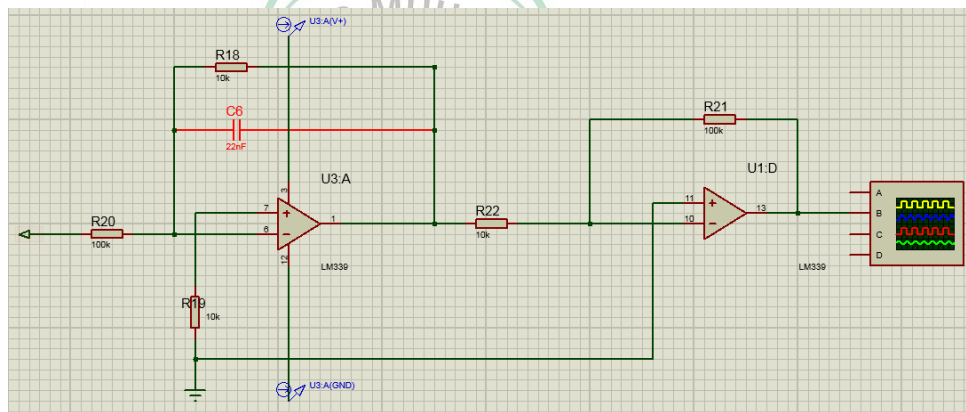
dapat pula dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, misalnya sebagai *amplifier*, penguat radio, pengatur nada, osilator atau pembangkit gelombang, sensor *circuit*.

2.3.1. OP-AMP sebagai Pembangkit Gelombang Segitiga

Rangkaian pembangkit gelombang segitiga merupakan rangkaian OP-AMP sebagai komparator integrator. Pada integrator akan meloloskan sinyal rendah dan menahan sinyal segitiga sehingga gelombang persegi berubah bentuk menjadi gelombang segitiga.

2.3.2. Rangkaian Gelombang Segitiga

Sebelum membuat gelombang segitiga, sinus PWM dan pulsa harus dibuat dulu rangkaian OP-AMP sebagai pembangkit gelombang walaupun dalam bentuk yang tidak beraturan. Salah satu rangkian OP-AMP yang dapat membangkitkan gelombang seperti pada Gambar 2.4:

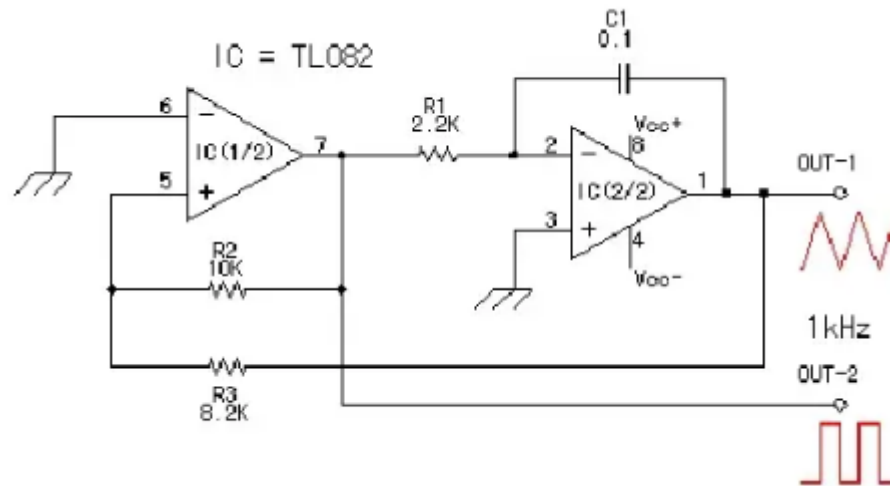


Gambar 2.4. Rangkaian Gelombang Segitiga

Rangkaian diatas merupakan rangkaian OP-AMP sebagai komperator yang dimodifikasi. Masukan *inverting* V_2 dan *non inverting* $V_1=0$ volt. Pada masukan *inverting* V_2 dipasang kapasitor polar yang berfungsi sebagai delay atau penunda waktu perbedaan tegangan antara V_1 dan V_2 . Pada masukan *ni=on inverting* V_1 dipasang potensiometer sebagai pengatur besar tegangan masukan V_1 dan juga sebagai pengatur besar penguatan OP-AMP.

Pada saat OP-AMP dinyalakan maka prinsip komperator mulai berkerja dengan tegangan masukan $V_1 > V_2$ karena pada masukan V_2 mengisi kapasitor lebih dahulu atau tegangan keluaran op-amp tinggi, setelah muatan kapasitor penuh, maka tegangan keluaran OP-AMP menjadi rendah.

Potensiometer pada rangkaian diatas juga berfungsi untuk mengatur lama perbandingan tegangan V_1 dan V_2 yang berpengaruh pada frekuensi gelombang yang dibuat. Bentuk gelombang tidak berbentuk persegi atau pulsa karena pada gradiasi atau *ripple* pengaruh waktu terhadap pengisian muatan kapasitor tidak membutuhkan waktu.



Gambar 2.5. Rangkaian Amplifier IC TL 082

Rangkaian pada Gambar 2.5 dibuat dengan *operational amplifier* IC TL082 yang disusun sebagai rangkaian *schmit trigger* dan rangkaian integrator. Rangkaian *scmith trigger* akan memberikan output berupa gelombang kotak sedangkan rangkaian integrator akan memberikan output berupa gelombang segitiga apabila diberikan *input* berupa gelombang kotak.

2.3.3. Frekuensi Osilasi Oscillator Gelombang Segitiga

Frekuensi kerja atau frekuensi osilasi rangkaian osilator gelombang segitiga ditentukan oleh waktu proses pengisian dan pengosongan oleh nilai pengosongan kapasitor (C_1), dimana proses pengisian dan pengosongan kapsitor (C_1) ditentukan oleh nilai kapsasitas C_1 resistansi R_1 dan R_3 . Frekuensi kerja rangkain osilator gelombang segitiga diatas dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$f = \frac{1}{4.C_1R_1} \left(\frac{R_2}{R_3} \right)$$

Pada rangkaian osilator gelombang segitga diatas, nilai:

$$C_1 = 100 \text{ nF}$$

$$R_1 = 2,2 \text{ kohm}$$

$$R_2 = 10 \text{ Kohm}$$

$$R_3 = 8,2 \text{ Kohm}$$

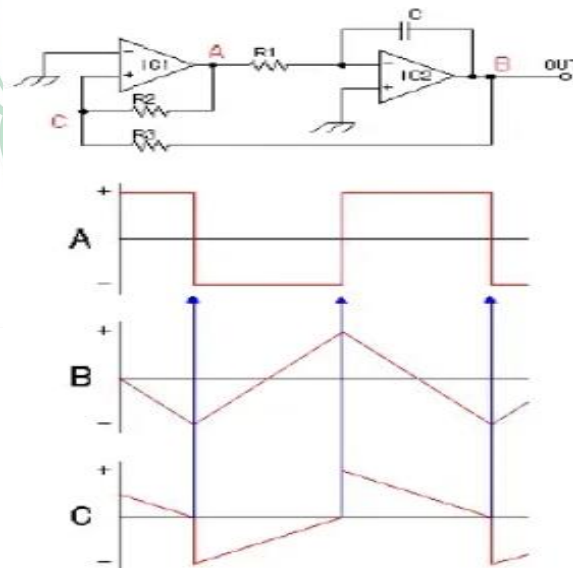
Dari nilai komponen yang telah diketahui tersebut dapat dihitung frekuensi kerja rangkaian osilator gelombang segitga sebagai berikut:

$$f = \frac{1}{4,0,1 * 10^{-6} \cdot 2,2 * 10^3} \left(\frac{10 * 10^3}{8,2 * 8,2 * 10^3} \right)$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa frekuensi kerja rangkaian osilator gelombang segitga diatas adalah 1386 Hz.

2.3.4. Prinsip Kerja Rangkaian *Oscillator* Gelombang Segitga

Untuk mempermudah dalam memahami, dapat dilihat Gambar 2.6 rangkaian dan bentuk gelombang *output* rangkaian osilator gelombang segitga berikut:



Gambar 2.6. Prinsip Kerja Rangkaian Osilator Gelombang Segitga

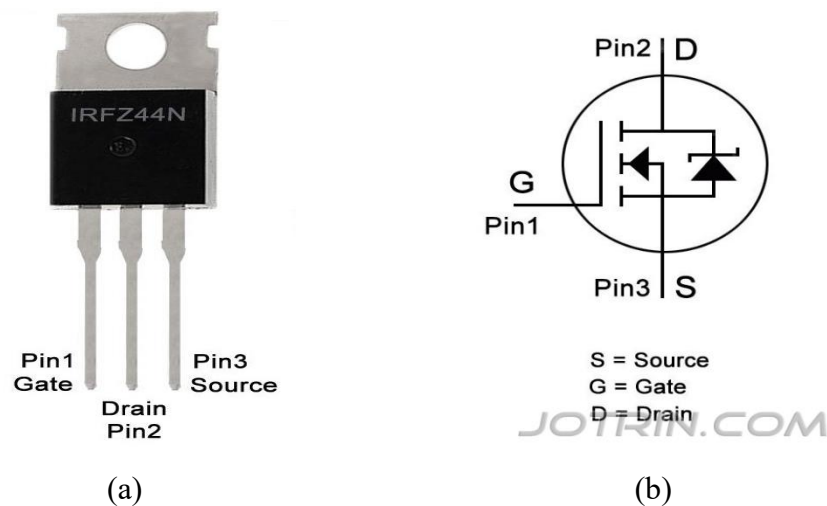
Pada saat tegangan sumber pertama kali diberikan pada rangkaian osilator gelombang segitga di atas *output* rangkaian *scmith trigger* akan berada pada kondisi jenuh positif atau negatif. Apabila diasumsikan kondisi *output* pada *output scmith trigger* adalah jenuh positif maka arus listrik

mengalir melalui kapasitor, melalui resistor ketika titik A kondisi jenuh positif tersebut. Ketika muatan listrik mulai menyimpan dikapasitor, tegangan dari kedua sisi dari kapasitor mulai naik. Karena jalur *inverting* dari IC2 adalah sekitar 0V, tegangan output (titik B) dari rangkaian integrator turun secara bertahap.

Tegangan pada titik C juga turun ketika tegangan dari titik B mulai turun. Persentase penurunan tergantung pada rasio resistor R2 dan R3. Ketika tegangan C turun di bawah 0V, tegangan *output* (titik A) *scmith trigger* berubah ke *minus* dengan cepat. Agar tegangan dari titik C turun di bawah 0V, dibutuhkan nilai $R2 > R3$. Kemudian aliran arus *reverse* dari kapasitor ketitik A melalui R1 resistor. Dengan kondisi ini, tegangan pada titik B naik secara bertahap. Ketika tegangan dari titik C melebihi 0V, *output* (titik A) *scmith* akan berubah mejadi positif dengan cepat sehingga membuat perubahan pada titik B ke arah negatif. Proses di atas berulang terus sehingga terbentuk sinyal *output* gelombang segitiga pada titik B (*output 1*) dan gelombang kotak pada titik A (*output 2*) pada rangkaian osilator gelombang di atas.

2.4. Mosfet

Mosfet merupakan singkatan dari *Metal Oxide Semikonduktor Field Effect Transistor* yang berarti sebuah perangkat semikonduktor yang digunakan sebagai *switch* dan penguat sinyal pada perangkat elektronik. Mosfet adalah inti dari sebuah IC (*Integrated Circuit*) yang didesain dan difabrikasi dengan *single chip* karena ukurannya yang sangat kecil. MOSFET memiliki empat kaki atau terminal antara lain *Source* (S), *Gate* (G), *Drain* (D) dan *Body* (B). Berikut pada Gambar 2.7 di bawah adalah gambar dan skematik MOSFET tipe IRF44Z-N .



Gambar 2.7. Mosfet IRFZ44N (a) Bentuk Fisik Mosfet (b) Bentuk Simbol Mosfet

Terminal atau elektroda gerbang MOSFET adalah sepotong logam yang permukaannya dioksidasi. Lapisan oksidasi ini berfungsi untuk menghambat aliran listrik antara terminal gerbang (*Gate*) dengan salurannya (*Source - Drain*). Oleh karena itu, MOSFET sering disebut dengan *Insulated-Gate FET* (IGFET). Bentuk fisik MOSFET seperti transistor. MOSFET berfungsi untuk mengatur lebar pulsa PWM, berikut pada Gambar 2.7 di bawah adalah gambar dan skematik MOSFET tipe N [10].

2.4.1. Cara Kerja Mosfet IRFZ44N

Mosfet bekerja secara elektronik dengan memvariasikan sepanjang jalur pembawa muatan listrik yaitu berupa elektron dan *hole*. Aliran listrik atau muatan listrik pada MOSFET akan masuk melalui terminal pada saluran *Source* (S) dan keluar melalui saluran *Drain* (D). Lebar saluran tersebut dikendalikan oleh tegangan yang terdapat pada terminal gerbang *Gate* (G) yang letaknya berada diantara terminal *Source* (S) dan *Drain* (D).

2.4.2. Karakteristik dan Kegunaan Mosfet IRFZ44N

Mosfet IRFZ44N adalah transistor daya tipe *N-Channel* dengan tegangan suplai maksimum tegangan 55V dan arus pengurusan kontinu 49A. Transistor ini mampu menangani arus dan tegangan tinggi, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang memerlukan kemampuan *switching* dan kontrol daya yang tinggi.

2.4.3. Kegunaan Mosfet IRFZ44N

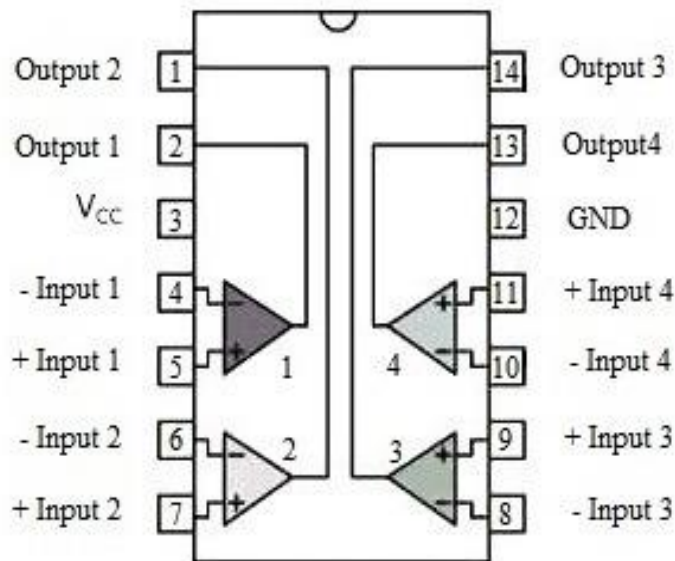
IRFZ44N digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk:

1. Kontrol Motor, karena kemampuannya menangani arus tinggi, Mosfet IRFZ44N sangat ideal untuk kontrol motor dalam aplikasi industri dan robot.
2. Pengonversi Daya Mosfet IRFZ44N digunakan dalam konverter daya untuk mengontrol aliran arus dan mengatur tegangan keluaran.

MOSFET daya adalah jenis transistor efek medan semikonduktor oksida logam yang digunakan untuk mengontrol arus dan tegangan dalam jumlah besar dalam aplikasi daya. Berbeda dengan transistor bipolar yang arusnya dikontrol, mosfet daya dikontrol tegangannya. Hal ini menjadikannya ideal untuk digunakan pada *amplifier* daya, catu daya *switching*, dan perangkat elektronik berdaya tinggi lainnya. Mosfet daya yang paling umum digunakan adalah IRFZ44N. Transistor ini memiliki fitur dan kegunaan khusus yang membuatnya populer dalam berbagai aplikasi [11].

2.5. IC LM339

Sebuah IC tersusun dari ratusan atau bahkan ribuan dioda, transistor dan komponen elektronik lain terangkai dan terpadu membentuk sebuah fungsi tertentu. Misalnya IC khusus pembanding tegangan, IC penghitung bilangan biner, IC, penambah (*adder*), IC *multiplexer-demultiplexer*, IC ADC (*Analog to Digital Converter*), DAC (*Digital to Analog*) dan lain-lain. Berikut adalah IC LM 339 yaitu IC yang mempunyai fungsi khusus sebagai komparator (pembanding tegangan), beserta rangkaian dalamnya. Fungsinya membandingkan tegangan input, di *input* “+” dan *input* “-” hasilnya akan ditampilkan di “*output*”.



Gambar 2.8. Rangkaian IC LM399

- **Pin1 (OUT)** : Pin keluaran dari komparator pertama.
- **Pin2 (OUT)** : Pin output dari komparator kedua.
- **Pin3 (VCC)** : Catu daya komparator.
- **Pin4 (IN-)** : Pin input negatif dari komparator kedua.
- **Pin5 (IN+)** : Pin input positif dari komparator kedua.
- **Pin6: (IN-)** : Masukan negatif dari pembanding pertama.
- **Pin7: (IN+)** : Pin positif dari pembanding pertama.
- **Pin8: (IN-)** : Pin negatif dari komparator ketiga.
- **Pin9: (IN+)** : Pin e positif dari pembanding ketiga.
- **Pin10: (IN-)** : Pin negatif dari pembanding keempat.
- **Pin11: (IN+)** : Pin input positif dari komparator keempat.
- **Pin12: (GND)**: Pin ground
- **Pin13: (OUT)**: Pin keluaran dari komparator keempat.
- **Pin14: (OUT)** : Pin keluaran dari komparator ketiga.

IC LM339 merupakan komparator yang mempunyai empat buah OP-AMP komparator dalam 1 chip IC LM339 memiliki 14 pin yang terdiri dari 1 *pin ground*, 1 *positive supply*, 4 *output*, 4 *inverting input* dan 4 *non inverting input*. Fungsi dari IC LM339 yaitu digunakan untuk membandingkan antara tegangan masukan dengan tegangan referensi.

Suatu komparator memiliki dua masukan yang terdiri atas tegangan *input* (V_{in}) dan tegangan *reference* (V_{ref}) serta satu keluaran yaitu tegangan *output* (V_{out}). Pada prinsip kerjanya, sebuah rangkaian komparator pada OP-AMP akan membandingkan tegangan yang masuk pada satu saluran *input* dengan tegangan pada saluran *input* lain, yang disebut tegangan referensi. Tegangan *output* berupa tegangan *high* atau *low* sesuai dengan perbandingan V_{in} dan V_{ref} .



BAB III. KONSEP PERANCANGAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dan pembuatan tugas akhir ini penulis lakukan tepatnya di Kampus III Bukittinggi Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat. Penelitian dan pembuatan tugas akhir ini dilakukan mulai bulan November 2023 sampai bulan Februari 2024.

3.2. Peralatan dan Bahan

alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

3.2.1. Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Laptop
2. *Kid Cad*
3. *Power Supply*
4. *Osciloskop*
5. Multimeter
6. Obeng plus dan minus
7. Tang Kombinasi
8. Tang Potong
9. Tang Kupas
10. Solder
11. Aki 12 V
12. Motor DC

3.2.2. Bahan

Bahan yang kita perlukan untuk pengerjaan tugas akhir ini disebutkan sebagai berikut :

1. Papan PCB

2. Resistor
3. Kapasitor
4. Semikonduktor
5. Terminal
6. Kabel
7. Pin *Header*
8. LED
9. Mosfet
10. Timah Solder
11. Pasta Solder

3.3. Prosedur Penelitian

Perancangan tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan diantaranya yaitu :

3.3.1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap pengumpulan referensi dan literatur dari berbagai sumber terpercaya yang akan dijadikan sebagai pedoman dalam perancangan dan pembuatan alat. Referensi tersebut akan dipelajari untuk merangkai komponen serta metode yang akan berhubungan dengan perancangan dan pembuatan alat dalam penelitian. Prosedur ini bertujuan agar memperoleh hasil yang maksimal dan sesuai dengan prinsip kerja yang telah dilihat dan dipelajari terhadap referensi yang ada, lalu melakukan pemasangan komponen yang digunakan dalam perancangan alat.

3.3.2. Perancangan Rangkaian

Skema rangkaian disusun menggunakan *software Ki Cad 7. Schematic Editor* merupakan fitur yang digunakan agar dapat merancang skema rangkaian yang akan digunakan pada modul PCB. Rangkaian elektronik disusun sesuai referensi dari literatur yang telah dipelajari sebelumnya. *Schematic Editor* memiliki berbagai macam komponen yang dibutuhkan, sehingga dapat memudahkan pada proses pembuatan skema rangkaian.

3.3.3. Merancang PCB

Skema rangkaian elektronika yang telah dibuat menggunakan *Software Ki cad* pada fitur *Schematic Editor*, selanjutnya dipindahkan pada fitur *PCB Editor*. Komponen elektronik yang digunakan dapat dihubungkan dengan rangkaian tembaga pada PCB (*Printed Circuit Board*). PCB merupakan platform berbahan dasar isolator dengan jalur tembaga pada bagian permukaan. Penggunaan PCB sangat mempermudah dalam pemasangan dan perawatan dari rangkaian elektronik.

PCB Editor merupakan *software* yang digunakan untuk menyusun skema rangkaian, penyusunan posisi, ukuran kaki dan mengubah bentuk komponen yang diperlukan dari komponen elektronik yang akan digunakan. Rangkaian komponen yang telah terlihat rapi dan tidak ada jalur yang salah terkoneksi terhadap komponen lainnya, bisa langsung melakukan pencetakan *Board PCB*.

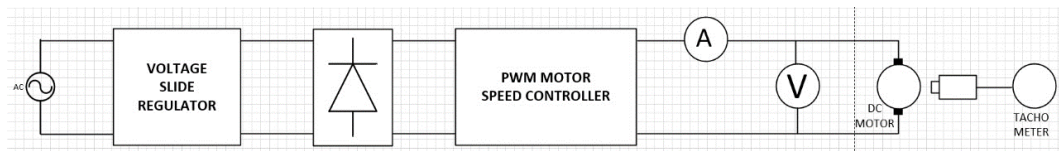
3.3.4. Pemasangan Komponen

Pemasangan komponen pada papan PCB yang telah dicetak harus dipasang sesuai skema rangkaian PCB yang telah dibuat sebelumnya. Ketelitian sangat diperlukan dalam pemasangan komponen elektronika, agar tidak terjadinya penebalan atau terlalu tipisnya solderan pada kaki komponen. Nilai komponen yang dipasang harus sesuai dengan skema rangkaian yang dibuat agar tidak terjadi kesalahan saat pengujian nantinya.

Tebalnya penyolderan pada kaki komponen membuat solderan pada papan PCB tidak terlihat rapi dan akan sulit apabila akan melakukan penggantian komponen. Solderan yang terlalu tipis juga dapat menyebabkan rangkaian tidak terhubung pada *line* tembaga pada PCB sehingga komponen tidak berfungsi. Solder yang terlalu panas pada saat pemanasan timah juga dapat merusak komponen yang dipasang karena panasnya solder dapat merusak komponen.

3.3.5. Pengujian

Alat yang telah dibuat harus dilakukan pengujian untuk memastikan alat tersebut berfungsi sebagaimana mestinya. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan dengan sumber tegangan DC ke pengendali kecepatan motor. Kemudian pengendali kecepatan motor dihubungkan dengan motor DC. Selain itu peralatan pengukur arus, tegangan, dan kecepatan juga dipasangkan, agar diperoleh nilai masing-masing parameter tersebut. Rangkaian pengujian akan dirangkai pada trainer yang ada di laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat. Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.

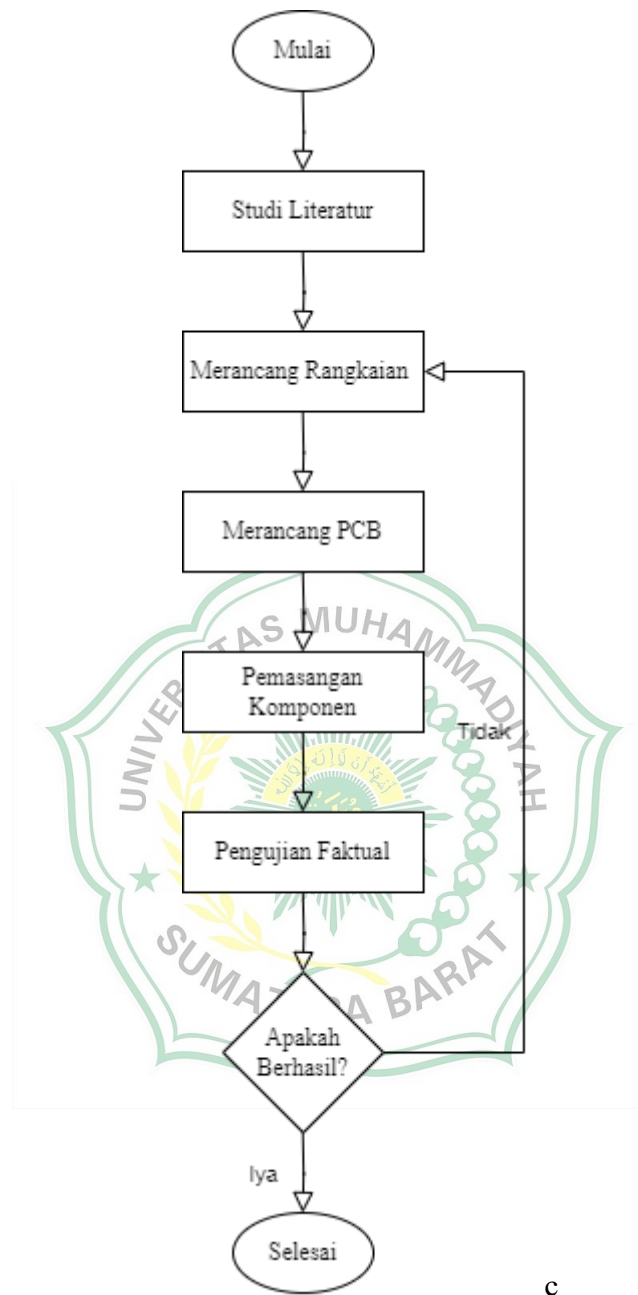


Gambar 3.1. Skema Pengujian

Parameter-parameter yang akan diamati pada tahapan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Perubahan kecepatan terhadap perubahan *duty cycle* pada frekuensi PWM yang bervariasi.
2. Perubahan daya *input* motor terhadap perubahan *duty cycle* pada frekuensi PWM yang bervariasi.

3.4. Diagram Alir Penelitian



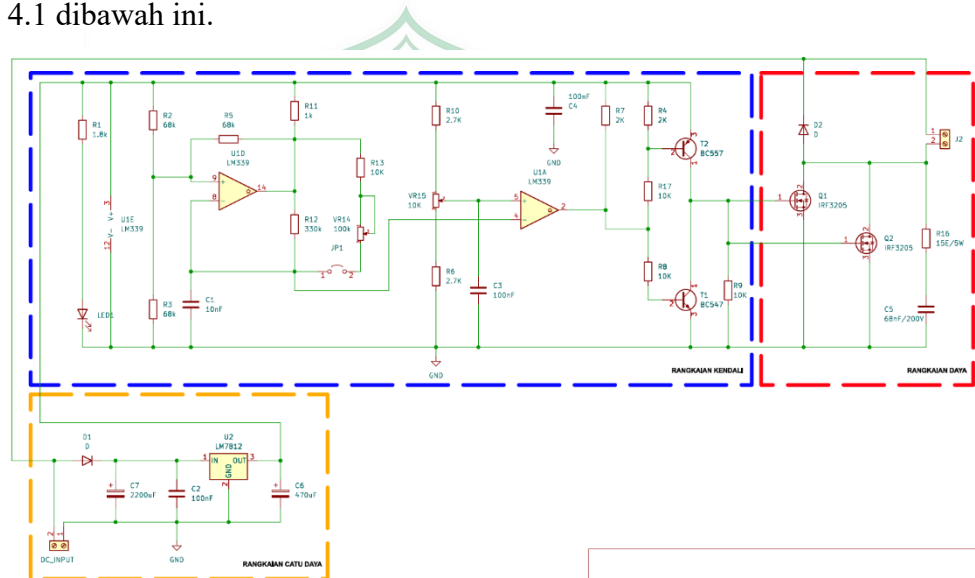
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1. Hasil Rancangan Skematik

Hasil perancangan skematik mengacu pada gambar rangkaian yang terdiri dari beberapa bagian, yaitu : Rangkaian catu daya, rangkaian control, rangkaian daya. Rangkaian catu daya berfungsi untuk mensuplai tegangan untuk rangkaian kontrol. Rangkaian kontrol berfungsi mengatur output PWM untuk MOSFET. Rangkaian Daya merupakan sumber l daya listrik utama Motor DC. Hasil perancangan skematik ditunjukkan pada Gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1. Skematik pada aplikasi *Kid Cad*

Rincian komponen dan nilai masing-masing komponen yang digunakan pada skematik diuraikan pada Tabel 4.1.

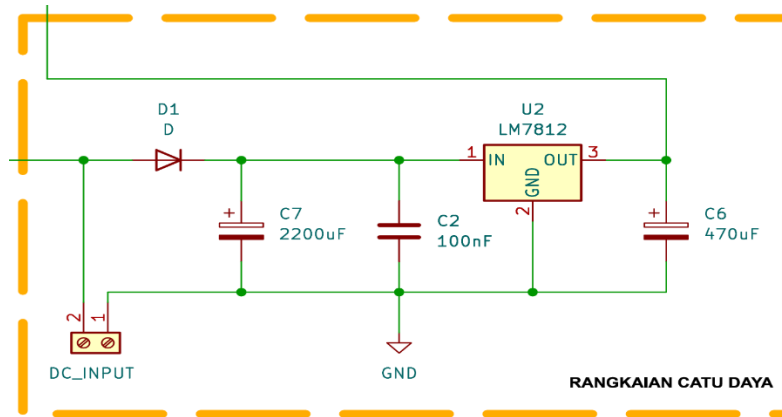
Tabel 4.1. Rincian Komponen

REF	KOMPONEN	NILAI	JUMLAH
C1	Kapasitor <i>Non Polar</i>	10nF	1
C2	Kapasitor <i>Non Polar</i>	100nF	1
C3	Kapasitor <i>Non Polar</i>	100nF	1
C4	Kapasitor <i>Non Polar</i>	100nF	1

C5	Kapasitor <i>Non Polar</i>	68nF/200V	1
C6	Kapasitor <i>Polar</i>	470uF	1
C7	Kapasitor <i>Polar</i>	2200uF	1
D1, D2	Dioda	D	2
D2	Dioda	D	1
J2	<i>Screw_Terminal_01x02</i>	2P	1
JP1	<i>Pin Header</i>	2P	1
LED1	LED		1
Q1, Q2	MOSFET	IRF3205	2
R1	Resistor	1.8k	1
R2, R3, R5	Resistor	68k	3
R4, R7	Resistor	2K	2
R6, R10	Resistor	2.7K	2
R8, R9, R13, R17	Resistor	10K	4
R11	Resistor	1k	1
R12	Resistor	330k	1
R16	Resistor	15E/5W	1
T1	BC547	BC547	1
T2	BC557	BC557	1
U1	LM339	LM339	1
U2	L7812	L7812	1
VR14	Resistor Variabel	100k	1
VR15	Resistor Variabel	10K	1

1. Rincian Catu Daya

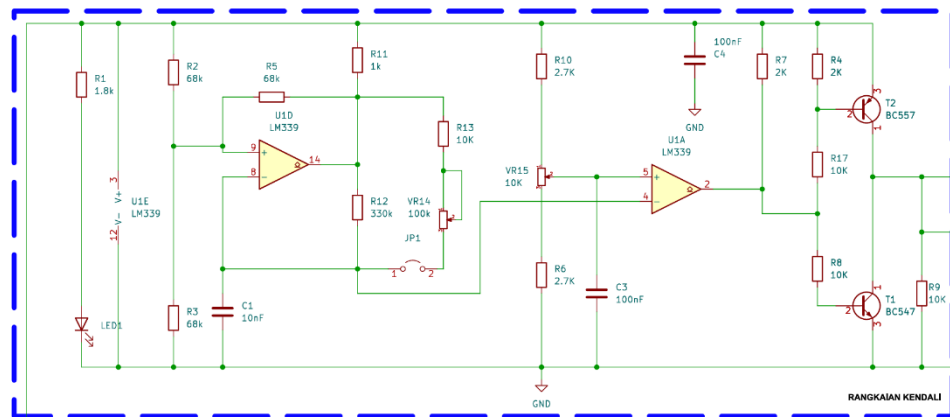
Rangkaian catu daya menggunakan IC Regulator LM7812 yang mengatur tegangan keluaran tetap sebesar 12V. Dimana tegangan yang diberikan pada pengendali kecepatan motor tersebut ada pada rentang 12 V - 24 V. Skema rangkaian catu daya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2. Rangkaian Catu Daya

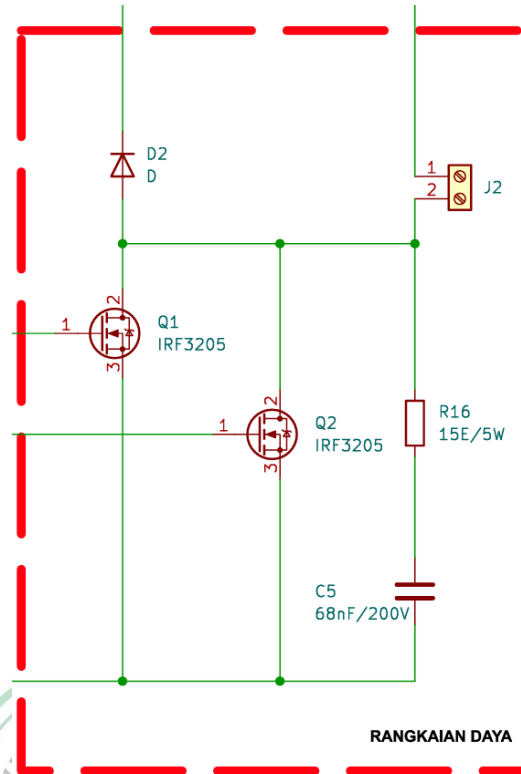
2. Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol akan menghasilkan sinyal PWM yang bervariasi untuk pensaklaran MOSFET. Nilai PWM diperoleh dari komparasi sinyal segitiga yang bervariasi dan sinyal PWM dengan frekuensi tetap. Proses tersebut dilakukan menggunakan IC OP-AMP LM339. Pengaturan frekuensi PWM dan *duty cycle* dilakukan menggunakan variable resistor. Keluaran sinyal PWM dari komparator diperkuat terlebih dahulu menggunakan transistor BC547 dan BC567. Keluaran dari transistor tersebut akan digunakan sebagai *trigger* pada MOSFET. Skematik rangkaian kontrol seperti yang terlihat pada Gambar 4.3 dibawah.



Gambar 4.3. Rangkaian Kontrol

3. Rangkaian Daya

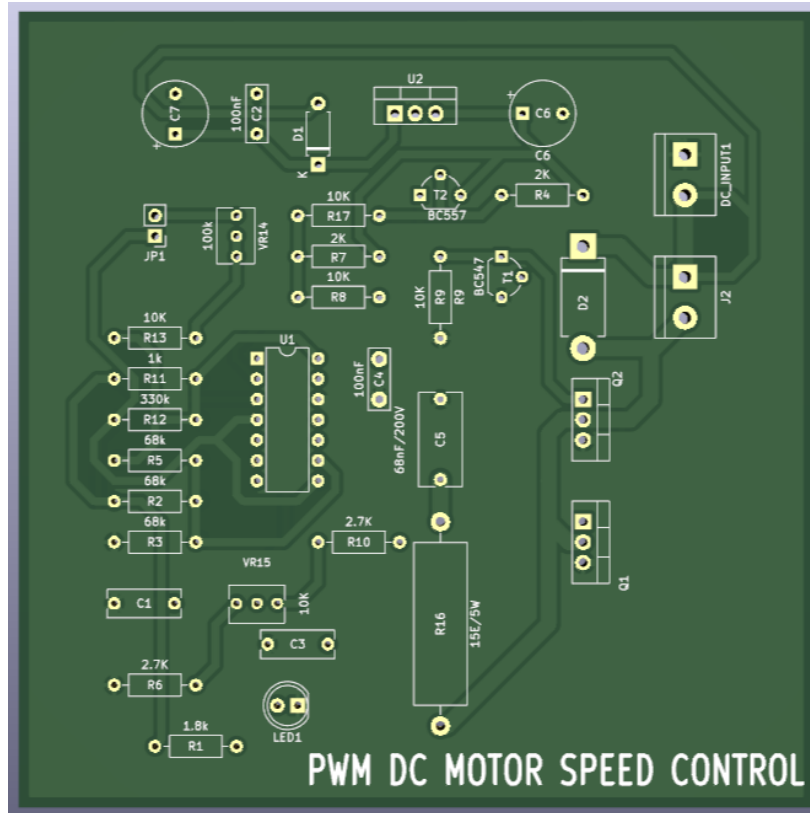


Gambar 4.4. Rangkaian Daya

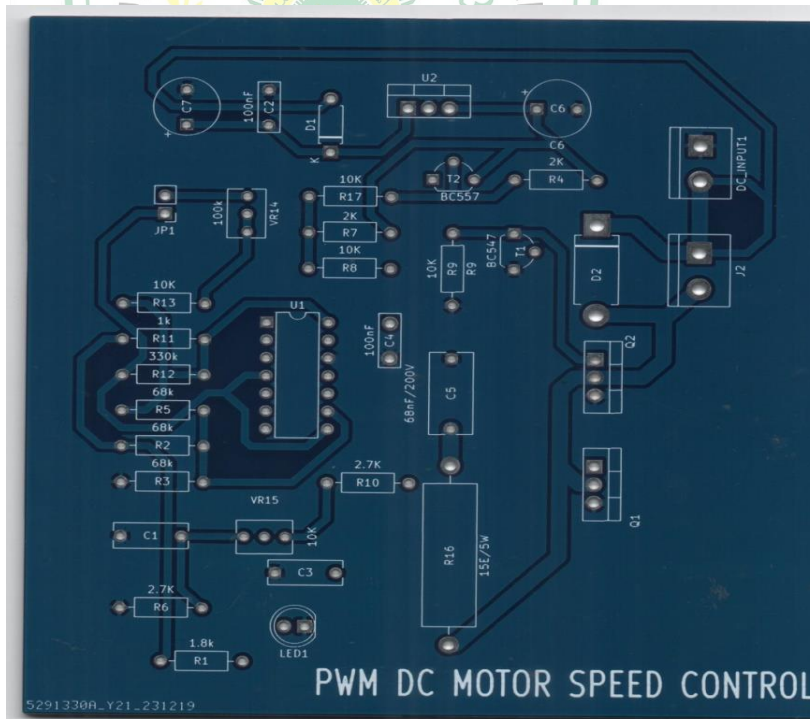
Rangkaian daya berfungsi sebagai sumber daya pada motor DC. Pengaturan kecepatan diperoleh dari pensaklaran pada terminal negatif motor DC. Pensaklaran tersebut menggunakan 2 buah MOSFET IRFZ44N. Untuk mengatasi *transient over voltage* saat proses *switching*, rangkaian snubber (RC seri) dihubungkan secara paralel dengan MOSFET. Disamping itu untuk keperluan proteksi tegangan balik, digunakan dioda dengan pemasangan bias mundur. Skematik rangkaian kontrol seperti yang terlihat pada Gambar 4.4 Rangkaian Kontrol.

4.1.2. Hasil Rancangan PCB

Perancangan PCB dilakukan menggunakan software KiCAD. Hasil perancangan *layout* dan PCB ditunjukkan oleh Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



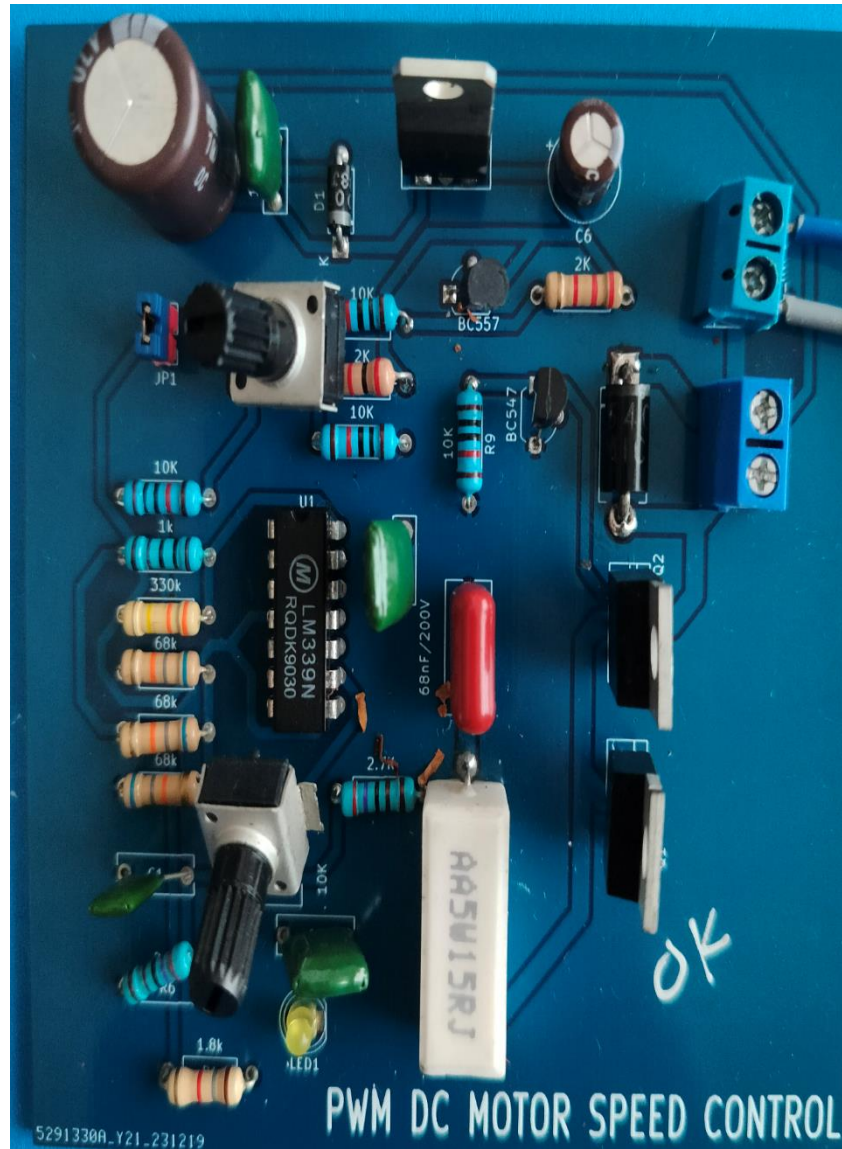
Gambar 4.5. Hasil Rancangan PCB



Gambar 4.6. Skema Rangkaian PCB

4.1.3. Hasil Pemasangan Komponen pada PCB

Setelah *layout* PCB dipesan, selanjutnya memasang komponen yang dibutuhkan dan solder, seperti Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Hasil pemasangan komponen pada PCB

4.1.4. Motor DC

Sesuai dengan Batasan masalah, penulis menggunakan Motor DC. Berikut spesifikasi Motor DC yang digunakan



Gambar 4. 8. Spesifikasi Motor DC

Spesifikasi :

Bahan : Aluminium

Berat : 1905g

Daya : 250 W

Tegangan : 24V

Nilai Kecepatan : 2750 RPM

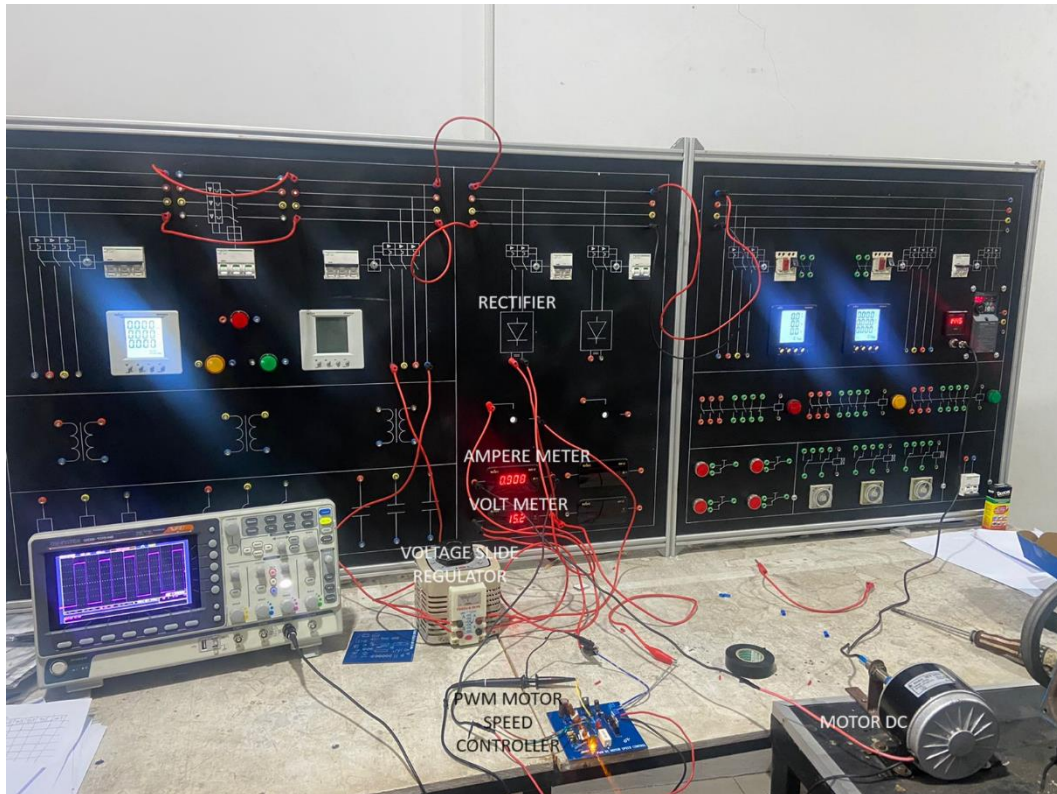
Nilai Arus : 14 *Ampere*

4.2. Pengujian

Pengujian dilakukan berdasarkan uraian dari metodologi. Pengujian dilakukan pada frekuensi PWM bervariasi, yaitu :

1. 1000 Hz
2. 2000 Hz
3. 2500 Hz
4. 4000 Hz
5. 5000 Hz

Masing-masing frekuensi diatas akan dilakukan perubahan *duty cycle* mulai dari 10% sampai 100%, dengan tahapan kenaikan 10%. Parameter yang diukur adalah kecepatan motor dan arus. Sementara itu tegangan masukan pada motor diatur konstan pada nilai 12V. Proses rangkaian pengujian pada trainer ditunjukkan oleh Gambar 4.9.



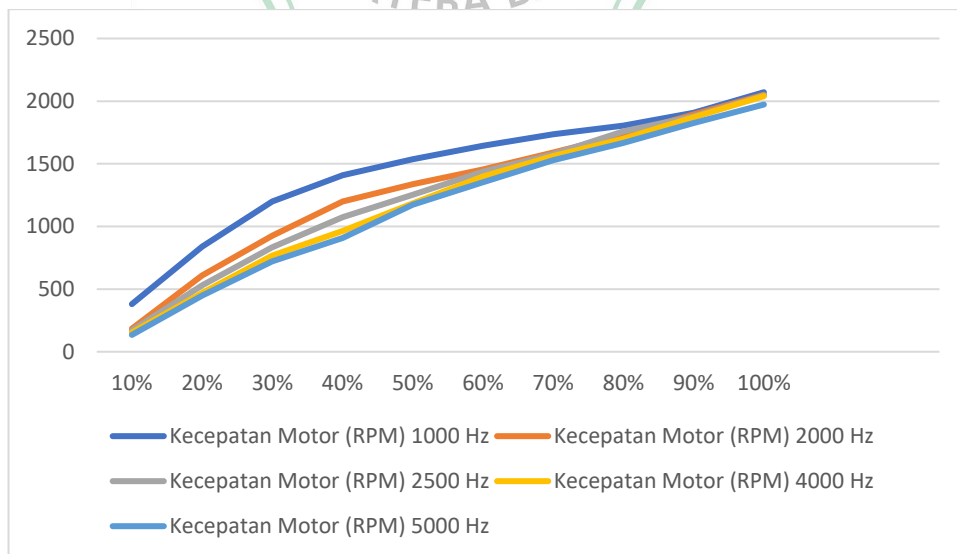
Gambar 4.9. Pengujian Alat

Dari gambar 4.9 dapat dilihat hasil rangkaian pengujian alat dimana tegangan AC masuk ke *Voltage slide regulator* sebagai pengatur tegangan dan lanjut ke *Rectifier* untuk mengubah arus AC menjadi arus DC yang berfungsi memberikan tegangan DC dan masuk ke input PCB PWM sebagai mengatur frekuensi dan mengatur kecepatan menggunakan dua buah variable resistor, Ampere meter sebagai mengukur kuat arus pada Motor DC dan Volt meter berfungsi mengukur tegangan yang masuk pada Motor DC. Untuk mengetahui perputaran Motor DC menggunakan tachometer.

Hasil pengukuran kecepatan motor dan arus masukan motor terhadap perubahan *duty cycle* pada frekuensi PWM yang bervariasi ditunjukkan oleh Tabel 4.1 dan Tabel 4.3, dan Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.2. Data kecepatan motor (RPM)

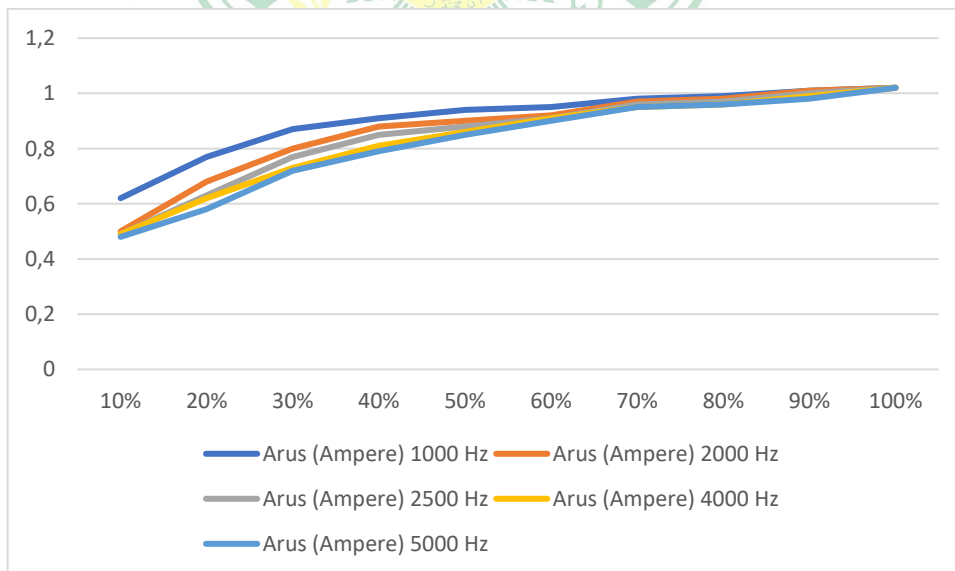
<i>Duty Cycle</i>	Kecepatan Motor (RPM)				
	1000 Hz	2000 Hz	2500 Hz	4000 Hz	5000 Hz
10%	380	184,2	170,5	153,4	134,6
20%	840	608,8	530	468,7	448,8
30%	1198	925,6	833,3	766,3	720,3
40%	1410	1200	1074	965,1	908,2
50%	1536	1338	1253	1185	1174
60%	1643	1456	1436	1398	1353
70%	1737	1589	1578	1562	1530
80%	1805	1731	1759	1700	1666
90%	1907	1895	1880	1871	1824
100%	2071	2051	2046	2040	1973



Gambar 4.10. Grafik kecepatan motor (RPM)

Tabel 4. 3. Data Arus

Duty Cycle	Arus (Ampere)				
	1000 Hz	2000 Hz	2500 Hz	4000 Hz	5000 Hz
10%	0,62	0,5	0,49	0,49	0,48
20%	0,77	0,68	0,63	0,62	0,58
30%	0,87	0,8	0,77	0,73	0,72
40%	0,91	0,88	0,85	0,81	0,79
50%	0,94	0,9	0,88	0,86	0,85
60%	0,95	0,92	0,91	0,91	0,9
70%	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95
80%	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96
90%	1,01	1,01	1	0,99	0,98
100%	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02



Gambar 4.11. Grafik Arus

4.3. Pembahasan

Hasil pengukuran kecepatan motor terhadap perubahan *duty cycle* pada frekuensi tetap menunjukkan bahwa kenaikan *duty cycle* akan menghasilkan kenaikan putaran motor. Sementara itu pada *duty cycle* yang tetap, kenaikan frekuensi PWM akan menghasilkan penurunan kecepatan motor. Pada *duty cycle* 100% untuk frekuensi PWM yang berbeda, akan menghasilkan kecepatan motor yang relatif sama dengan perbedaan yang sangat kecil.

Pengukuran arus menunjukkan bahwa kenaikan *duty cycle* pada frekuensi PWM tetap akan menyebabkan kenaikan kecepatan motor. Pada *duty cycle* 100% arus masukan motor menunjukkan nilai relatif sama, dengan perbedaan yang sangat kecil.



BAB V.

PENUTUP

5.1. Kesimpulan.

1. Pengendali kecepatan Motor DC yang dirancang dan dibuat telah menunjukkan hasil seperti yang diinginkan. Dimana perubahan *duty cycle* pada frekuensi pwm tetap akan merubah kecepatan Motor DC. Sebagaimana mestinya, kenaikan *duty cycle* akan menyebabkan kenaikan kecepatan Motor DC.
2. Pada frekuensi tetap, perubahan *duty cycle* sebanding dengan perubahan kecepatan.
3. Perubahan frekuensi PWM pada *duty cycle* yang sama, akan menghasilkan perubahan kecepatan motor berbanding terbalik dengan perubahan frekuensi PWM.

5.2. Saran

Peralatan yang telah dirancang hanya bisa dioperasikan pada tegangan yang terbatas. Hal ini dikarenakan rangkaian kendali dan rangkaian daya ditempatkan pada pcb yang sama, kedepan diharapkan rangkaian kendali dan rangkaian daya berada pada pcb yang berbeda, sehingga tegangan motor yang bisa diterapkan bisa disesuaikan dengan perubahan.

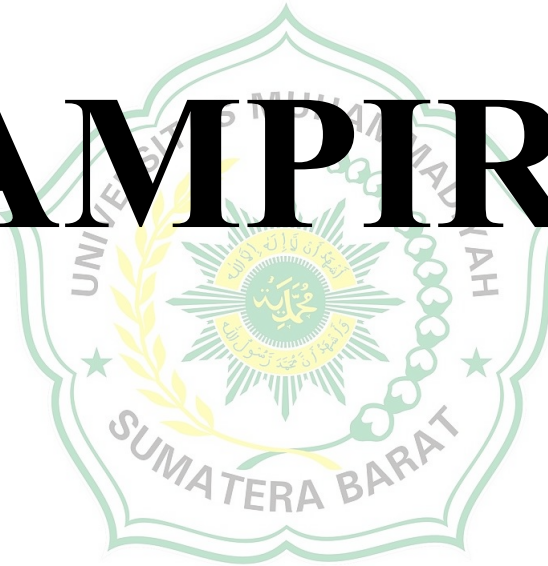
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tukino, A. Abrar, and S. Akbar, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Motor Listrik Berbasis Raspberry PI," *Jurnal Ilmiah Informatika (JIF)*, vol. 11, no. 1, pp. 48–53, 2023.
- [2] N. Roni Wibowo, Aminuddin, and M. Niel Authar Syaputra, "Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Sebagai Media Pembelajaran Praktikum Sistem Kendali Menggunakan Labview," *Jurnal Sains Terapan*, vol. 6, no. 2, pp. 60–67, Oct. 2020.
- [3] A. Umar, N. Usman, Z. Haruna, and A. Ore-Ofe, "PAPER 70-H-Infinity Mixed Sensitivity Function for the DC Motor Control," *Zaria*, Jun. 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/376409545>
- [4] S. L. Ayinla *et al.*, "Optimal control of DC motor using leader-based Harris Hawks optimization algorithm," *Franklin Open*, vol. 6, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.fraope.2023.100058.
- [5] O. I. Adebisi, A. B. Ogundare, T. C. Erinosh, M. O. Sonola, and A. R. Adesanu, "Development of a microcontroller and resistive touchscreen-based speed monitoring and control system for DC motor," *International Journal of Advances in Applied Sciences*, vol. 12, no. 4, pp. 350–360, Dec. 2023, doi: 10.11591/ijaas.v12.i4.pp350-360.
- [6] Q. I. Fatimah, R. Marselino, and A. Asnil, "Perancangan dan Pengendalian Kecepatan Motor Berbasis Web," *MOTIVECTION : Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 101–112, Sep. 2021, doi: 10.46574/motivection.v3i3.99.
- [7] A. S.M.Bakibillah, N. Rahman, and Md. Anis Uz Zaman, "Microcontroller based Closed Loop Speed Control of DC Motor using PWM Technique," *Int J Comput Appl*, vol. 108, no. 14, pp. 15–18, Dec. 2014, doi: 10.5120/18979-0402.
- [8] S. Krishnat Arvind, T. Akshay Arun, T. Sandip Madhukar, and J. Deka, "Speed control of DC motor using PIC 16F877A microcontroller," *Multidisciplinary Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 223–234, 2014, [Online]. Available: www.mjret.in

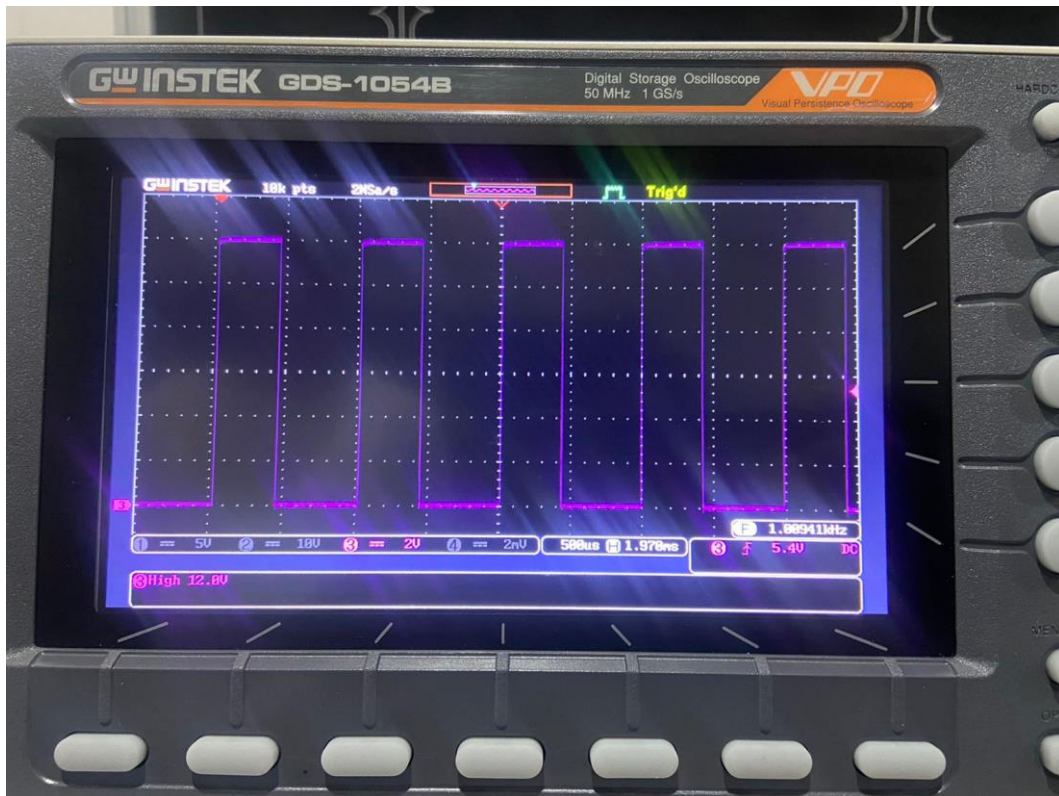
- [9] W. Storr, "Pulse Width Modulation," Pulse Width Modulation. Accessed: Oct. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.electronicstutorials.ws/blog/pulse-width-modulation.html>
- [10] E. A. Prastyo, "Pengertian dan Penjelasan Tentang Mosfet," Edukasi Elektronika.
- [11] Polaridad, "IRFZ44N: Karakteristik dan Kegunaan Transistor Daya ini," polaridad.es. Accessed: Oct. 24, 2024. [Online]. Available: <https://polaridad.es/id/irfz44n-para-que-sirve/>



LAMPIRAN



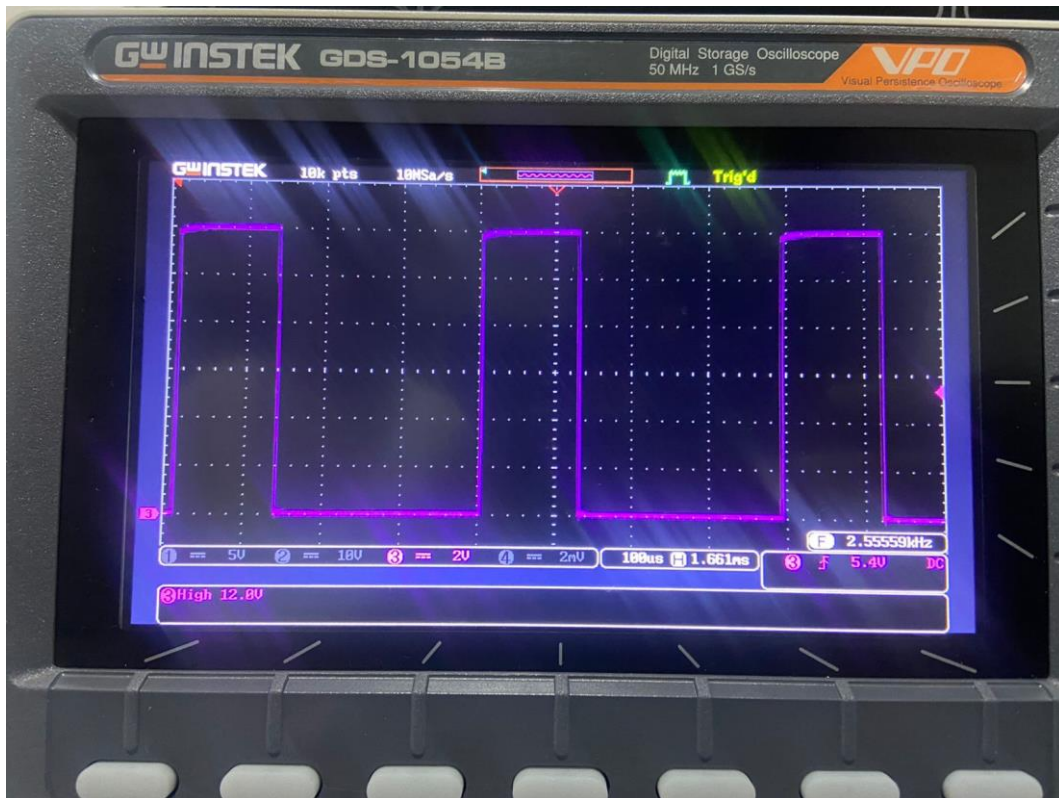
Lampiran 1. Hasil pengujian pada frekuensi 1000 Hz



Lampiran 2. Hasil pengujian pada frekuensi 2000Hz



Lampiran 3. Hasil pengujian pada frekuensi 2500Hz



Lampiran 4. Hasil pengujian pada frekuensi 4000Hz



Lampiran 5. Hasil pengujian pada frekuensi 5000Hz

