



TUGAS AKHIR – LI1956404

**RANCANG BANGUN MOTOR *BRUSHLESS*
DIRECT CURRENT SATU FASA *RADIAL FLUX*
*PERMANENT MAGNET 6 SLOT 6 POLE***

Oleh:

Mohamad Ihwan Maulana

NRP. 33112301007

Dosen Pembimbing:

Ibrahim Saiful Millah, S. T., M.Sc. Pembimbing I

Firman Matiinu Sigit, S.T., M.T. Pembimbing II

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK INDUSTRI

JURUSAN TEKNOLOGI ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI MADURA

SAMPANG

2026



TUGAS AKHIR – LI1956404

**RANCANG BANGUN MOTOR *BRUSHLESS*
DIRECT CURRENT SATU FASA *RADIAL FLUX*
*PERMANENT MAGNET 6 SLOT 6 POLE***

Oleh:

Mohamad Ihwan Maulana

NRP. 33112301007

Dosen Pembimbing:

Ibrahim Saiful Millah, S. T., M.Sc. Pembimbing I

Firman Matiiinu Sigit, S.T., M.T. Pembimbing II

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK INDUSTRI

JURUSAN TEKNOLOGI ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI MADURA

SAMPANG

2026

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mahasiswa Politeknik Negeri Madura, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi:

Nama : Mohamad Ihwan Maulana
NRP : 33112301007
Program Studi : D3 Teknik Listrik Industri
Jurusan : Teknologi Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dengan judul “Rancang Bangun Motor Brushless Direct Current Satu Fasa Radial Flux Permanent Magnet 6 Slot 6 Pole”:

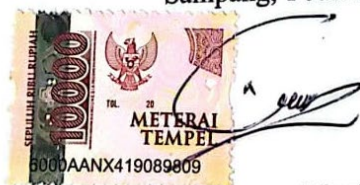
- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali

pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.

- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang di atas, maka Tugas Akhir saya ini dibatalkan.

Sampang, 1 Juli 2026



Mohamad Ihwan Maulana
NRP. 33112301007

LEMBAR PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Motor Brushless Direct Current Satu
Fasa Radial Flux Permanent Magnet 6 Slot 6 Pole
Penulis : Mohamad Ihwan Maulana
NRP : 33112301007
Program Studi : DIII Teknik Listrik Industri
Jurusan : Teknologi Elektro

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui untuk disidangkan.
Ditandatangani di Gedung A, Politeknik Negeri Madura.

Menyetujui,

Dosen Pembimbing II



Firman Matinu Sigit, S.T., M.T.
NIP. 198909182025061005

Dosen Pembimbing I



Ibrahim Saiful Millah, S.T., M.Sc
NIP. 199505082022031008

Koordinator Program Studi
Teknik Listrik Industri



Bayu Praharsena, S.ST., M.T.
NIP. 199405312019031009

Ketua Jurusan
Teknologi Elektro



Mohammad Nur, S.Si., M.T.
NIP. 198605082019031007

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* SATU FASA *RADIAL FLUX PERMANENT MAGNET* 6 POLE 6 SLOT

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Ahli Madya Teknik (A.Md.T)

Pada

Jurusan Teknologi Elektro
Politeknik Negeri Madura

Oleh:

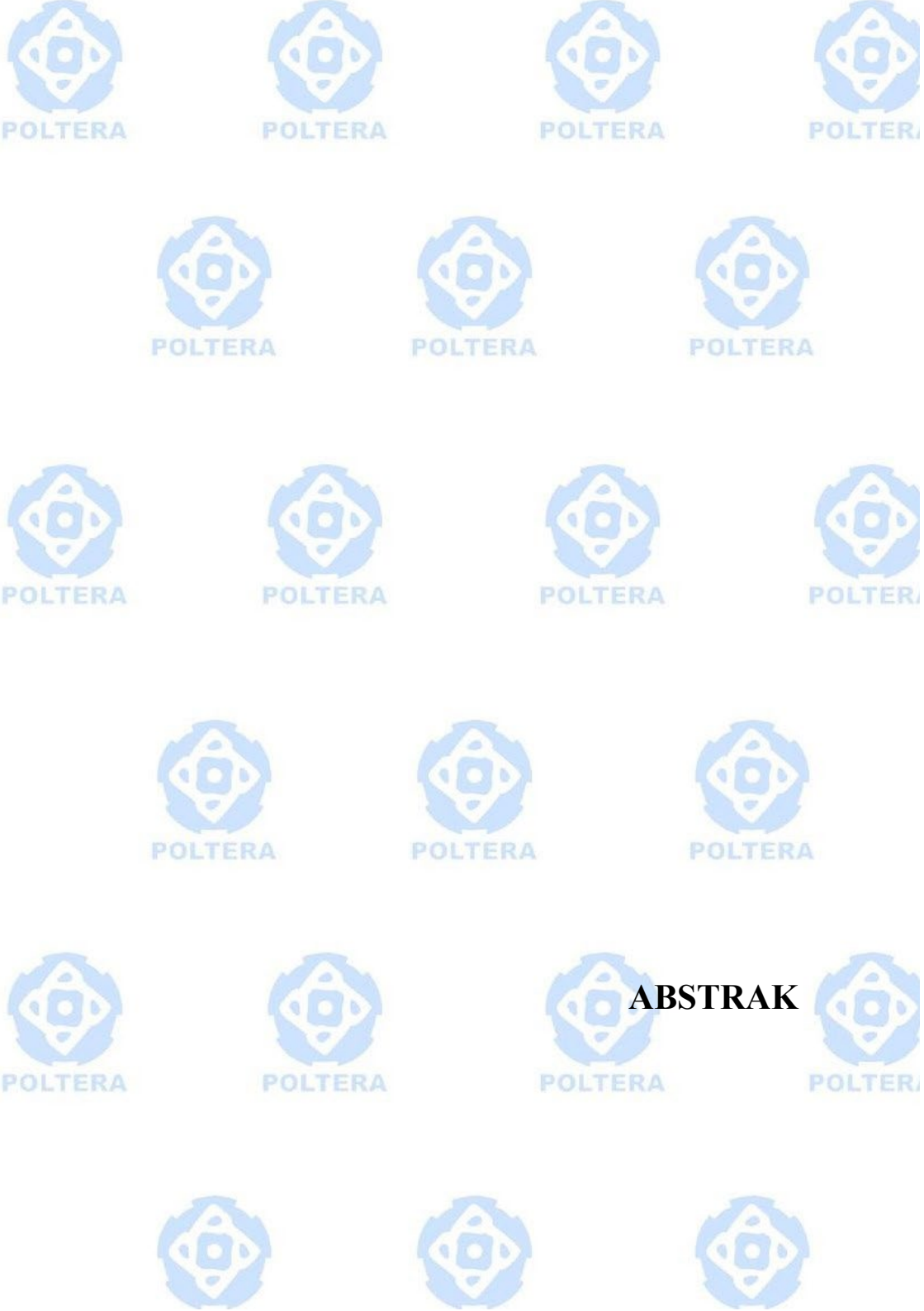
MOHAMAD IHWAN MAULANA
NRP. 33112301007

Proposal Tugas Akhir ini telah diseminarkan pada, 5
Agustus 2026
dan telah sesuai dengan ketentuan

Disetujui oleh Tanda Tangan

1. Ibrahim Saiful Millah, S. T., M. (Pembimbing I)
2. Firman Matinu Sigit, S. T., M.T. (Pembimbing II)
3. Dimas Panji Eka Jala Putra, S.Kom., M.Kom. (Penguji I)
4. Muhammad Furqon, M.T. (Penguji II)
5. Achmad Afandi, M.Tr.T. (Penguji III)

Sampang, 5 Agustus 2026



ABSTRAK



**RANCANG BANGUN MOTOR *BRUSHLESS DIRECT*
CURRENT SATU FASA *RADIAL FLUX PERMANENT*
*MAGNET 6 SLOT 6 POLE***

Nama : Mohamad Ihwan Maulana

NRP : 33112301007

Dosen Pembimbing 1 : Ibrahim Saiful Millah, S. T., M.Sc

Dosen Pembimbing 2 : Firman Matiinu Sigit, S. T., M.T.

ABSTRAK

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) merupakan motor listrik yang memiliki efisiensi tinggi, keandalan yang baik, serta umur pakai yang lebih panjang dibandingkan motor DC bersikat. Motor BLDC tidak menggunakan sikat sehingga memerlukan sistem komutasi elektronik untuk mengatur aliran arus pada kumparan stator. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun motor BLDC satu fasa dengan konstruksi radial flux permanen magnet 6 slot 6 pole serta menganalisis pengaruh jarak sensor *reed switch* dan variasi jumlah magnet rotor terhadap kecepatan

putar motor. Metode penelitian meliputi perancangan motor, perakitan prototipe, dan pengujian kinerja. Motor menggunakan magnet permanen neodymium pada rotor dan kumparan stator sebagai pembangkit medan magnet, sedangkan sensor *reed switch* digunakan untuk mendeteksi posisi medan magnet rotor. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak sensor dan jumlah magnet rotor, kemudian kecepatan motor diukur menggunakan tachometer. Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan karakteristik kinerja motor BLDC satu fasa radial flux dan memberikan pemahaman mengenai pengaruh posisi sensor dan konfigurasi rotor terhadap kecepatan motor.

Kata Kunci: motor BLDC, radial flux, reed switch, magnet neodymium, kecepatan motor



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA

ABSTRACT





***DESIGN OF A SINGLE-PHASE RADIAL FLUX
PERMANENT MAGNET BRUSHLESS DIRECT
CURRENT MOTOR 6 SLOT 6 POLE***

Name : Mohamad Ihwan Maulana
NRP : 33112301007
Supervisor 1 : Ibrahim Saiful Millah, S. T., M.Sc
Supervisor 2 : Firman Matiinu Sigit, S. T., M.T.

ABSTRACT

Brushless Direct Current (BLDC) motors are electric motors that offer high efficiency, good reliability, and longer service life compared to brushed DC motors. BLDC motors operate without brushes and require an electronic commutation system to control current flow in the stator windings. This study aims to design and build a single-phase radial flux permanent magnet BLDC motor with a 6-slot 6-pole configuration and to analyze the effect of reed switch sensor distance and rotor magnet variation on motor speed. The research method includes motor design, prototype assembly,

and performance testing. The motor uses neodymium permanent magnets on the rotor and stator windings to generate the magnetic field, while a reed switch sensor is used to detect the rotor magnetic position. Testing is conducted by varying the sensor distance and the number of rotor magnets, and the motor speed is measured using a tachometer. The results are expected to describe the performance characteristics of the single-phase radial flux BLDC motor and explain the influence of sensor placement and rotor configuration on motor speed.

Keywords: a maximum of five words/phrases most relevant to abstract content



KATA PENGANTAR



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa yang telah memberi kekuatan, kemampuan, dan kesabaran kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik yang berjudul “**Rancang Bangun Motor *Brushless Direct Current* Satu Fasa *Radial Flux Permanent Magnet 6 slot 6 Pole* ”** Peyusunan tugas akhir ini dibuat Bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan bagi mahasiswa dapat menyelesaikan pendidikan Diploma-3 Program Studi Teknik listrik Industri jurusan Teknologi Elektro di Politeknik Negeri Madura.

Pada kesempatan kali ini Penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih selama proses penyusunan proposal Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini tidak akan selesai dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, dan dorongan dari orang-orang yang berada di sekitar penulis. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Ibu Laily Ulfiah, M. T. selaku Direktur Politeknik

Negeri Madura, atas arahan dan dukungan dalam menyelesaikan pendidikan

2. M. Musta'in, S.T., MT., Wakil Direktur selaku Bidang Akademik atas arahan dan dukungan dalam mendukung kelancaran kegiatan akademik di Politeknik Negri Madura
3. Bapak Mohammad Nur, S.Si., M. T. Selaku Ketua Jurusan Teknologi Elektro, yang telah memberikan bimbingan dan kesempatan untuk mengeksplorasi penelitian ini
4. Bapak Ibrahim Saiful Millah, S. T., M. Sc. Selaku Sekretaris Jurusan Teknologi Elektro dan juga selaku Dosen pembimbing 1 atas bimbingan, pengarahan, serta kesabaran dalam membimbing selama proses penelitian tugas akhir ini.
5. Bapak Bayu Praharsena, S.ST., M.T. selaku Koordinator Program Studi D3 Teknik Listrik Industri atas bimbingan dan pengarahan

6. Bapak Firman Matiiinu Sigit, S. T., M.T. selaku Pembimbing 2 yang telah memberikan dukungan, arahan membimbing.
7. Bapak Moch Nur Adiwana,M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir yang senantiasa memberikan dukungan dan koordinasinya yang memudahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Semua dosen di Teknik Listrik Industri Politeknik Negeri Madura yang telah memberikan ilmu, wawasan, serta arahan dan menjadi wadah untukmenuangkan inspirasinya kepada penulis.
9. Teruntuk perjuangan yang tidak kenal kata menyerah dan teruntuk doa yang tidak pernah usai di panjatkan. Bapak, Ibu Terimakasih atas kasih sayang dan dukungan selama ini, Terimakasih atas sudah membesarkan saya dengan penuh kasih sayang, Terimakasih Bapak, ibu atas sujudmu yang selalu menjadi doa



Tugas Akhir TLI

10. Teman-teman Teknik Listrik Industri angkatan 12 yang telah memberikan dukungan dalam pembuatan Proposal Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman Mabes elektro dan TLI 5A yang telah menjadi bagian teman seperjuangan dalam menempuh dan menyelesaikan pendidikan ini.

Penulis menyadari bahwa proposal Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun, sehingga proposal tugas akhir selanjutnya menjadi lebih baik. Semoga proposal tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bagi masyarakat.

Sampang, 28 Januari 2026

Mohamad Ihwan Maulana
NRP. 33112301007



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA

DAFTAR ISI



DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR SIGKATAN DAN LAMBANG.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Sebelumnya	7

2.2	Landasan Teori	11
2.2.1	Motor BLDC	11
2.2.2	Kontruksi medan magnet	12
2.2.3	Perhitungan	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		25
3.1	Tahapan Penelitian	25
3.1.1	Diagram Alir Penelitian	26
3.1.2	<i>Flow Chart</i> Sistem Kerja Alat.....	29
3.1.3	Blok Diagram Sistem	32
3.2	Spesifikasi Alat dan Bahan.....	33
3.2.1	Power Supply	34
3.2.2	Magnet Neodymium	34
3.2.3	Bearing	35
3.2.5	Sensor Reed Switch	37
3.2.6	Baut dan Mur	37
3.3	Desain Alat.....	38
3.4.1	Tahap Pengambilan Data.....	40
3.5	Prosedur Pengujian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Perancangan Alat.....	41



4.1.1	Alat dan Bahan	41
4.2	Perhitungan Perancangan Alat.....	42
4.2.1	Perhitungan Jarak Antar Sudut Magnet Stator 42	
4.2.2	Perhitungan jumlah Lilitan.....	43
4.2.3	Perhitungan arus efektif.....	43
4.2.4	Perhitungan Kecepatan putar motor	44
4.2.5	Perhitungan tegangan efektif.....	44
4.2.6	Perhitungan daya listrik.....	45
4.2.7	Perhitungan daya mekanik	45
4.2.7	Perhitungan torsi mekanik.....	46
4.2.8	Perhitungan torsi elektrik	46
4.2.9	Perhitungan efisiensi	47
4.2.10	Perhitungan torsi keseluruhan	47
4.2.11	Perhitungan Arus	48
4.2.12	Perhitungan Induksi balik EMF	48
4.2.13	Perhitungan Tegangan	49
4.2.14	Perhitungan Konstanta gaya gerak listrik... 50	
4.2.15	Perhitungan resistansi.....	50
4.3	Pengambilan Data	51



Tugas Akhir TLI

4.3.1	Pengujian jarak sensor 3 mm 4 pole	51
4.3.2	Pengujian jarak sensor 5 mm 4 pole	53
4.3.4	Pengukuran Jarak sensor 1cm 4pole	54
4.3.4	Pengukuran Jarak sensor 3mm 6pole.....	56
4.3.5	Pengukuran Jarak Sensor 5mm 6 pole	58
4.3.6	Pengukuran Jarak sensor 1 cm 6 pole	60
4.3.7	Pengujian Jumlah kutub Terhadap Kecepatan 61	
4.4	Tantangan dan Solusi	63
BABV KESIMPULAN DAN SARAN.....		66
5.1	Kesimpulan	66
5.2	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....		69
LAMPIRAN.....		72



DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya	10
Tabel 3. 1 Nilai Parameter	40
Tabel 4.1 Data jarak sensor 3mm 4pole	52
Tabel 4 2 Data jarak sensor 5mm 4pole	53
Tabel 4 3 Pengukuran Jarak Sensor 3mm 6 pole	55
Tabel 4 4 Tabel Pengukuran Jarak Sensor 3mm 6 pole.....	56
Tabel 4 5 Pengukuran Jarak sensor 5mm 6 pole.....	58
Tabel 4 6 Pengukuran Jarak Sensor 1 cm 6 pole.....	60



DAFTAR GAMBAR



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Motor BLDC.....	12
Gambar 2. 2 Kontruksi Motor BLDC.....	14
Gambar 2. 3 Driver atau Rangkaian Elektronik.....	15
Gambar 3. 1 FlowChart Tahapan Penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Flowchart Sistem Kerja Alat	29
Gambar 3. 3 Blok Diagram Sistem.....	32
Gambar 3. 4 Power Supply.....	34
Gambar 3. 5 Magnet Neodymium	35
Gambar 3. 6 Bearing	36
Gambar 3. 7 Kawat Email	36
Gambar 3. 8 Reed Switch.....	37
Gambar 3. 9 Baut dan Mur.....	38
Gambar 3. 10 Rangkaian pengganti	39
Gambar 3. 11 Desain Alat	39
Gambar 4.1 Jarak sensor 3 mm 4 pole	51
Gambar 4 2 Grafik Jarak Sensor 3 mm 4 pole	52
Gambar 4.3 Jarak sensor 5 mm 4 pole	53
Gambar 4 4 Jarak sensor 1 cm 4 pole.....	54
Gambar 4 5 Pengukuran Jarak Sensor 3 mm 6 pole.....	56
Gambar 4 6 Pengukuran Jarak Sensor 5 mm 6 pole	58
Gambar 4 7 Pengukuran Jarak Sensor 1 cm 6 Pole.....	60



DAFTAR SIGKATAN DAN LAMBANG

BLDC	: Brushless Direct Current
RFPM	: Radial Flux Magnet Permanen
AFPM	: Axial Flux Magnet Permanen
PM	: Permanen Magnet
SmCo	: Semarium cobalt
NdFeB	: Neodymium Ferrite dan Boron



BAB I

PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia bidang teknologi saat ini mengalami kenaikan signifikan, dengan salah satu aspek utamanya adalah evolusi dalam bidang energi listrik salah satu solusi yang diusulkan adalah Motor BLDC adalah jenis motor DC yang tidak menggunakan sikat atau brush, dan memiliki kinerja yang sangat efisien, keandalan tinggi, umur lebih panjang. Motor ini biasa digunakan dalam berbagai bidang seperti otomotif, mempunyai komponen utama terdiri dari rotor dan stator.[1]

Motor BLDC juga disebut Motor Sinkron DC Magnet permanen, adalah salah satu jenis motor yang popularitasnya meningkat pesat, terutama karena karakteristik dan performanya yang lebih baik. Motor DC tanpa sikat *Brushless* DC motor yaitu motor Listrik sinkron yang dari perspektif pemodelan, tampak persis motor DC. Motor BLDC memiliki banyak keunggulan dibandingkan motor DC sikat dan motor induksi, seperti karakteristik kecepatan dengan torsi yang

lebih baik, respons dinamis yang tinggi, efisiensi dan keandalan yang tinggi, umur operasi yang panjang (tidak ada erosi sikat), operasi tanpa suara, rentang kecepatan yang lebih tinggi.[2]

Motor BLDC merupakan salah satu jenis motor yang memiliki ciri khas terdapat magnet permanen pada rotor dan kumparan pada stator dilihat dari lilitan fluxnya terdapat dua jenis motor brushless DC yaitu *radial flux brushless* DC dan *axial flux brushless* DC beberapa penelitian yang sudah membuktikan bahwa motor *brushless* DC berbentuk *axial flux* memiliki nilai torsi lebih tinggi dibandingkan dengan *radial flux*. motor yang berbentuk *axial flux* juga memiliki efisiensi lebih besar dari *radial flux*. Selain itu motor *brushless* DC yang berbentuk *radial flux* memiliki efisiensi yang semakin tinggi apabila kecepatan putar juga semakin tinggi.[3]

Pada penelitian yang dilakukan Mohsen Ebadpoer dimana pada penelitiannya mengatakan bahwa Motor DC tanpa sikat magnet *permanen flux radial* (BLDC) semakin banyak digunakan dalam komputer, otomotif, produk industri dan rumah tangga karena kepadatan daya yang tinggi,

kekompakan, efisiensi tinggi, perawatan rendah, dan kemudahan kontrol. Meminimalkan biaya penggerak motor merupakan faktor kunci aplikasi berbiaya rendah. Saat ini, sebagian besar penggerak PM komersial didasarkan pada strategi kontrol arus. Namun, sensor dan aksesoris terkaitnya meningkatkan kompleksitas, biaya, dan ukuran penggerak motor serta mengurangi keandalan sistem. Oleh karena itu, pengurangan jumlah penggunaan sensor sangat dibutuhkan dalam penggerak motor.[4] Oleh karena itu tujuan dari permasalahan dari penelitian di atas guna untuk pembuatan motor BLDC yang berjudul **“Rancang Bangun Motor Brushless Direct Current Satu Fasa Radial Flux Permanent Magnet 6 slot 6 pole”** dalam perancangan motor ini menggunakan 6 slot sebagai stator dan 6 pole sebagai rotor dengan menggunakan magnet neodmium pada rotor yang tidak menggunakan pengkabelan dan komutasi di sisi rotor serta sensor *reed switch* yang berfungsi untuk mendeteksi medan magnet di sekitarnya. Pada penelitian ini bertujuan untuk peningkatan efisiensi energi dan peningkatan tingkat keandalan yang tinggi dalam berbagai kondisi operasional pada motor BLDC satu fasa *Radial flux*.

1.2 Rumusan masalah

Untuk memudahkan penyusunan proposal Tugas Akhir maka penulis membuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara merancang Motor BLDC satu fasa dengan konstruksi *Radial flux 6 slot 6 pole*?
2. Bagaimana pengaruh jarak Sensor *Reed Switch* pada kecepatan motor?
3. Bagaimana pengaruh variasi jumlah rotor terhadap kecepatan motor?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini ditentukan supaya lebih terarah dan selaras dengan tujuan yang diinginkan dapat tercapai. Berikut merupakan beberapa batasan masalah diantaranya :

1. Slot dalam stator yang digunakan berjumlah 6 slot
2. Jumlah kutub magnet pada rotor yang digunakan berjumlah 4, 6, dan 8
3. Kawat yang digunakan adalah kawat email berbahan tembaga berlapis *email* dengan diameter 0,4 mm

4. Magnet permanen yang digunakan menggunakan magnet *neodymium* dengan ukuran 12 x 2 mm
5. Jumlah lilitan yang digunakan adalah 1200 lilitan
6. Sensor yang digunakan adalah menggunakan sensor *Reed Switch*
7. Tidak mengambil data pada nilai torsi

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sesuai dengan permasalahan penelitian, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk merancang motor BLDC satu fasa dengan konstruksi *Radial flux 6 slot 6 pole*
2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh jarak dari sensor *reed switch* terhadap kecepatan motor
3. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari jumlah rotor terhadap kecepatan motor

1.5 Manfaat

Adapun beberapa manfaat yang didapatkan dari pembuatan alat untuk tugas akhir ini adalah:

1. Pemahaman tentang konstruksi motor BLDC *Radial*

flux serta mengetahui perhitungan dari beberapa kebutuhan dari motor

2. Penelitian ini dapat mengetahui bagaimana sensor *reed switch* bekerja pada Motor BLDC Satu Fasa *Radial Flux*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada bagian ini peneliti memaparkan beberapa referensi yang menjadi dasar pemikiran dalam perancangan motor BLDC satu fasa ini. Adapun referensi yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut:

Pada penelitian yang dilakukan oleh Hari Prasetyo, Winasisa, Priswanto, Dadan Hermawan yang berjudul “Perancangan *radial fluks* fasa Tunggal generator magnet permanen dengan variasi diameter stator” Dimana pada penelitian ini membahas tentang Dalam perancangan generator magnet permanen *fluks radial* fasa tunggal, dimensi kawat kumparan stator memengaruhi dimensi diameter luar stator, tinggi roda gigi stator, panjang slot stator luar, dan lebar untuk stator. Peningkatan dimensi diameter luar stator akibat diameter kawat kumparan stator yang lebih besar dipengaruhi oleh nilai konstan dimensi rotor, magnet permanen, celah udara, tinggi stator, dan diameter stator

menyebabkan kerapatan *flux* magnetik dan *flux* magnetik pada celah udara cenderung menurun nilainya, sehingga nilai gagal balik pun menurun. Namun, seiring dengan mengecilnya diameter kawat kumparan stator, nilai tegangan jatuh menjadi signifikan, sehingga tegangan terminal meningkat dengan semakin besarnya diameter kawat kumparan stator. Dari hasil simulasi dan pembahasan terbukti bahwa kawat stator dengan diameter 1,29 mm (AWG 16), 1,45 mm (AWG 15) dan 1,63 mm (AWG 14) memiliki *flux* celah udara (B_g) sebesar 0,52995, 0,52961 dan 0,52958 T yang menghasilkan tegangan terminal masing-masing sebesar 220,73, 221,57 dan 222,80 V. Hasil lainnya, peningkatan kapasitas daya pada desain dengan meningkatkan diameter kawat stator akan menyebabkan peningkatan yang signifikan pada persentase kawat dengan kapasitas hantar arus maksimum stator tetapi penurunan impedansi kawat stator tidak signifikan. Sehingga akan menurunkan tegangan terminal fasa dari nilai nominalnya[5]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Aditiya Rizky Kurniawan yang berjudul “Rancang bangun motor searah tanpa sikat satu fasa” Dimana pada penelitian ini membahas

tentang mengetahui karakteristik BLDC satu fasa dan membandingkannya dengan BLDC satu fasa yang menggunakan 6 magnet permanen sebagai rotor dan melakukan variasi diameter kawat email yang berbeda yaitu 0,2 mm, 0,3 mm, 0,4 mm. variasi kawat digunakan untuk mengetahui pengaruh diameter kawat *email* terhadap kecepatan motor dimana hasil pengujiannya motor dengan diameter kawat 0,2 mm menghasilkan kecepatan sebesar 2920 Rpm dengan frekuensi 150 Hz dan kerapatannya 0,0504 T, untuk diameter kawat 0,3 mm menghasilkan kecepatan sebesar 3296 Rpm dengan frekuensi 170 Hz dan kerapatannya sebesar 0,0591 T, sedangkan untuk diameter kawat 0,4 mm menghasilkan kecepatan sebesar 4045 Rpm dengan frekuensi 210 Hz dan kerapatannya 0,0607 T. dengan ini dapat dilihat bahwa semakin tebal diameter kawat yang digunakan maka semakin besar pula kecepatan, frekuensi dan kerapatan yang dihasilkan.[6]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rangga Kurniawan, Ermanu Azizul Hakim, Muhammad Irfan yang berjudul “Analisis pengaruh variasi lebar air gap pada motor *Brushless DC Radial flux*” Dimana pada penelitian ini

mereka melakukan analisis pengaruh variasi celah udara terhadap rotor BLDC *radial flux*. Analisis yang digunakan yaitu dengan menggunakan beberapa variasi lebar air gab yaitu 0,3 mm, 0,5 mm, 1 mm, dan 1.5 mm. Pengujian variasi lebar air gab menggunakan kecepatan putar 1000 rpm. Hasil pengujian nilai *flux linkage* maksimum pada variasi lebar air gab 0.3 mm sebesar 0.0684 Wb. Hasil pengujian nilai torsi tertinggi sebesar 24.57 Nm pada lebar air gab 0.3 mm. Nilai efisiensi tertinggi di peroleh pada variasi lebar air gab 0.3 mm sebesar 83.16%. dari pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa variasi lebar celah udara berpengaruh pada hasil keluaran nilai torsi dan efisiensi jika lebar air gap diperkecil[7]

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya

Nama Penerbit/perbedaan	Hari Prasetyo dkk	Aditya Rizky kurniawan	Rengga Kurniawan dkk	Hendta Destara	Luaran pembaruan
Variasi Tegangan	220V	24V	24V	1-24V	1-24V
Fitur Sensor	Hall Sensor	Reed switch	Hall Sensor	Hall Sensor	Reed switch

Stator	6	6	12	6	6
Desain Kontru Ksi	Radial Flux	Axial Flux	Radial Flux	Radial Flux	Radial Flux
Rotor	6	6	8	6	6
Jumlah Fasa	3	1	1	1	1
Jumlah lilitan per slot	160	600	1000	900	1200

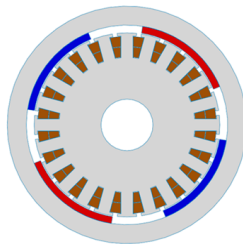
2.2 Landasan Teori

Pada bagian ini berisi tentang dasar teori digunakan sebagai landasan dasar dan acuan untuk mendukung dalam menyelesaikan tugas akhir

2.2.1 Motor BLDC

Motor BLDC bekerja dengan menggunakan prinsip gaya tarik antara dua magnet yang berlainan kutub atau gaya tolak antara dua magnet dengan kutub yang sama. Rotor pada motor BLDC tersusun dari magnet permanen sehingga kutubnya tetap sedangkan stator terbuat dari belitan sehingga kutub magnet tersebut dapat berubah tergantung polaritas arus belitan stator yang diberikan.

Dalam motor BLDC terdapat 2 jenis tipe konfigurasi yaitu *axial flux* permanen magnet (AFPM) dan *radial flux* permanen magnet (RFPM). Dalam penelitian ini di fokuskan terhadap tipe konfigurasi *radial flux* permanen magnet. Motor *flux radial* memiliki volume magnet permanen yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan motor *flux aksial* sehingga lebih berkelanjutan. Motor ini juga lebih mudah dipasang dan lebih murah. Motor *flux radial* di *Magnetic Innovations* memanfaatkan topologi rotor luar dan menggabungkan sejumlah optimasi yang meningkatkan efisiensi secara keseluruhan



Gambar 2. 1 Motor BLDC

2.2.2 Kontruksi medan magnet

Selain itu pada motor BLDC juga membutuhkan *driver* atau rangkaian kontrol untuk mengontrol aliran arus

pada kumparan stator. dimana pada gambar 2. 2 tersebut konstruksi motor BLDC terdiri dari dua bagian utama yakni stator dan rotor

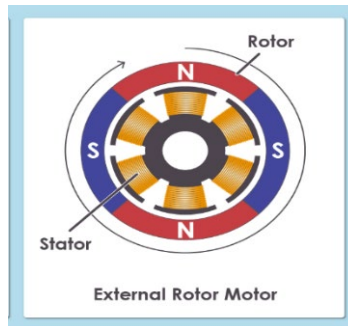
1. Rotor

Inti rotor terbuat dari bahan baja silikon non-orientasi yang digulung dingin. dua hingga delapan kutub PM ditempatkan pada rotor dengan arah utara (U) dan selatan (S) bergantian kutub. Bahan magnet permanen dipilih berdasarkan kerapatan *flux* yang dibutuhkan dalam inti stator dan rotor. Magnet ferit umumnya digunakan untuk membuat PM. Dengan kemajuan dalam teknologi material PM. PM tanah jarang telah menjadi pilihan populer untuk motor desainer. *Samarium cobalt* (SmCo) dan paduan *Neodymium*, *Ferrite*, dan *Boron* (NdFeB) memiliki produk energi tinggi dan kerapatan *flux* tinggi untuk volume yang sama. Penggunaan PM ini memadatkan ukuran motor untuk *output* yang sama

2. Stator

Stator motor PMBLDC terbuat dari laminasi baja bertumpuk dengan gulungan yang diposisikan dalam *slot* di sepanjang tepi bagian dalam. Stator secara tradisional mirip

dengan motor induksi, tetapi lilitannya ditempatkan secara berbeda. Untuk membuat lilitan, satu atau lebih kumparan dimasukkan ke dalam *slot* dan saling terhubung

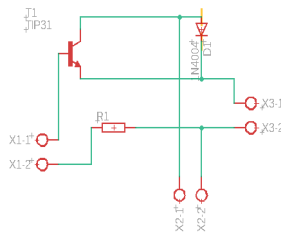


Gambar 2. 2 Kontruksi Motor BLDC

3. Driver atau Rangkaian Elektronik

Untuk mengontrol aliran arus pada penggerakan rotor, sistem canggih menggunakan sinyal dari sensor posisi rotor untuk menentukan waktu dan pola arus yang diberikan ke kumparan pada stator. Kontrol elektronik yang tepat akan memastikan bahwa arus listrik disuplai ke kumparan stator secara sinkron dengan posisi rotor sehingga memungkinkan gerakan putar yang optimal. Karena motor *Brushless* berbeda dengan motor *Brushed* perbedaan di antara keduanya terletak pada sistem komutasinya . Dimana pada motor *Brushed* sistem komutasinya menggunakan sikat untuk mengatur

aliran arus pada kumparan stator. Sedangkan pada motor *Brushless* tidak memiliki sikat sehingga dalam sistem komutasinya membutuhkan *driver* untuk mengatur aliran arus tersebut.



Gambar 2. 3 *Driver* atau Rangkaian Elektronik

4. Medan Magnet

Medan magnet pertama kali dipahami melalui eksperimen yang menunjukkan adanya interaksi antara arus listrik dan benda magnetik. Jarum kompas akan defleksi saat berada di dekat kawat yang dialiri arus listrik, yang menandakan arus listrik dapat menghasilkan medan magnet satuan dari medan magnet dalam sistem internasional Tesla (T). Motor BLDC agar dapat bekerja harus ada kuat medan magnet yang bekerja atau timbul dalam motor. Kuat medan magnet tersebut dipengaruhi oleh banyak serta panjang lilitan, arus yang mengalir dan yang terakhir yaitu permeabilitas bahan

2.2.3 Perhitungan

Perhitungan yang dilakukan adalah mencari besaran medan magnet, jumlah lilitan, *Fluks* magnet, Torsi Motor, Konstanta gaya gerak Listrik, Daya motor BLDC, Efisiensi motor, Perhitungan omega, Error persen kecepatan putar dan Tegangan induksi balik EMF

- **Jumlah Lilitan**

Hasil jumlah lilitan menentukan kekuatan medan magnet stator dan untuk menghasilkan motor mampu berputar stabil jika lilitan terlalu sedikit medan magnet lemah motor sulit berputar. untuk mencari jumlah lilitan dibutuhkan persamaan sebagai berikut

$$N = \frac{B \cdot 2r}{\mu_o \cdot I}$$

N = Jumlah lilitan

B = Medan magnet (T)

μ_o = Permeabilitas magnet (H/m)

r = radius dari inti besi (mm)

I = arus yang di alirkan ke kumparan stator (A)

Setelah menemukan jumlah lilitan maka dilanjutkan dengan mencari jumlah lilitan per slot dengan menggunakan

persamaan sebagai berikut

$$N \text{ per slot} = \frac{N \text{ total}}{s}$$

N per slot = Jumlah lilitan per slot

N total = Jumlah lilitan

S = Jumlah slot atau stator yang digunakan

- **Fluks Magnet**

Fluks Magnet digunakan untuk menghitung besar induksi magnetik atau kerapatan fluks magnet (B) yang dihasilkan oleh suatu kumparan berdasarkan jumlah lilitan, besar arus yang mengalir, sifat bahan magnetik, dan panjang lintasan medan magnet.

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r N I}{l}$$

Dimana :

B = Flux Magnet (T)

μ_0 = Permeabilitas ruang hampa = $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

μ_r = Permeabilitas relatif inti besi

N = Jumlah lilitan

I = Arus kumparan (A)

l = panjang lintasan magnet (m)

- **Torsi Motor**

Torsi motor terdiri dari dua elemen yaitu, Torsi mekanik dan Torsi elektrik pada kecepatan motor yaitu memengaruhi terhadap hasil nilai yang diperoleh oleh torsi motor tersebut. Kecepatan rendah motor memiliki torsi lebih besar, sedangkan pada kecepatan tinggi torsi menurun. Persamaan dari Torsi mekanik bisa dilihat di persamaan berikut ini

$$T = \frac{P_{out}}{\omega}$$

Keterangan Rumus :

T = Torsi Mekanik (Nm)

P out = Daya output (W)

Sementara itu untuk mencari Torsi Elektromagnetik dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$T_{em} = \frac{(V \times I \times 60)}{(2\pi \times Nr)}$$

Dimana :

Tem = Torsi Elektromagnetik (Nm)

V = Tegangan Input (V)

I = Arus input (A)

N_r = Kecepatan Putar (Rpm)

- **Perhitungan Konstanta gaya gerak listrik**

Konstanta gaya gerak listrik ini menyatakan besar tegangan induksi balik yang dihasilkan motor setiap satuan kecepatan sudut, motor dengan lilitan lebih banyak menghasilkan nilai konstanta yang lebih besar, sehingga kecepatan lebih stabil namun torsi berkurang untuk mencari konstanta gaya gerak listrik dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$K_e = \frac{E_a}{\omega}$$

Dimana :

K_e = Kontanta gaya gerak listrik (V/rad/s)

E_a = Tegangan balik EMF (V)

ω = Omega (rad/s)

- **Daya Motor BLDC**

Untuk daya motor tidak semua daya listrik berubah menjadi putaran motor selisih Pin dan Pout menunjukkan adanya rugi tembaga, rugi inti besi, gesekan mekanik. Untuk

mencari besar daya *input* (P_{in}) dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$P_{in} = V \times I$$

Dimana :

P_{in} = Daya Input (W)

V = Tegangan Input (V)

I = Arus input (A)

Sedangkan untuk mencari nilai dari daya *output* bisa diperoleh dari persamaan berikut :

$$P_{out} = \frac{(2\pi \times Nr)}{60} \times T$$

Dimana :

P_{out} = Daya output (W)

Nr = kecepatan Putar (Rpm)

T = Torsi Mekanik (Nm)

- **Efisiensi Motor**

Efisiensi merupakan perbandingan antara nilai daya *output* dan daya *input*, efisiensi terbaik terjadi pada kecepatan menengah bukan maksimum efisiensi dipengaruhi airgap, lilitan, dan ketebalan rotor. untuk mencari nilai

efisiensi dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\%$$

Dimana :

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya output (W)

P_{in} = Daya Input (W)

- **Error Persen Kecepatan Putar**

Setelah hasil nilai perhitungan dan pengukuran dari kecepatan putar motor sudah diketahui maka, selanjutnya adalah dapat dilakukan perbandingan antara hasil perhitungan dan pengukuran kecepatan motor nilai error persen menunjukkan seberapa jauh hasil teori menyimpang dari hasil pengujian penyebab error yaitu gesekan mekanik, tidak akuratan sensor untuk mengetahui nilai error persen (%) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\%$$

Dimana :

E = Error persen dari kecepatan motor

HT = Hasil Perhitungan

HP = Hasil Pengukuran

- **Tegangan Induksi Balik EMF**

Tegangan yang timbul pada kumparan stator akibat peputaran rotor di dalam magnet induksi balik EMF berperan sebagai mekanisme pengaruh alami arus pada motor. Untuk mencari nilai tegangan induksi balik EMF dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$E_a = K_e \times \omega$$

Dimana :

E_a = Tegangan balik EMF (V)

K_e = Konstanta gaya gerak listrik (V/rad/s)

ω = Omega (rad/s)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN



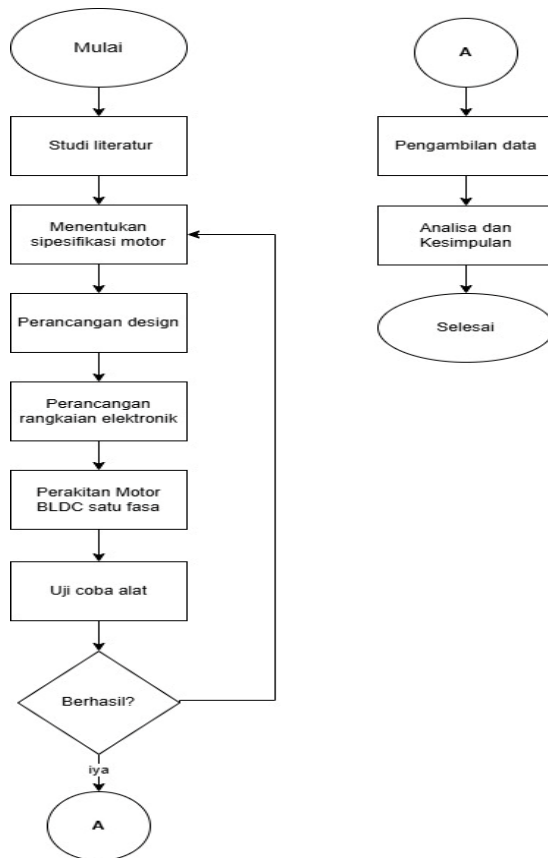
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menerapkan beberapa metode penelitian guna mencapai tujuan pengembangan. Setiap tahapan penelitian saling berkaitan dan harus dilaksanakan secara sistematis serta berurutan. Tahapan yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan tujuan yang ingin dicapai

3.1.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 *FlowChart* Tahapan Penelitian

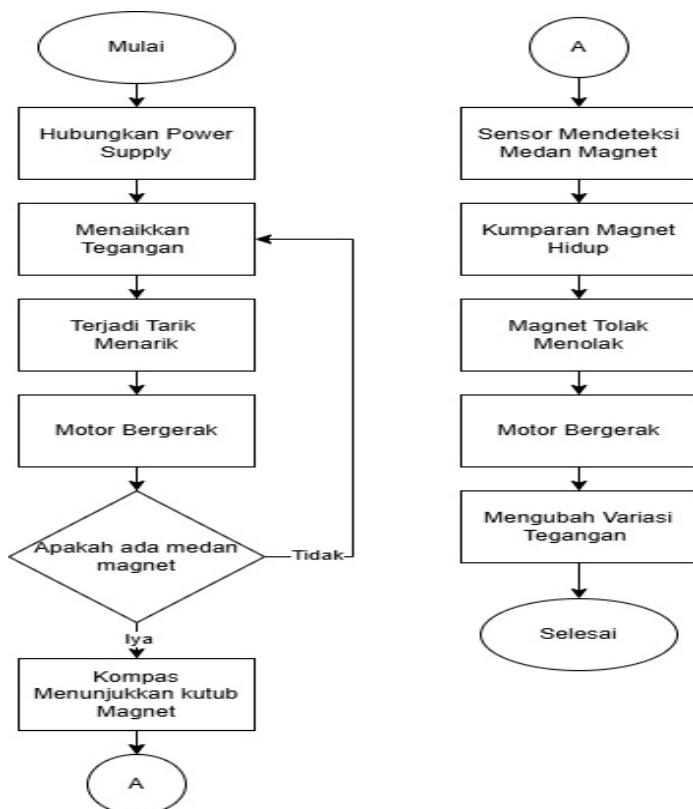
1. Pada tahap studi literatur ini mencari referensi jurnal yang relevan tentang Motor BLDC dan di jadikan acuan untuk memudahkan dalam memahami dasar teori dan perkembangan yang terbaru pada penelitian

- sebelumnya serta menentukan spesifikasi teknis yang optimal
2. Kemudian pada tahap selanjutnya menentukan spesifikasi Motor seperti menentukan jumlah rotor dan stator pada motor. Perancangan parameter teknis yang meliputi penentuan jenis kawat penghantar, jumlah fasa, serta karakteristik magnet yang digunakan, pemilihan jenis sensor yang relevan serta penentuan desain konstruksi motor baik menggunakan model *radial flux* maupun *axial flux*
 3. Selanjutnya Perencanaan dan perancangan motor BLDC *radial flux* tahapan ini mencakup penentuan konfigurasi sistem elektrik yang terdiri dari jumlah fasa dan sistem komutasi sensor dan meliputi *identifikasi* parameter teknis seperti kapasitas daya, target torsi serta analisis kebutuhan material magnet dan kawat penghantar kemudian hasil dari perancangan akan divisualisasikan dalam bentuk gambar teknik 2D dan 3D
 4. Setelah perancangan motor BLDC tahap selanjutnya perakitan prototipe dan pengujian awal dari motor

untuk membuktikan bahwa motor berfungsi sesuai dengan *design* yang di rancang. Dalam proses ini memperhatikan komponen dan bahan material yang akan digunakan supaya menghasilkan data yang diinginkan

5. Setelah pengujian awal selesai kemudian dilanjutkan proses pengujian dan pengambilan data, pada tahap ini melakukan pengujian terhadap motor untuk memperoleh data yang kemudian data tersebut di analisis. Dalam penelitian ini, perhitungan digunakan sebagai bagian dari metodologi penelitian untuk memperoleh parameter utama motor BLDC, yaitu luas penampang medan magnet, besaran medan magnet, jumlah lilitan, sudut magnet, kecepatan, gaya gerak listrik lawan, dan torsi
6. Pada tahap Analisa dan Kesimpulan dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik dan kinerja motor berdasarkan parameter perancangan serta hasil perhitungan, yang meliputi medan magnet, konfigurasi lilitan, kecepatan putar, torsi dan efisiensi

3.1.2 Flow Chart Sistem Kerja Alat



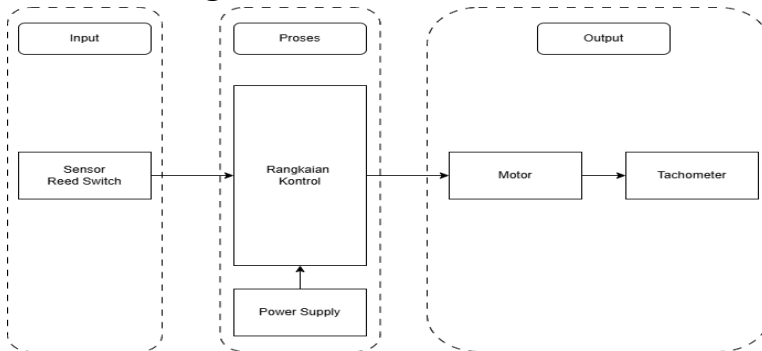
Gambar 3. 2 Flowchart Sistem Kerja Alat

Flow chart system kerja alat ditunjukkan di gambar 3.2. gambar tersebut merupakan *flowchart system kerja alat* yang diselesaikan secara menyeluruh mulai dari awal hingga akhir. Sumber tegangan yang digunakan untuk memutar rotor

dari motor BLDC *radial flux* 6 slot 6 pole yaitu sebuah *power supply* DC. Motor BLDC satu fasa ini menggunakan desain konstruksi motor *radial flux* dengan 6 kumparan stator dan 4, 6, 8 medan magnet *neodymium* sebagai variasi rotor. Selanjutnya dilakukan dengan menaikkan tegangan sesuai dengan variasi tegangan yang sudah ditentukan. Setelah merubah variasi tegangan pada *power supply* sudah pasti terjadi tolak menolak pada medan magnet antara stator dan rotor pada motor. Hal ini terjadi karena pada kumparan stator dialiri oleh kawat dimana pada pengujian sebelumnya jika ada besi dililitkan oleh kawat lalu diberi tegangan maka akan menarik suatu besi lainnya, kesimpulannya sebuah kumparan stator yang dililit oleh kawat akan menghasilkan besaran medan magnet. Setelah terjadi tolak menolak pada medan magnet maka selanjutnya motor pastinya akan bergerak setelah motor bergerak maka disitulah fungsi sensor *reed switch* untuk mendeteksi putaran medan magnet pada rotor, jika sensor *reed switch* mendeteksi adanya medan magnet yang terarah pada *reed switch* maka bisa diumpamakan bahwa sensor *reed switch* memiliki nilai 1 dan kumparan stator yang menghasilkan medan magnet bernilai

0. Disinilah akan terjadi tolak menolak dan tarik menarik sehingga motor dapat berputar terus menerus selama dialiri tegangan. Jika dalam hal ini motor tetap tidak berputar maka akan kembali lagi pada tahap mengatur tegangan, bisa jadi tegangan yang digunakan kurang besar sehingga kumparan stator tidak mengeluarkan besaran medan magnet yang besar, jika kumparan stator tidak bisa mengeluarkan besaran medan magnet yang besar maka itu tidak bisa terjadi tolak menolak pada medan magnet neodymium pada rotor. Setelah proses ini terjadi maka kita teruskan dengan pengambilan data menggunakan variasi tegangan yang sudah ditentukan. Selanjutnya, dilakukan pengukuran menggunakan *tachometer* untuk mendapatkan kecepatan putar rotor motor dalam satuan radian per menit (RPM). Pengujian motor dilakukan pada kondisi sumber tegangan yang berbeda. Pengukuran arus dan tegangan menggunakan multimeter.

3.1.3 Blok Diagram Sistem



Gambar 3. 3 Blok Diagram Sistem

Blok diagram ini ditunjukkan pada gambar 3.3. Blok diagram diatas dimulai dengan *input* daya yang menggunakan sumber daya tegangan dari *power supply*. Fungsi dari *power supply* adalah untuk menyediakan daya listrik yang diperlukan untuk operasi semua sistem

a) Input

Selanjutnya *input* penelitian ini menggunakan sensor *hall effect* sebagai input yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan medan magnet atau perubahan posisi putaran pada motor BLDC

b) Proses

Tahapan berikutnya adalah perancangan rangkaian kontrol yang merupakan inti dari sistem penggerak. Rangkaian ini memanfaatkan sensor *hall effect* sebagai *input*

utama sistem, serta resistor, transistor, dan dioda. Rangkaian tersebut berfungsi sebagai sistem komutasi pada motor BLDC yang bertugas mengatur aliran arus pada kumparan stator untuk menghasilkan putaran motor yang optimal

c) Output

Output utama dari sistem ini adalah Motor BLDC satu fasa *radial flux 6 slot 6 pole*. Motor ini digunakan sebagai pemutar utama dalam sistem, Motor ini menghasilkan putaran berdasarkan *control* yang diterapkan melalui rangkaian control. Selain Motor BLDC *output* dari sistem juga memberikan informasi kecepatan putar motor melalui *Tachometer*. *Tachometer* ini digunakan sebagai alat ukur kecepatan rotasi yang memberikan umpan balik mengenai kinerja motor

3.2 Spesifikasi Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Power Supply



Gambar 3. 4 Power Supply

Power supply atau catu daya merupakan suatu rangkaian yang mengubah arus Listrik AC menjadi DC. Pada penelitian ini *power supply* digunakan sebagai sumber tegangan utama untuk memutar rotor dan mengatur suatu tegangan *output* yang telah ditentukan sehingga mendapatkan tegangan yang stabil untuk rangkaian kontrol dan sensor

3.2.2 Magnet Neodymium

Magnet *permanent* merupakan komponen yang digunakan untuk motor BLDC *radial flux* yang di letakkan pada rotor berfungsi sebagai untuk menghasilkan elektromagnetik dengan kumparan stator. Dimana pada penelitian ini menggunakan 4, 6, dan 8 magnet permanen sebagai pilihan variasi namun yang digunakan yaitu 6 magnet permanen. Pada umumnya megnet permanen memiliki

banyak tipe tetapi yang digunakan pada penelitian ini adalah magnet *neodymium*.



Gambar 3. 5 Magnet Neodymium

3.2.3 Bearing

BLDC *radial flux*, bearing digunakan sebagai penunpu poros agar dapat berputar secara presisi dan mencegah gesekan langsung antar poros (as roda) dengan rumah motor (roda) performa *bearing* sangat di pengaruhi oleh pemilihan materialnya seperti keramik, *carbon steel*, *stainless steel*, *chrome steel*, dan Paduan antara kuningan atau aluminium material ini yang mempengaruhi salah satu *factor* performa *bearing* untuk menghasilkan putaran roda yang stabil dan meningkatkan efisiensi mekanis sistem.



Gambar 3. 6 Bearing

3.2.4 Kawat Email

Komponen selanjutnya adalah kawat email juga digunakan sebagai menghasilkan medan elektromagnetik yang dililitkan ke stator motor. Kawat ini memiliki lapisan isolasi tipis yang disebut (email), dalam penelitian ini menggunakan kawat email ukuran 0,4 mm dan dililitkan ke 6 stator untuk menggerakkan rotor.



Gambar 3. 7 Kawat Email

3.2.5 Sensor Reed Switch

Sensor *reed switch* merupakan sensor magnetik yang digunakan pada motor BLDC untuk memberikan umpan balik pada rangkaian kontrol dan mengatur siklus komutasi pada motor. Sistem kerja sensor ini adalah dengan mendeteksi medan magnet yang berada di salah satu sisi sensor, terjadi interaksi yang menyebabkan aliran arus terhubung atau terputus yang dipengaruhi oleh medan magnet.



Gambar 3. 8 *Reed Switch*

3.2.6 Baut dan Mur

Komponen selanjutnya adalah baut dan mur sebagai komponen penyambung mekanik utama. pada penelitian ini baut dan mur terbuat dari material campuran logam berbentuk segi enam dengan sistem ulir presisi yang berfungsi sebagai

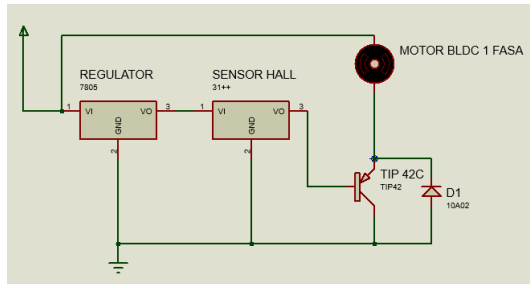
pengencang antara baut terhadap suatu benda dan mampu menahan getaran motor saat beroperasi.



Gambar 3. 9 Baut dan Mur

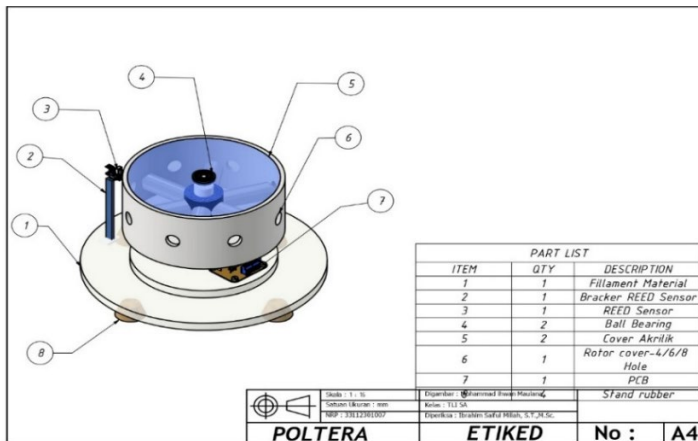
3.2.7 Rangkaian Pengganti

Pada rangkaian *driver* menggunakan sensor *hall* yang mendapatkan input tegangan sebesar 5V sedangkan sumber yang diberikan pada motor sampai tegangan 24V. Prinsip kerja *driver* tersebut yaitu ketika sensor *hall* dalam keadaan high pada kaki *output* sensor *hall* akan meneruskan arus atau memberikan sinyal pada kaki basis transistor TIP42 sehingga transistor akan *close* dan motor akan mendapatkan ground dan berputar. Dan apabila ketika sensor *hall effect* dalam keadaan *low* maka tegangan yang diberikan akan berada di titik kaki *collector* sampai basis transistor mendapatkan signal atau arus di kaki basisnya. Proses *switching* tersebut tersebutterus berulang sehingga motor akan terus berputar



Gambar 3. 10 Rangkaian pengganti driver

3.3 Desain Alat



Gambar 3. 11 Desain Alat

3.4 Tabel Nilai Parameter

Tabel 3. 1 Nilai Parameter

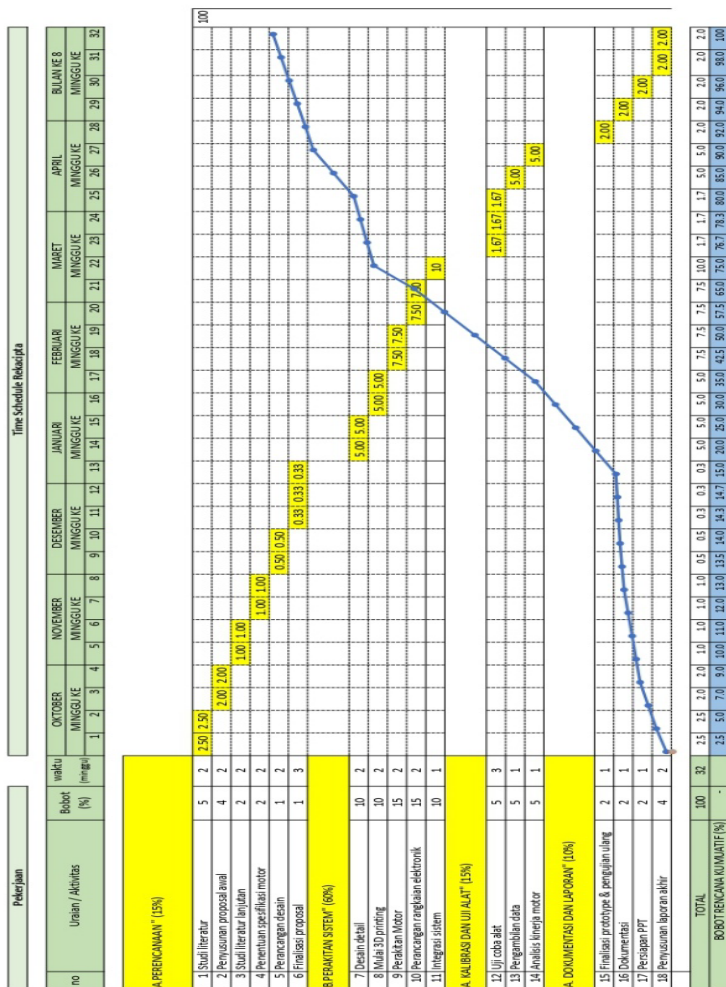
No.	Parameter	Nilai
1.	Jumlah Stator	6
2.	Jumlah Rotor	6
3.	Jumlah Lilitan	7200 lilitan
4.	Jumlah lilitan per slot	1200 lilitan
5.	Jumlah Magnet Rotor	6
6.	Jarak sudut antar magnet	45 derajat
7.	Diameter magnet Neodymium	25 x 2 mm
8.	Diameter kawat	0,4 mm

3.4.1 Tahap Pengambilan Data

Melakukan pengujian kecepatan motor dengan variabel jarak sensor dan kecepatan motor dengan variasi jumlah magnet

1. Pengujian kecepatan motor dengan variabel jarak sensor 3mm, 5mm, 1cm.
2. Pengujian kecepatan motor dengan variasi jumlah magnet dengan variasi 4 magnet, 6 magnet, 8 magnet

3.5 Prosedur Pengujian





BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Alat

Pada bab IV ini akan dijelaskan tentang hasil dan pembahasan data dari hasil pengujian pada Motor BLDC Satu Fasa 6 slot 6 pole. Meliputi perhitungan perancangan dan perhitungan perancangan Alat

Perhitungan perancangan alat dilakukan untuk menentukan parameter yang dibutuhkan dalam pembuatan motor BLDC. Perhitungan ini digunakan sebagai dasar agar rancangan yang dibuat sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

4.1.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian data Motor BLDC Satu Fasa *Radial Flux* ini adalah sebagai berikut:

- a. Sensor *Reed Switch*
- b. Transistor TIP 41 C
- c. Resistor

- d. Multimeter
- e. *Tachometer*
- f. *Power Supply Variable* 30 V/3 A
- g. Kabel probe dan kabel banana
- h. Motor *BLDC* Satu Fasa Axial Flux
- i. Penggaris Besi

4.2 Perhitungan Perancangan Alat

4.2.1 Perhitungan Jarak Antar Sudut Magnet Stator

Jarak antar sudut magnet stator dihitung untuk menentukan posisi setiap *slot* stator agar memiliki jarak yang sama.

$$\theta_{slot} = \frac{360^\circ}{\text{jumlah slot stator}}$$
$$\theta_{slot} = \frac{360^\circ}{6} = 60^\circ$$

Hasil dari perhitungan jarak antar sudut diperlukan untuk mencari jarak antar sudut pada permanent magnet stator dan rotor. Dalam perhitungan berpatokan pada lingkaran dengan derajat, dimana 360° di bagi jumlah stator yaitu sebanyak 6, menghasilkan jarak antar sudut sebesar 60° . Nilai tersebut menunjukkan bahwa setiap *slot* stator

memiliki jarak sudut yang sama sehingga susunan magnet menjadi merata.

4.2.2 Perhitungan jumlah Lilitan

Jumlah lilitan dihitung untuk menentukan banyaknya lilitan kawat pada setiap *slot* stator. Perhitungan dilakukan berdasarkan jumlah total lilitan yang dibagi dengan jumlah stator.

$$N_{per\ slot} = \frac{N_{total}}{s}, N_{per\ slot} = \frac{7200}{6} = 1200$$

Hasil perhitungan jumlah lilitan, diperoleh pada setiap slot stator sebesar 1.200 lilitan. Nilai tersebut diperoleh dari pembagian jumlah total lilitan sebanyak 7.200 lilitan terhadap 6 slot stator, sehingga setiap slot memiliki jumlah lilitan yang sama.

4.2.3 Perhitungan arus efektif

Dilakukan untuk menentukan nilai arus keluaran berdasarkan nilai arus puncak (*peak current*).

$$I_{rms} = \frac{1_{peak}}{\sqrt{2}}, I_{rms} = \frac{3}{\sqrt{2}} = 2,1A$$

Untuk mencari I_{rms} perlu mengetahui 1 peak, dimana 1 peak sama dengan puncak arus DC sumber di baagi akar 2 (ketentuan dari rumus), menghasilkan I_{rms} sebesar 2,1A

4.2.4 Perhitungan Kecepatan putar motor

Kecepatan putar motor dilakukan untuk mengetahui kecepatan sinkron berdasarkan frekuensi sumber dan jumlah kutub yang digunakan sebagai berikut.

$$N_s = \frac{120 \times f}{p}$$
$$N_s = \frac{120 \times 50}{6} = \frac{6.000}{6} = 1.000$$

Untuk mencari kecepatan putar rotor, diperlukan rumus seperti di atas, dimana 120 adalah ketentuan rumus dan f adalah frekuensi yang digunakan sebesar 50 Hz dan p adalah jumlah kutub yang gunakan sebesar 6, sehingga menghasilkan kecepatan putar sebesar 1.000 rpm.

4.2.5 Perhitungan tegangan efektif

Perhitungan tegangan efektif dilakukan untuk menentukan nilai tegangan keluaran berdasarkan tegangan sumber DC dan *duty cycle*

$$V_{rms} = V_{dc} \cdot \sqrt{\text{duty cycle}}$$

$$V_{rms} = 30 \cdot \sqrt{0,5} = 21,2V$$

Dalam proses pembuatan motor, penentuan tegangan (V_{rms}) dibutuhkan untuk menyemurnakan rumusan lainnya.

Vrms di peroleh dengan mencari Vdc, Vdc merupakan tegangan DC suber dan akar dari *duty cycle* sebesar 50% (0,5). Sehingga menghasilkan Vrms sebesar 21,2 V

4.2.6 Perhitungan daya listrik

Daya listrik dilakukan untuk mengetahui besar daya masukan (*input power*) yang digunakan oleh motor.

$$P_{input} = V_{rms} \cdot I_{rms}$$

$$P_{input} = 21,2 \times 2,1 = 44,52 \text{ W}$$

Setelah mengetahui nilai Vrms dan Irms maka selanjutnya mencari nilai daya listrik, dimana nilai Vrms 21,2 dikalikan nilai Irms 2,1 sehingga di peroleh daya listrik sebesar 40W

4.2.7 Perhitungan daya mekanik

Perhitungan daya mekanik dilakukan untuk mengetahui besar daya keluaran motor berdasarkan torsi mekanik dan kecepatan putar motor.

$$p_{output} = \frac{T \cdot N}{9,5488}$$

$$P_{output} = \frac{0,60 \cdot 1.000}{9,5488} = 62,8$$

Untuk mencari nilai daya mekanik, perlu diketahui nilai torsi mekanik sebesar 0,60 Nm, dan nilai N (kecepatan

putar rotor) sebesar 1000 RPM dan dibagi dengan ketentuan rumus yang bernilai 9,5488 sehingga dapat di ketahui nilai daya mekanik sebesar 62,8W.

4.2.7 Perhitungan torsi mekanik

Torsi mekanik dilakukan untuk mengetahui besar torsi yang dihasilkan motor berdasarkan daya keluaran dan kecepatan sudut.

$$T = \frac{P_{out}}{\omega} = \frac{62,8}{104,66} = 0,60 \text{ Nm}$$

Hasil dari perhitungan, diperoleh nilai torsi mekanik (T) sebesar 0,60 Nm. Nilai tersebut diperoleh dari daya keluaran (P_{out}) sebesar 62,8 W dan kecepatan sudut (ω) sebesar 104,66 rad/s.

4.2.8 Perhitungan torsi elektrik

Perhitungan torsi elektrik dilakukan untuk mengetahui besar torsi elektromagnetik yang dihasilkan motor berdasarkan konstanta torsi dan arus yang mengalir

$$T = Kt \cdot I \quad T = 0,2 \cdot 3 = 0,60 \text{ Nm}$$

Diketahui Kt (Konstanta Torsi) bernilai 0,2 Nm/A dan I = arus DC sumber (3A). Hasil perhitungan diperoleh nilai Torsi Elektrik sebesar 0,6 Nm.

4.2.9 Perhitungan efisiensi

Efisiensi dilakukan untuk mengetahui tingkat perbandingan antara daya masukan dan daya keluaran pada motor.

$$\eta = \frac{P_{input}}{P_{output}} \times 100 \%$$
$$\eta = \frac{44,52}{62,8} \times 100 \% = 70,89\%$$

Dari hasil perhitungan di peroleh nilai efisiensi sebesar 70,89%. Nilai tersebut diperoleh dari Pinput bernilai 44,52W dan Poutput 62,8 kemudian di kalikan 100 %.Hasil dari perhitungan sebesar 70,89%

4.2.10 Perhitungan torsi keseluruhan

Torsi dilakukan untuk mengetahui besar torsi motor berdasarkan nilai efisiensi, tegangan efektif, arus efektif, faktor daya, dan kecepatan sudut.

$$T = \frac{\eta \times V_{rms} \times I_{rms} \times \cos \phi}{\omega}$$
$$T = \frac{70,89 \times 21,2 \times 2,1 \times 0,9}{104,66} = 27,13 \text{ Nm}$$

Hasil dari perhitungan torsi keseluruhan, di butuhkan nilai perhitungan efisiensi sebesar 70,89%, tegangan (V_{rms}) sebesar 21,2V, arus (I_{rms}) sebesar 2,1 A, faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0,9, nilai ω bernilai 104,66 rad/s Sehingga hasil nilai perhitungan torsi keseluruhan sebesar 27,13Nm.

4.2.11 Perhitungan Arus

Perhitungan arus dilakukan untuk mengetahui besar arus berdasarkan nilai torsi dan konstanta torsi motor. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$I_a = \frac{T}{K_t}$$
$$I_a = \frac{0,6 \text{ Nm}}{0,2 \text{ Nm}} = 3 \text{ A}$$

Untuk mencari nilai Arus, dibutuhkan nilai dari Torsi yang bernilai 0,6 Nm dan nilai dari Konstanta torsi yang bernilai 0,2 Nm/A, sehingga mendapatkan hasil dari nilai arus sebesar 3A.

4.2.12 Perhitungan Induksi balik EMF

Perhitungan tegangan induksi balik (*Back EMF*) dilakukan untuk mengetahui besar tegangan induksi yang

dihasilkan motor berdasarkan konstanta tegangan motor dan kecepatan sudut rotor.

$$E_a = K_e \cdot \omega$$

$$E_a = 0,2 \cdot 104,66 = 20,932V$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai tegangan induksi balik (*Back EMF*) (E_a) sebesar 20,932 V. Nilai tersebut diperoleh dari konstanta tegangan motor (K_e) sebesar 0,2 V/rad/s dan kecepatan sudut rotor (ω) sebesar 104,66 rad/s.

4.2.13 Perhitungan Tegangan

Tegangan dilakukan untuk mengetahui besar tegangan terminal motor berdasarkan tegangan induksi balik (*Back EMF*),

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a$$

$$V_t = 20,932n + 3 \times 0,033 = 21V$$

Hasil perhitungan, diperoleh nilai tegangan terminal (V_t) sebesar 21 V. Nilai tersebut diperoleh dari tegangan induksi balik (E_a) sebesar 20,932 V, arus (I_a) sebesar 3 A, dan resistansi angker (R_a) sebesar 0,033 Ω .

4.2.14 Perhitungan Konstanta gaya gerak listrik

Perhitungan konstanta gaya gerak listrik dilakukan untuk mengetahui nilai konstanta tegangan motor berdasarkan tegangan induksi balik (*Back EMF*) dan kecepatan sudut rotor.

$$K_e = \frac{E_a}{\omega} = \frac{20,932}{104,66} = 0,2 \frac{V}{\text{rad/s}}$$

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times N}{60} = \frac{2 \times 3,14 \times 1000}{60} = 104,66 \text{ rad/s}$$

Untuk mencari nilai Konstanta gaya gerak listrik maka membutuhkan nilai dari E_a yang berjumlah 20,932 dan nilai dari kecepatan sudut rotor yang bernilai 104,66 rad/s. Sehingga mendapatkan hasil perhitungan konstanta gaya gerak listrik yaitu sebesar 0,2 V/rad/s.

4.2.15 Perhitungan resistansi

Resistansi dilakukan untuk mengetahui nilai resistansi angker berdasarkan tegangan terminal, tegangan induksi balik (*Back EMF*)

$$R_a = \frac{V_T - E_a}{I_a} = \frac{21 - 20,9}{3} = 0,033 \Omega$$

Hasil perhitungan dari resistansi, maka diutuhkan nilai tegangan (V_t) sebesar 21V, tegangan induksi balik (E_a) sebesar 20,9 V dan nilai I_a 3A. sehingga memperoleh hasil perhitungan sebesar 0,033 Ω

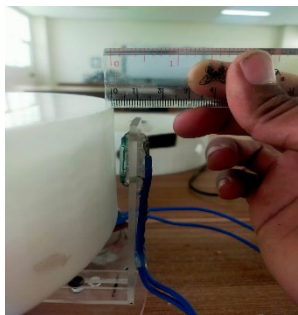
4.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dan Pengujian penelitian ini di laksanakan di Lab Elektrik Drive serta Lab basic Elektrik, Politeknik Negeri Madura. Rangkaian pengujian yang akan di lakukan antara lain :

1. Pengujian jarak sensor terhadap kecepatan
2. Pengujian Jumlah kutub terhadap kecepatan

4.3.1 Pengujian jarak sensor 3 mm 4 pole

Gambar 4.1 merupakan bukti dari hasil pengukuran jarak sensor terhadap kecepatan. Hasil data dari pengukuran jarak sensor 3mm 6 pole di tunjukkan pada tabel 4.1

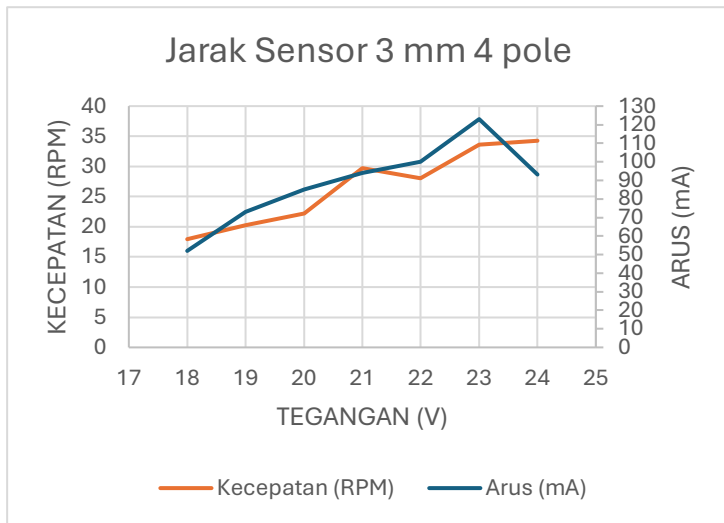


Gambar 4.1 Jarak sensor 3mm 4pole

Tabel 4.1 Data jarak sensor 3 mm 4 pole

Tegangan Input Motor (V)	Arus Input Motor (mA)	Kecepatan (RPM)	Waktu nyala (menit)	Nilai Suhu (°C)	Medan Magnet (T)
18	52	17,94	1	28,6	0,0156
19	73	20,28	1	29,2	0,0220
20	85	22,22	1	30,4	0,0256
21	94	29,75	1	31,1	0,0283
22	100	28,03	1	32,3	0,0301
23	123	33,57	1	33,4	0,0370
24	93	34,26	1	34,5	0,0280

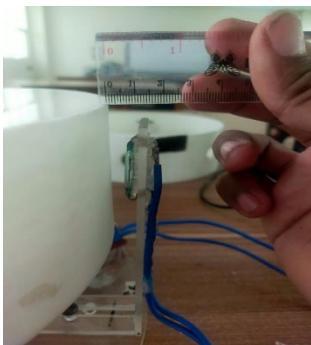
Dari hasil tabel data di atas juga terdapat data grafik sebagai gambar dibawah ini.



Gambar 4 2 Grafik Jarak Sensor 3mm 4 pole

4.3.2 Pengujian jarak sensor 5 mm 4 pole

Gambar 4.2 merupakan bukti dari hasil pengukuran jarak sensor terhadap kecepatan. Hasil data dari pengukuran jarak sensor 3mm 6 pole di tunjukkan pada tabel 4.2

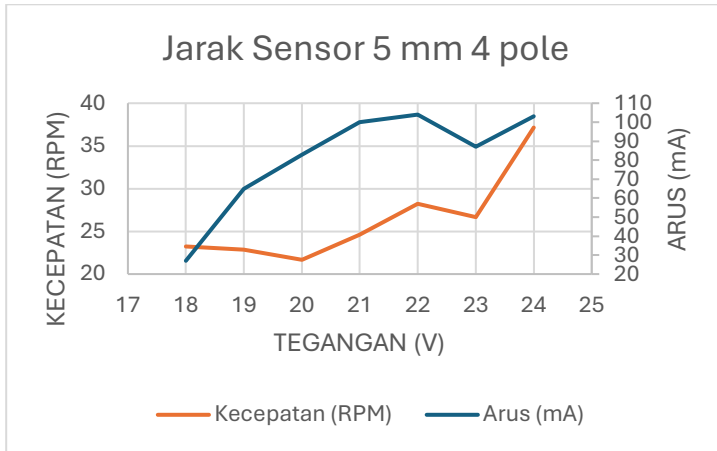


Gambar 4.3 Jarak sensor 5 mm 4pole

Tabel 4 2 Data jarak sensor 5 mm 4pole

Tegangan Input Motor (V)	Arus Input Motor (mA)	Kecepatan (RPM)	Waktu nyala (menit)	Nilai Suhu (°C)	Medan Magnet (T)
18	27	23,24	1	28,5	0,0081
19	65	22,86	1	29,6	0,0196
20	83	21,67	1	30,5	0,0250
21	100	24,,58	1	31,7	0,0301
22	104	28,23	1	32,4	0,0313
23	87	36,65	1	33,8	0,0262
24	103	37,15	1	35	0,0310

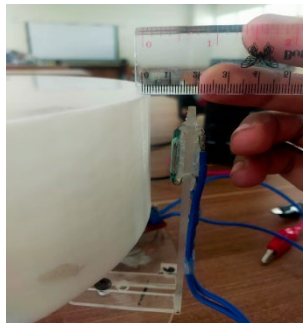
Dari hasil tabel data di atas juga terdapat data grafik sebagai gambar dibawah ini.



Gambar 4 3 Grafik Jarak Sensor 5 mm 4 pole

4.3.3 Pengukuran Jarak sensor 1 cm 4 pole

Gambar 4.4 merupakan bukti dari hasil pengukuran jarak sensor terhadap kecepatan Hasil data dari pengukuran jarak sensor 3mm 6 pole di tunjukkan pada tabel 4.3.

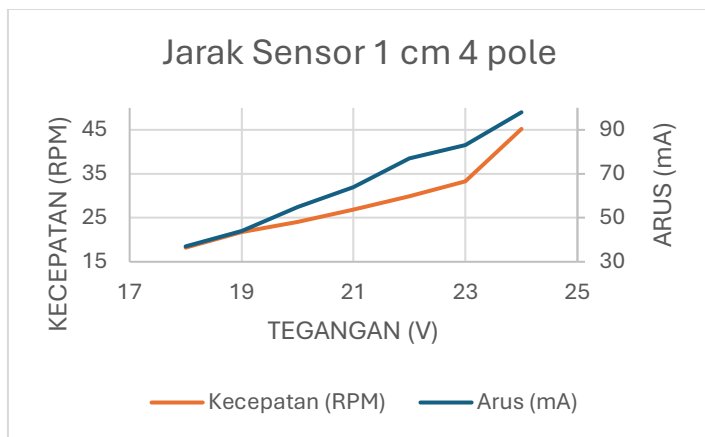


Gambar 4 4 Jarak sensor 1 cm 4 pole

Tabel 4 3 Pengukuran Jarak Sensor 1 cm 6 pole

Tegangan Input Motor (V)	Arus Input Motor (A)	Kecepatan (RPM)	Waktu nyala (menit)	Nilai Suhu (°C)	Medan Magnet (T)
18	37	18,22	1	28,3	0,0111
19	44	21,76	1	29,1	0,0132
20	55	24,02	1	30	0,0165
21	64	26,92	1	30,9	0,0193
22	77	29,86	1	31,8	0,0232
23	83	33,33	1	32,7	0,0250
24	98	45,21	1	33,9	0,0295

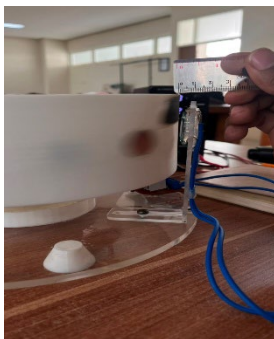
Dari hasil tabel data di atas juga terdapat data grafik sebagai gambar dibawah ini.



Gambar 4 4 Grafik Jarak Sensor 1 cm 4 pole

4.3.4 Pengukuran Jarak sensor 3 mm 6 pole

Gambar 4.5 merupakan bukti dari hasil pengukuran jarak sensor terhadap kecepatan hasil data dari pengukuran jarak sensor 3mm 6 pole di tunjukkan pada tabel 4.4



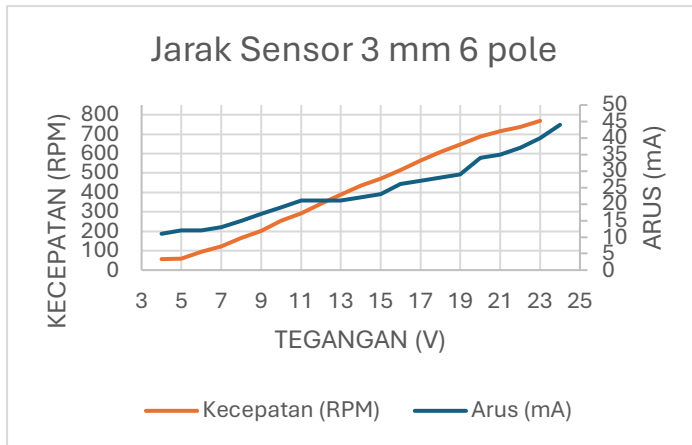
Gambar 4 5 Pengukuran Jarak Sensor 3 mm 6 pole

Tabel 4 4 Tabel Pengukuran Jarak Sensor 3 mm 6 pole

Tegangan Input Motor (V)	Arus Input Motor (A)	Kecepatan (RPM)	Waktu nyala (menit)	Nilai Suhu (°C)	Medan Magnet (T)
4	11	56,55	1	25	0,0033
5	12	59,43	1	25,8	0,0036
6	12	95,58	1	26,5	0,0036
7	13	121,11	1	26,9	0,0039
8	15	165,49	1	27,2	0,0045
9	17	202,41	1	27,7	0,0051
10	19	253,10	1	28	0,0057
11	21	291,93	1	28,5	0,0064
12	21	342,43	1	28,9	0,0064
13	21	389,56	1	29,4	0,0064
14	22	435,89	1	29,9	0,0066
15	23	470,60	1	30	0,0069

16	26	514,70	1	30,3	0,0078
17	27	564,29	1	30,8	0,0081
18	28	608,99	1	31	0,0084
19	29	646,12	1	31,4	0,0086
20	34	686,38	1	31,8	0,0102
21	35	715,76	1	32,3	0,0105
22	37	737,59	1	32,7	0,0111
23	40	768,32	1	33	0,0120
24	44	802,56	1	33,5	0,0132

Dari hasil tabel data di atas juga terdapat data grafik sebagai gambar dibawah ini.



Gambar 4 5 Grafik jarak Sensor 3 mm 6 pole

4.3.5 Pengukuran Jarak Sensor 5 mm 6 pole

Gambar 4.6 merupakan bukti dari hasil pengukuran jarak sensor terhadap kecepatan. Hasil data dari pengukuran jarak sensor 5mm 6 pole di tunjukkan pada tabel 4.5



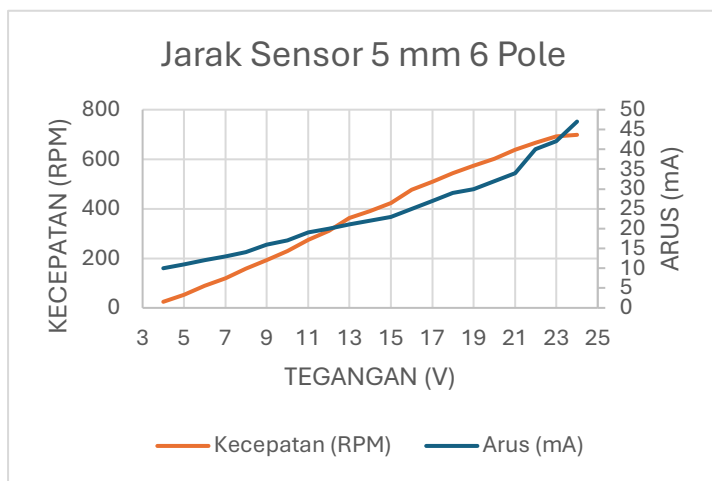
Gambar 4 6 Pengukuran Jarak Sensor 5 mm 6 pole

Tabel 4 5 Pengukuran Jarak sensor 5 mm 6 pole

Tegangan Input Motor (V)	Arus Input Motor (A)	Kecepatan (RPM)	Waktu nyala (menit)	Nilai Suhu (°C)	Medan Magnet (T)
4	10	24,58	1	25,2	0,0030
5	11	51,86	1	25,8	0,0033
6	12	90,17	1	26	0,0036
7	13	120,21	1	26,4	0,0039
8	14	157,19	1	26,7	0,0042
9	16	191,80	1	27	0,0048
8	17	228,53	1	27,3	0,0051
11	19	273,80	1	27,6	0,0057
12	20	310,25	1	27,9	0,0060
13	21	362,97	1	28,5	0,0064
14	22	391,76	1	28,8	0,0066

15	23	423,85	1	29,1	0,0069
16	25	477,60	1	29,6	0,0075
17	27	508,45	1	29,9	0,0081
18	29	542,82	1	30,4	0,0086
19	30	542,82	1	30,9	0,0090
20	32	573,50	1	31	0,0096
21	34	602,79	1	31,6	0,0102
22	40	666,29	1	32	0,0120
23	42	691,55	1	32,8	0,0126
24	44	698,47	1	33,4	0,0141

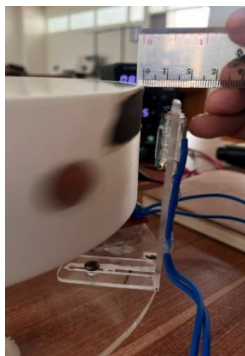
Dari hasil tabel data di atas juga terdapat data grafik sebagai gambar dibawah ini.



Gambar 4 6 Grafik Jarak Sensor 5 mm 6 pole

4.3.6 Pengukuran Jarak sensor 1 cm 6 pole

Gambar 4.7 merupakan bukti dari hasil pengukuran jarak sensor terhadap kecepatan. Hasil data dari pengukuran jarak sensor 1 cm 6 pole di tunjukkan pada tabel 4.6



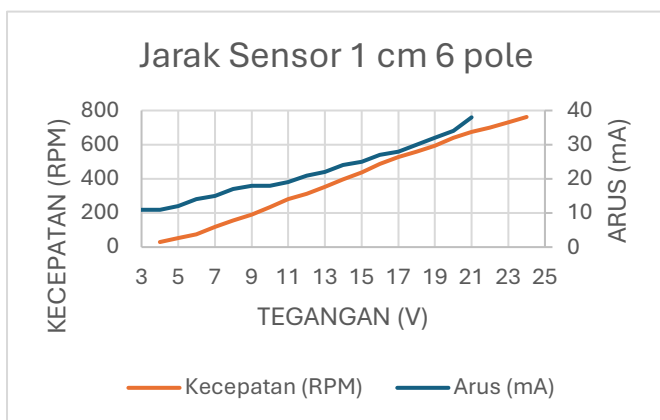
Gambar 4 7 Pengukuran Jarak Sensor 1 cm 6 Pole

Tabel 4 6 Pengukuran Jarak Sensor 1 cm 6 pole

Tegangan Input Motor (V)	Arus Input Motor (A)	Kecepatan (RPM)	Waktu nyala (menit)	Nilai Suhu (°C)	Medan Magnet (T)
4	09	29,60	1	25,1	0,0027
5	10	53,72	1	25,5	0,0030
6	11	75,74	1	25,9	0,0033
7	11	118,44	1	26,4	0,0033
8	12	156,08	1	26,9	0,0036
9	14	191,82	1	27,3	0,0042
10	15	235,65	1	27,6	0,0045
11	17	280,11	1	28	0,0051
12	18	312,77	1	28,4	0,0054
13	18	353,88	1	28,8	0,0054
14	19	396,00	1	29,1	0,0057
15	21	437,19	1	29,5	0,0064

16	22	488,74	1	29,8	0,0066
17	24	527,36	1	30	0,0072
18	25	559,84	1	30,3	0,0075
19	27	594,84	1	30,7	0,0081
20	28	641,53	1	31	0,0084
21	30	673,83	1	31,4	0,0090
22	32	699,00	1	31,8	0,0096
23	34	732,38	1	32,3	0,0102
24	38	762,18	1	32,8	0,0114

Dari hasil tabel data di atas juga terdapat data grafik sebagai gambar dibawah ini.



Gambar 4 7 Grafik Sensor 1 cm 6 pole

4.3.7 Pengujian Jumlah kutub Terhadap Kecepatan

Berdasarkan hasil pengujian, jumlah kutub rotor memberikan pengaruh terhadap kecepatan dan kemampuan motor dalam memulai putaran. Pada konfigurasi rotor 4 pole dan 6 pole, motor masih dapat berputar sesuai dengan kondisi

pengujian, meskipun terdapat perbedaan karakteristik kecepatan yang dihasilkan. Sementara itu, pada konfigurasi 8 pole, motor tidak mampu memulai rotasi sehingga tidak menghasilkan putaran. Kondisi tersebut dapat dijelaskan berdasarkan teori sinkronisasi *slot-pole*.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Deng et al., kombinasi jumlah slot dan pole yang kurang sesuai dapat menyebabkan distribusi medan magnet menjadi tidak seimbang. Kondisi tersebut mengakibatkan *cogging torque* yang tinggi serta torsi rata-rata yang rendah, sehingga motor mengalami kesulitan untuk memulai putaran atau bahkan tidak dapat berputar [8]. Pada penelitian ini, konfigurasi 6 slot–8 pole menunjukkan kondisi tersebut, di mana motor tidak mampu memulai rotasi. Sementara itu, konfigurasi 6 slot–4 pole masih dapat berputar, namun karakteristik putarannya tidak sebaik konfigurasi 6 slot–6 pole. Hal ini menunjukkan bahwa rasio *slot per pole per phase* (SPP) pada konfigurasi tersebut belum memberikan kondisi yang optimal bagi motor BLDC satu fasa sehingga proses komutasi belum berlangsung secara maksimal.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Liu et al. menyatakan bahwa kombinasi *slot-pole* yang sesuai, seperti 36 slot–6 pole, mampu menghasilkan torsi yang lebih tinggi serta back-EMF yang lebih stabil. Sebaliknya, konfigurasi yang kurang sesuai, seperti 30 slot–4 pole, menghasilkan efisiensi yang lebih rendah dan berpotensi mengalami gangguan pada proses komutasi[9]. Hasil penelitian tersebut memperkuat bahwa kesesuaian atau sinkronisasi antara jumlah slot stator dan jumlah kutub rotor merupakan faktor penting dalam perancangan motor BLDC *radial-flux*, karena berpengaruh terhadap keseimbangan gaya elektromagnetik, kestabilan komutasi, dan kinerja motor secara keseluruhan.

4.4 Tantangan dan Solusi

Terdapat beberapa tantangan serta solusi yang dihadapi dalam perancangan dan pengambilan data pada Motor BLDC Satu Fasa *Radial Flux* ini, yaitu sebagai berikut:

1. Salah satu tantangan dalam perancangan alat adalah komponen transistor pada rangkaian *driver control* cepat panas saat pengujian. Oleh karena itu, setiap

- pengujian (A, B, dan C) harus menggunakan rangkaian *driver control* tersendiri yang berbeda.
2. Pada tahap pengambilan data pertama kali (kondisi percobaan B), sensor belum beradaptasi dengan baik terhadap motor. Hal ini menjadi tantangan karena membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menemukan posisi tepat saat sensor dapat mendeteksi medan magnet di antara magnet permanen stator dan rotor.
 3. Kendala selanjutnya, pada saat pengambilan data pada percobaan C dan A. Kendala yang dihadapi adalah sama dengan kendala pada percobaan B. Dimana hal tersebut memakan waktu lama untuk mencari posisi dimana sensor mendeteksi magnet. Hal tersebut, menjadi hambatan untuk pengambilan data. Dikarenakan motor tidak berputar karena sensor *reed switch* yang digunakan tidak mendeteksi adanya medan magnet.
 4. Kendala terakhir adalah penggunaan *tachometer* secara bergantian. Sehingga kita harus meminjam dan hanya ada satu buah *tachometer*. Maka dari itu, pengambilan data dilakukan secara bergantian dengan partner lain.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BABV

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari keseluruhan proses yang sudah dilakukan pada penyusunan Tugas Akhir ini, dimulai dari studi Literatur, perancangan alat dan pengujiannya maka, dapat disimpulkan bahwa :

1. Motor BLDC satu fasa *radial flux* 6 slot 6 pole permanent magnet berhasil dirancang dan dirakit. Sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Motor menggunakan konfigurasi 6 slot stator, magnet permanen neodymium pada rotor, serta sensor *reed switch* sebagai pendeteksi posisi medan magnet untuk proseskomutasi
2. Pengujian dilakukan menggunakan variasi jarak sensor *reed switch* sebesar 3 mm, 5 mm, dan 1 cm pada konfigurasi rotor 4 pole dan 6 pole untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja motor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jarak sensor berpengaruh terhadap proses pendeteksian medan magnet rotor sehingga

memengaruhi kecepatan putaran (RPM) dan arus yang mengalir pada motor.

3. Variasi jumlah kutubrotor (4 pole 6 pole) juga memengaruhi karakteristik putaran motor. Perbedaan konfigurasi jumlah kutub menghasilkan nilai kecepatan dan arus yang berbeda, sehingga jumlah kutub rotor menjadi salah satu parameter penting yang menentukan performa motor BLDC satu fasa *radial flux*.
4. Berdasarkan hasil pengujian, motor mampu beroperasi dengan baik dan mencapai kecepatan putar maksimum sebesar 291,23 RPM dengan arus sebesar 21 A. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem penggerak, sensor *reed switch*, dan rangkaian control mampu bekerja sesuai fungsinya. Selain itu, pemilihan jarak sensor yang tepat sangat penting untuk menghasilkan pembacaan medan magnet yang stabil sehingga motor dapat bekerja lebih optimal.

4.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi jarak sensor yang lebih banyak (misalnya 2 mm, 4 mm,

6 mm, 8 mm, dan 10 mm) agar diperoleh jarak sensor optimum.

2. Menggunakan sensor posisi dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi, seperti *Hall Effect Sensor*, sehingga proses komutasi menjadi lebih stabil dibandingkan *Reed Switch*.
3. Melakukan optimasi jumlah lilitan stator, ukuran magnet permanen, dan diameter kawat *email* untuk meningkatkan performa motor.
4. Menggunakan *driver* motor dan sistem kontrol yang lebih baik agar arus yang mengalir lebih stabil serta meningkatkan efisiensi kerja motor.
5. Melakukan pengujian dengan variasi beban agar diperoleh karakteristik motor pada kondisi tanpa beban maupun berbeban sehingga hasil penelitian lebih komprehensif.
6. Menggunakan alat ukur RPM dan arus dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi untuk meminimalkan kesalahan pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

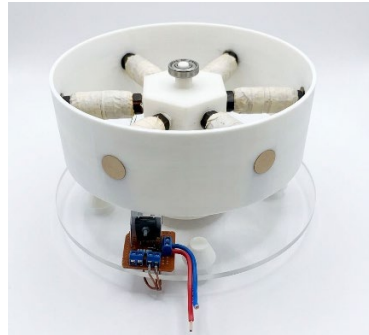
- [1] C. F. Yuliyanto and Asrori, “Pengaruh Jumlah Slot Stator Terhadap Kecepatan Putaran dan Suhu pada Motor BLDC,” *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 3, p. 11, Jul. 2024, doi: 10.47134/jme.v1i3.2962.
- [2] J. C. Gamazo-Real, E. Vázquez-Sánchez, and J. Gómez-Gil, “Position and speed control of brushless dc motors using sensorless techniques and application trends,” Jul. 2010. doi: 10.3390/s100706901.
- [3] M. K. Sari, W. Hadi, and W. Cahyadi, “Analisis Motor Brushless Direct Current Aksial Fluks 3 Fasa Menggunakan Magenet Permanen Neodymium Sebagai Prime Mover Generator,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 19, no. 2, p. 195, Dec. 2020, doi: 10.24843/mite.2020.v19i02.p11.
- [4] M. Reza, A. Pahlavani³, M. Bagher, B. Syarifian², M. Ebadpour¹, and M. R. Feyzi², “Strategi Kontrol Tanpa Sensor Posisi Sederhana untuk Motor DC Tanpa Sikat Fluks Radial Penggerak Motor Menggunakan Sensor

- Arus Tunggal,” *Jurnal Penelitian Ilmu Dasar dan Terapan*, vol. 2, no. 5, pp. 4529–4541, 2012, [Online]. Available: www.textroad.com
- [5] H. Prasetijo, Winasis, Priswanto, and D. Hermawan, “Design of a single-phase radial flux permanent magnet generator with variation of the stator diameter,” *J. Teknol.*, vol. 81, no. 4, pp. 75–86, 2019, doi: 10.11113/jt.v81.12889.
- [6] A. R. Kurniawan, “RANCANG BANGUN MOTOR SEARAH TANPA SIKAT SATU FASA SKRIPSI oleh.”
- [7] R. Kurniawan, E. A. Hakim, and M. Irfan, “Analisis Pengaruh Variasi Lebar Air Gap Pada Motor Brushless DC Radial Fluks,” *Analisis Pengaruh Variasi Lebar Air...*) *Journal of Mechatronic and Electrical Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.22219/jmee.xxxx.xxxx.
- [8] W. Deng, S. Zuo, F. Lin and S. Wu, "influence of pole and slot combination on vibration and noise in external rotor axial flux in wheel motors," *journal the*

institution of engineering and technology, vol. 11, no. 4, pp. 586-594,2017.

- [9] H.LIU,y. HAO and W . FU. “Performance comparisonn of axial flux modulated motor with two slot pole combination,” *Tukish journal of electrical engineering dan computer sciences*, vol. 25, No. 1,pp. 484-496, 2017.

LAMPIRAN



BIODATA PENULIS

**Mohamad Ihwan Maulana**

Dilahirkan di Pamekasan, 29 April 2005 bertempat di Dsn. Bata Bata, Kec.Pamekasan, Kab. Pamekasan. Penulis merupakan anak Pertama dari dua saudara dari seorang Kuli bangunan. Riwayat pendidikan penulis

Adalah lulusan SDN Lawangan Daya 3, lulusan MtsN 2 Pamekasan, lulusan SMAN 5 Pamekasan. Pada tahun 2023 penulis memutuskan untuk melanjutkan Pendidikan di Politeknik Negeri Madura tepatnya di Jurusan Teknologi Elektro, Program Studi D3 Teknik Listrik Industri, Selama berkuliah di Politeknik Negeri Madura, penulis juga aktif dalam mengikuti organisasi yaitu Unit Kegiatan Mahasiswa Kerohanian, Dalam Menempuh Pendidikan ini, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan Judul “**Rancang Bangun Motor *Brushless Direct Current* Satu Fasa *Radial Flux Permanent Magnet 6 Pole 6 Slot*”.**