

**LAPORAN MAGANG INDUSTRI
PERHITUNGAN DESAIN ROTOR PADA SWITCHED
RELUCTANCE MOTOR 3 (TIGA) PHASE
PUI-SKO & STP OTOMOTIF ITS**



Disusun Oleh :

ALFIN NUR SALIM 10211710010002

Dosen Pembimbing :

Hendro Nurhadi Dipl.Ing., P.hD.

19620424 198903 1 005

**PROGRAM STUDI S1 TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA
KONVERSI ENERGI**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2021



LEMBAR PENGESAHAN
PEMBIMBING MAGANG

Yang bertandatangan dibawah ini,

Nama : Dr. Bambang Sudarmanta S.T.,M.T.
NIK : 197301161997021001
Jabatan : Kepala PUI-SKO & STP Otomotif ITS

Menerangkan bahwa mahasiswa,

Nama : ALFIN NUR SALIM
NRP : 10211710010002
Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen : Teknik Mesin Industri
Fakultas : Vokasi ITS

Telah menyelesaikan Magang Industri di

Nama Perusahaan : PUI-SKO & STP Otomotif ITS
Alamat Perusahaan : Jl. Teknik Sipil ITS Keputih Sukolilo
Bidang : Riset Motor Listrik SRM
Waktu Pelaksanaan : 01 September 2020 s.d. 31 Desember 2020

Surabaya, 01 Februari 2021

Pembimbing Magang

Dr. Bambang Sudarmanta ST.MT

NIP 197301161997021001



LEMBAR PENGESAHAN
DOSEN PEMBIMBING

Laporan Magang Industri dengan judul

**PERHITUNGAN DESAIN STATOR PADA SWITCHED
RELUCTANCE MOTOR 3 (TIGA) PHASE
di PUI-SKO & STP OTOMOTIF ITS**

Telah disetujui dan disahkan sebagai Laporan Magang Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Pada tanggal

Dosen Pembimbing

Sincerely

Assoc. Prof. Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing., Ph.D.
19020424 198903 1 003



KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat, nikmat, rahmat dan mukjizat-Nya yang senantiasa menyertai kami, sehingga kami dapat menyelesaikan proposal rancang bangun switched reluctance motor.

Proposal ini sebagai tugas kami untuk menyelesaikan program magang industri di PUI SKO & STP ITS. Dalam proses pembuatan proposal, kami mendapat bimbingan dan support dari berbagai pihak baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Pada kesempatan kali ini, kami ingin mengucapkan terima kasih yang kepada :

- 2 Allah SWT yang senantiasa memberi rahmat, berkat, kemudahan dan kelancaran pelaksanaan dan penyusunan proposal magang
- 3 Orang tua yang selalu memberi semangat dan dukungan baik secara moril maupun materiil kepada kami
- 4 Bapak Dr. Bambang Sudarmanta ST., MT. selaku dosen pembimbing magang, yang telah membimbing dalam pelaksanaan magang ini dan yang memberikan saran, kritik, dan semangat kepada kami.

Surabaya,..... 2020

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GRAFIK	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Manfaat	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Profil PUI SKO & STP ITS	2
1.5.1 Sejarah PUI SKO & STP ITS	2
1.5.2 Visi dan Misi Perusahaan	3
1.5.3 Struktur Organisasi PUI SKO & STP OTOMOTIF ITS	4
1.5.4 Strategi Bisnis Menjalani Mitra	5
1.5.5 Aspek Management	6
1.5.5.1 Roadmap Pengembangan Litbangrap Iptek	6
1.6. Lingkup Unit Kerja	7
1.6.1. Lokasi Unit Kerja	7
1.6.2. Lingkup penugasan	7
1.6.3. Rencana Penjadwalan.....	7
1.7. Fasilitas.....	8

BAB II KAJIAN TEORITIS



2.1 Riset Switched Reluctance Motor	17
2.2 Motor Listrik	19
2.3 Motor arus bolak-balik AC	20
2.3.1 Motor Sinkron	21
2.3.2 Motor Induksi	21
2.3.2.1 Motor Induksi Satu Fase	22
2.3.2.2 Motor Induksi Tiga Fase	22
2.4 Motor Listrik Arus Searah DC	22
2.4.1 Motor DC sumber daya terpisah (Separately Excited)	23
2.4.2 Motor DC sumber daya sendiri (Self Excited)	23
2.4.2.1 Motor DC shunt (Paralel)	23
2.4.2.2 Motor DC Seri	23
2.4.2.3 Motor DC Kompon (Gabungan)	24
2.5 Switched Reluctance Motor	24
2.5.1 Prinsip kerja motor SRM	25
2.5.2 Part yang digunakan pada motor SRM	26
2.5.2.1 Rotor	27
2.5.2.2 Strator	27
2.5.2.3 Inverter	28

BAB III AKTIVITAS PENUGASAN MAGANG INDUSTRI

3.1 Realisasi Kegiatan Magang Industri	30
3.2 Relevansi Teori dan Praktek.....	40

BAB IV REKOMENDASI

4.1 Flow Chat Diagram	41
4.2 Motor Type	41
4.3 Pemilihan Jumlah Pole	42
4.4 Hubungan Antara Flux dan Sudut Rotasi	44
4.5 Hubungan Antara Flux dan Arus	45
4.6 Metode Pengoperasian SRM	47



4.7 Pemilihan Bahan.....	48
4.8 Dimensi Motor.....	49
4.8.1 Menghitung Bore Diameter.....	50
4.8.2 Menghitung Stator Pole Width (w_{sp}).....	50
4.8.3 Menghitung Rotor Pole Width (w_{rp}).....	50
4.8.4 Menghitung Stator Yoke Height (b_{sy}).....	51
4.8.5 Menghitung Rotor Yoke Height (b_{ry}).....	51
4.8.6 Menghitung Stator Pole height (h_{sp}).....	51
4.8.7 Menghitung Rotor Pole height (h_{rp}).....	51
4.8.8 Menghitung Number of Turn per Phase (Tph) [3].....	52
4.8.9 Menentukan Wire Size.....	52
4.8.10 Perencanaan Poros.....	53
4.8.11 Pemilihan Bearing.....	57
4.9 Hasil Simulasi.....	59
4.10 Rekomendasi.....	61
4.11 Hasil Perancangan.....	63
4.11.1 Stator.....	63
4.11.2 Rotor.....	63
4.11.3 Shaft.....	64
4.11.4 Cassing.....	64
4.11.5 Tutup Depan.....	65
4.11.6 Tutup Belakang.....	65
4.11.7 Hasil Assembly.....	66

BAB V TUGAS KHUSUS

5.1. Flow Diagram.....	67
5.2. Menghitung Dimensi Rotor.....	68
5.2.1 Menghitung Bore Diameter.....	69
5.2.2. Menghitung Rotor Pole Width (w_{rp}).....	69
5.2.3. Menghitung Rotor Yoke Height (b_{ry}).....	69
5.2.4. Mnghitung Rotor Pole Height(h_{rp}).....	69
5.3. Perencanaan Poros dan Pasak.....	70



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS



5.4. Hasil Perancangan	76
5.5. Hasil Assembly.....	76
DAFTAR PUSTAKA	77



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Struktur Organisasi PUI – STP Otomotif IT	5
Gambar 1.2. Roadmap penguatan kelembagaan	6
Gambar 1.3. Jadwal Realisasi Magang.....	7
Gambar 1.4. Gedung Riset	8
Gambar 1.5. 3 Axis and 5 Axis CNC	8
Gambar 1.6. Cobham Software	9
Gambar 1.5. Virtual Performance Solution Software	9
Gambar 1.6. Dynamometer	9
Gambar 1.7. CNC Lathe	10
Gambar 1.8 4 Axis CNC Mill	10
Gambar 1.9. Electronic Circuit Prototyping Unit Complete Set	11
Gambar 1.10 3D wheel allignment	11
Gambar 1.11. Computers untuk CAD/CAM dan CAE	12
Gambar 1.12. Axial Motor Winding Machine	12
Gambar 1.13. Various tools and measurements system for BLDC Motor and Controller Developments	13
Gambar 1.14. Composite tools fabrication	13
Gambar 1.15. Vehicle weighing system	14
Gambar 1.16. Complete sets of vehicle work shop tools and measurement devices	14



Gambar 1.17. Battery Tester dan Spot welding	15
Gambar 1.18. 3D Scanner	15
Gambar 1.19. Vacuum Thermoforming	15
Gambar 1.20. Digital Strain Meter	16
Gambar 1.21. Wire cut machine	16
Gambar 2.1 Parameter Geometri	18
Gambar 2.2 Karakteristik Torsi	18
Gambar 2.3 Karakteristik Efisiensi	19
Gambar 2.4 Karakteristik Power	19
Gambar 2.5 Klasifikasi Motor Listrik	20
Gambar 2.6 Motor Arus Bolak Balik	20
Gambar 2.7. Motor Sinkron.....	21
Gambar 2.8 Motor Indusksi.....	21
Gambar 2.9 Motor Listrik Arus Searah DC	22
Gambar 2.10 Switched Reluctance Motor.....	24
Gambar 2.11 Prinsip Kerja Motor SRM.....	25
Gambar 2.12 Prinsip Operasi SRM	26
Gambar 2.13 Konstruksi Rotor Switched Reluctance Motor	27
Gambar 2.14 (a) Stator Switched Reluctance Motor, (b) Hubungan Bintang	28
Gambar 2.15 Inverter.....	29
Gambar 4.1 Flow Diagram	41
Gambar 4.2 Variasi induktansi dengan sudut rotasi	43
Gambar 4.3 Saat sakelar ON	45
Gambar 4.4 Variasi arus dengan perubahan profil induktansi	46
Gambar 4.5 Bentuk gelombang arus pada kecepatan SRM yang berbeda	47
Gambar 4. 6 Hasil Perancangan Stator	63



Gambar 4.7. Hasil Perancangan Rotor	63
Gambar 4.8. Hasil Perancangan Poros.....	64
Gambar 4.9. Hasil Perancangan Casing.....	64
Gambar 4.10. Hasil Perancangan Tutup Depan	65
Gambar 4.11. Hasil Perancangan Tutup Belakang.....	65
Gambar 4.12. Hasil Assembly Motor	66
Gambar 5.0 Diagram alir perencanaan poros	70
Gambar 5.1 Desain rotor menggunakan solidworks	75
Gambar 5.2 Rotor	75
Gambar 5.3 Desain poros	76
Gambar 5.3 Hasil Assembly.....	76



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Aktivitas Penugasan Magang	30
Tabel 4.1 Magnetic Properties Materials	48
Tabel 4.2 Typical Magnetic Properties at 50Hz	49
Tabel 4.3 Data spesifikasi stator motor	61
Tabel 4.4. Spesifikasi Rotor	62
Tabel 4.5. Spesifikasi Poros	62
Tabel 4.6. Spesifikasi Cassing.....	62
Tabel 4.7. Spesifikasi Tutup Depan	62
Tabel 4.8. Spesifikasi Tutup Belakang.....	62
Tabel 5.1 Menampilkan data spesifikasi stator dari Switched Reluctance Motor berdasarkan hasil perancangan.	78



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik Kebutuhan Arus Terhadap Kecepatan	59
Grafik 4.2 Grafik Distribusi Voltase terhadap Posisi Rotor	60
Grafik 4.3 Grafik Flux Linkage	60
Grafik 4.4 Variasi induktansi	60
Grafik 4.5 Grafik Power terhadap Kecepatan	60
Grafik 4.6 Grafik Torsi Terhadap Kecepatan	61
Grafik 4.7 Grafik Efisiensi Terhadap Kecepatan	61



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS





BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Motor-motor listrik banyak digunakan disegala bidang, mulai dari aplikasi di lingkungan rumah tangga sampai aplikasi di industri-industri besar. Berbagai macam motor listrik yang dibuat, dijalankan dengan arus searah atau bolak-balik. Dari segala macam motor listrik itu, maka motor induksilah yang paling banyak digunakan. Penggunaan motor induksi tiga fasa ini dikarenakan motor tersebut memiliki konstruksi yang sederhana dan kuat, harganya yang relatif murah, tidak mudah rusak serta mudah dalam perawatannya. Belakangan ini, Switched reluctance motor (SRM) semakin diminati dalam aplikasi industri seperti sistem energi angin dan kendaraan listrik karena konstruksinya yang sederhana dan kokoh, kemampuan operasi berkecepatan tinggi, ketidakepekaan terhadap suhu tinggi, dan fitur toleransi kesalahannya. Dengan penelitian lanjutan, berbagai topologi telah muncul dengan menghadirkan lebih sedikit riak torsi, efisiensi tinggi, faktor daya tinggi, dan kepadatan daya tinggi. Motor Switch Reluctance (motor SR) merupakan teknologi mesin listrik yang telah lama ditemukan oleh Dr. Ernie Davidson pada tahun 1838 tetapi tidak berkembang dengan baik disebabkan teknologi elektronika daya yang belum memadai untuk pengembangan motor SR, dan kemudian pada tahun 1971 Bedford dan Hoft mematenkan motor SR modern, dan Hawlett Packard yang pertama dalam penggunaan dalam aplikasi industri.

Motor SR merupakan tipe motor sinkron yang memiliki beberapa kelebihan seperti struktur yang sederhana dengan konstruksi tanpa belitan di sisi rotor, aman dari kegagalan karena sifatnya yang memiliki



toleransi dan ketahanan yang tinggi, dan berbiaya rendah disebabkan dalam strukturnya tanpa menggunakan magnet permanen, dan memungkinkan beroperasi dalam suhu tinggi.

Berkaitan dengan hal tersebut, proposal ini dimaksudkan untuk melakukan proses perancangan motor SRM dengan tujuan untuk pembelajaran dan bisa digunakan sebagai penggerak sepeda motor listrik.

1.2. Tujuan

1. Melakukan desain rancang bangun Switched Reluctance Motor
2. Perakitan motor Switched Reluctance Motor

1.3. Manfaat

1. Mengetahui langkah pembuatan Switched Reluctance Motor
2. Mengetahui proses perakitan motor Switched Reluctance Motor

1.4. Batasan Masalah

1. Perancangan dan perhitungan dimensi stator Switched Reluctance Motor
2. Mendesain hasil perhitungan dimensi stator menggunakan solidworks
3. Mensimulasikan hasil desain motor menggunakan ansys Maxwell

1.5. Profil Perusahaan

1.5.1. Sejarah PUI SKO & STP ITS

Cikal bakal dari PUI SKO & STP ITS dimulai sejak tahun 2012, berawal dari tim peneliti yang tergabung dalam Laboratorium Sistem & Otomasi Industri di Jurusan Teknik Mesin, ITS. Kemudian di tahun 2013-2015, dilakukan



pengembangan jumlah SDM tim peneliti, yakni dengan melibatkan beberapa personel peneliti dari jurusan Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Fisika, Fisika, Desain Produk Industri dan Teknik Kimia yang tergabung dalam tim peneliti Mobil Listrik Nasional (Molina) di bawah koordinasi Pusat Studi Energi, LPPM-ITS.

Berdasarkan SK Menristekdikti Nomor:

553/M/Kp/XII/2015 tentang Lembaga Litbang yang dibina sebagai Pusat Unggulan Iptek tahun 2016-2018, disebutkan bahwa sejak 14 Desember 2015 Pusat Studi Energi-ITS ditetapkan sebagai Pusat Unggulan Iptek Sistem dan Kontrol Otomotif (PUI-SKO). Penetapan ini didasarkan pada hasil seleksi oleh tim pelaksana, tim supervisi, dan tim monitoring dan evaluasi serta rekomendasi tim pengarah Kemenristekdikti yang melakukan penilaian terhadap kinerja ITS selama tahun 2012-2015 dalam hal riset dan inovasi di bidang sistem dan kontrol otomotif.

Penetapan sebagai Pusat Unggulan Iptek (PUI) ini menjadikan PUI-SKO ITS sebagai rujukan bagi akademisi, peneliti, pemerintah, industri, dan pihak lain yang berkepentingan dalam pengembangan inovasi bidang sistem & kontrol otomotif di Indonesia. Penetapan sebagai Pusat Unggulan Iptek (PUI) juga berarti lembaga tersebut harus terus melakukan peningkatan kapasitas dan kapabilitas kelembagaan iptek, kegiatan riset dan inovasi, serta diseminasi hasil-hasil riset sebagai pendukung pembangunan nasional yang bertumpu pada pembangunan ekonomi.

1.5.2. Visi & Misi Perusahaan

PUI-STP Otomotif ITS memiliki visi dan misi yang terdepan untuk mengembangkan teknologi terkait kendaraan listrik yang nantinya akan sangat berguna bagi bangsa Indonesia.



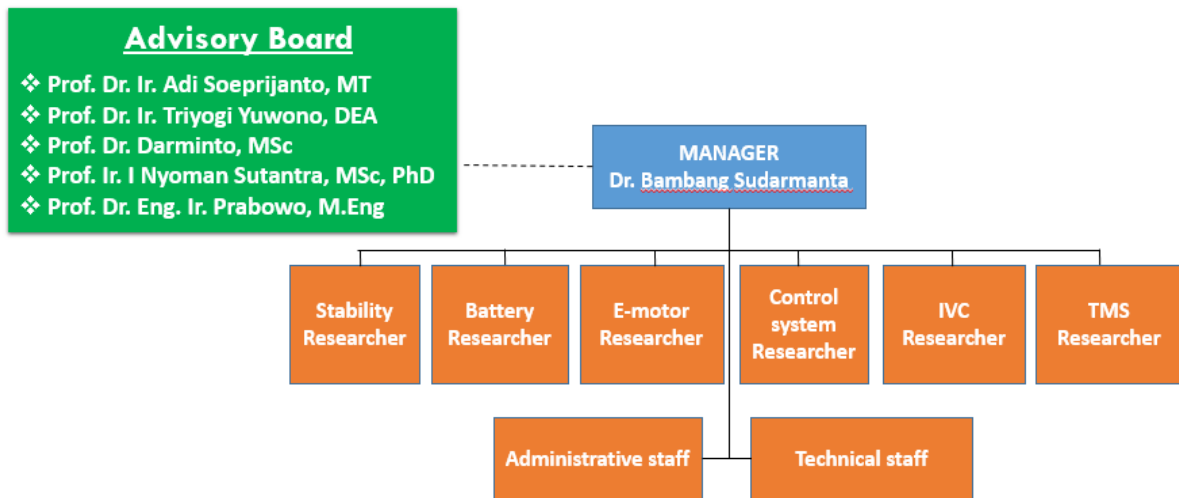
Visi : “To be the Indonesian Number One of Research and
Development Organization in Automotive Sector”

Misi :

1. Always producing high quality research and development for the benefit of Indonesia.
2. Always providing the best services for automotive industries need in Indonesia and the world.
3. Always strive to achieve excellence quality in human resources development.

1.5.3. Struktur Organisasi

Saat ini PUI-STP Otomotif ITS dipimpin oleh manager yaitu bapak Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT selaku penanggung jawab STP Otomotif ITS yang diawasi oleh 5 orang *advisory board*. Beliau membawahi 6 divisi antara lain *Stability Researcher, Battery Researcher, E-motor Researcher, Control System Researcher, IVC Researcher, dan TMS Researcher*. Selain itu, ada juga staf dibagian administrasi dan teknis, berikut merupakan organigram terbaru dari PUI-STP Otomotif ITS.



Gambar 1.1. Struktur Organisasi PUI SKO & STP ITS

1.5.4. Strategi Bisnis Menjalिन Mitra

PT. Karya Tugas Anda merupakan suatu perusahaan yang bergerak dalam industri transportasi darat, khususnya dalam bidang manufaktur dan jasa penyewaan transportasi darat. Berdiri sejak tahun 1982, PT Karya Tugas Anda telah memproduksi banyak kendaraan seperti ambulans, minibus, bus, bahkan kendaraan tempur (Turangga). Terletak di Jl. Raya Sukorejo no. 1, Pasuruan, Jawa Timur dan dengan kantor penjualan di Jl. Wijaya Kusuma no. 39, Tomang, Jakarta Barat. Selain bergerak di bidang transportasi darat, PT Karya Tugas Anda juga memiliki anak perusahaan yaitu Tugasanda Bersama Jaya yang bergerak di bidang konstruksi bangunan.

Dengan semangat integritas, mengedepankan sikap, bertanggung jawab, dan pengembangan yang terus dilanjutkan seiring perkembangan zaman dan juga semakin meningkatnya kebutuhan akan transportasi darat menjadikan perusahaan ini selalu terdepan dalam menyelesaikan permasalahan di bidang tersebut. PT Karya Tugas Anda memiliki visi “Be a company that managed

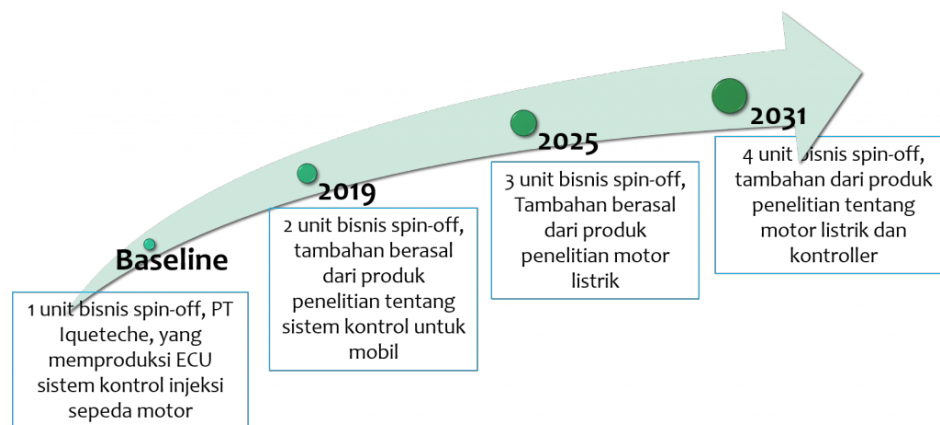
properly by always doing continuous improvement” dan misi “Provide the best service to customers by producing a quality product in a reasonable time” menandakan komitmen yang tinggi

kepada masyarakat Indonesia untuk terus melakukan pengembangan terkait sarana transportasi di Indonesia

1.5.5. Aspek Management

Roadmap Penguatan Kelembagaan Roadmap penguatan kelembagaan difokuskan pada kemampuan lembaga untuk menghasilkan sejumlah unit bisnis spin-off berdasarkan produk unggulan penelitian dan gedung workshop terintegrasi untuk

Tempat produksi ECU dan produk lainnya. Roadmap penguatan kelembagaan ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 1.2. Roadmap penguatan kelembagaan



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS



1.6. Lingkup Unit Kerja

1.6.1. Lokasi Unit Kerja

Magang Industri ini dilaksanakan di PUI-STP Otomotif ITS berlokasi di Jl. Teknik Sipil no 2 Keputih, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur

1.6.2. Lingkup Penugasan

Pada magang industri di PUI SKO & STP ITS kami di beri tugass untuk membuat rancang bangun motor induksi 3 fasa yang disebut motor SRM (Switched Reluctance Motor)

1.6.3. Rencana Penjadwalan

Magang industri ini dilaksanakan di PUI-STP Otomotif ITS berlokasi di Jl. Teknik Sipil no 2 Keputih, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur dengan rincian pelaksanaan terhitung dari tanggal 1 September – 31 Desember dengan:

Hari kerja : Senin – Jum'at (hari besar atau tanggal merah libur)

Waktu : 08.00 – 16.00 WIB

Adapun *timeline* dari kegiatan kerja praktik sebagai berikut

	SEPTEMBER				OKTOBER				NOVEMBER				DESEMBER			
MINGGU KE	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
BRIFING MAGANG	■															
STUDY LITERATUR		■	■	■												
PROPOSAL PROJECT				■	■											
PERHITUNGAN DIMENSI					■	■	■									
DESAIN GAMBAR								■	■	■						
SIMULASI										■	■					
PEMBELIAN BAHAN										■						
PENGERJAAN BAHAN										■	■	■	■	■		
ASEMBLY															■	
PRESENTASI PROGRES					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PENYUSUNAN LAPORAN																■

Gambar 1.3. Jadwal Realisasi Magang



1.7. Fasilitas

1.7.1. Gedung Riset Kendaraan Listrik

Fungsi : Fasilitas untuk diskusi, riset dan assembly kendaraan

Gambar 1.4 Gedung PUI SKO & STP OTOMOTIF ITS



1.7.2. Axis and 5 axis CNC model and composite mold development machine

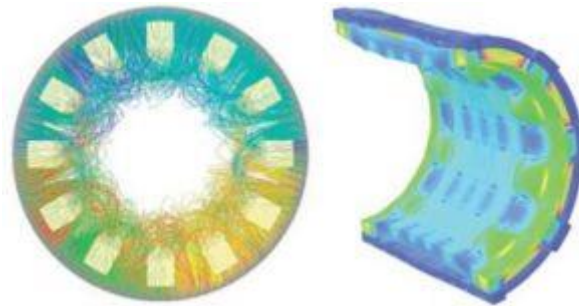
Fungsi : Protoyping, pembuatan pola atau model untuk bahan cetakan pembuatan komposit



Gambar 1.5 3 Axis and 5 Axis CNC

1.7.3. Cobham Software

Fungsi : Simulasi dan pemodelan motor listrik



Gambar 1.6 Cobham Software

1.7.4. Virtual Performance Solution Software

Fungsi : Simulasi dan pemodelan kekuatan struktur kendaraan



Gambar 1.7. Virtual Performance Solution Software

1.7.5. Dynamometer (mobil dan motor)

Fungsi : Uji performa kendaraan



Gambar 1.8. Dynamometer

1.7.6. CNC Lathe

Fungsi : Prototyping, machining komponen untuk kendaraan listrik



Gambar 1.9. CNC Lathe

1.7.7. Axis CNC Mill

Fungsi : Prototyping, machining komponen untuk kendaraan listrik



Gambar 1.10 4 Axis CNC Mill

1.7.8. Electronic Circuit Prototyping Unit Complete Set

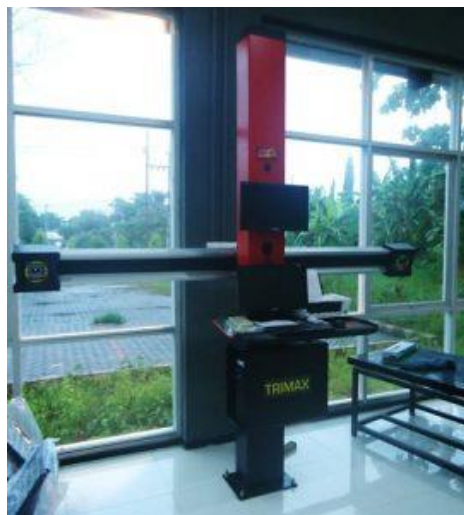
Fungsi : Prototyping, fabrikasi circuit board



Gambar 1.11. Electronic Circuit Prototyping Unit Complete Set

1.7.9. 3D wheel alignment

Fungsi : Setting dan alignment roda kendaraan



Gambar 1.12 3D wheel alignment

1.7.10. Computers untuk CAD/CAM dan CAE

Fungsi : Komputasi, membantu proses desain dan simulasi



Gambar 1.13. Computers untuk CAD/CAM dan CAE

1.7.11. Axial Motor Winding Machine

Fungsi : Prototyping, menggulung coil untuk motor listrik



Gambar 1.14. Axial Motor Winding Machine



1.7.12. Various tools and measurements system for BLDC Motor and Controller Developments

Fungsi : Alat ukur dan monitoring baterai dan motor



Gambar 1.15. Various tools and measurements system for BLDC Motor and Controller Developments

1.7.13. Composite tools fabrication

Fungsi : Prototyping komponen dengan bahan komposit



Gambar 1.16. Composite tools fabrication

1.7.14. Vehicle weighing system

Fungsi : Penimbangan berat kendaraan sehingga dapat digunakan untuk menghitung titik berat



Gambar 1.17. Vehicle weighing system

1.7.15. Complete sets of vehicle workshop tools and measurement devices

Fungsi : Assembly dan maintenance kendaraan



Gambar 1.18. Complete sets of vehicle workshop tools and measurement devices

1.7.16. Battery Tester dan Spot welding

Fungsi : Fabrikasi dan uji battery pack



Gambar 1.19. Battery Tester dan Spot welding

1.7.17. 3D Scanner

Fungsi : Prototyping, pembuatan blueprint



Gambar 1.20. 3D Scanner

1.7.18. Vacuum Thermoforming

Fungsi : Prototyping dengan bahan acrylic dan polycarbonat



Gambar 1.21. Vacuum Thermoforming



1.7.19. Digital Strain Meter

Fungsi : Pengukuran regangan dan tegangan pada struktur kendaraan



Gambar 1.22. Digital Strain Meter

1.7.19.1. Wire cut machine

Fungsi : Prototyping dan machining komponen kendaraan listrik.



Gambar 1.233. Wire cut machine



BAB II

KAJIAN TEORITIS

Motor Listrik dalam perkembangannya terus mendapatkan sorotan dalam segi peningkatan performanya termasuk jenis motor listrik Switched Reluctance Motor. Para peneliti di bidang tersebut melakukan peningkatan dalam beberapa segi, seperti teknologi controller motor, desain motor, dan lain sebagainya. Karena motor listrik jenis ini sekarang mulai populer karena keunggulan-keunggulan yang ada pada motor tersebut. Penelitian motor listrik jenis ini dirasa penting karena dapat dijadikan motor penggerak mobil listrik, elevator, sepeda motor listrik, dan lain-lain. penelitian di bidang desain motor, pemilihan material penyusun, dan teknologi controllernya dimaksudkan untuk memperbaiki dan meningkatkan performa maupun efisiensi yang tinggi dengan nilai rugi-rugi yang rendah.

2.1 Riset Switched Reluctance Motor

Motor *Switch Reluctance* (motor SR) merupakan teknologi mesin listrik yang telah lama ditemukan oleh Dr. Ernie Davidson pada tahun 1838 tetapi tidak berkembang dengan baik disebabkan teknologi elektronika daya yang belum memadai untuk pengembangan motor SR, dan kemudian pada tahun 1971 Bedford dan Hoft mematenkan motor SR modern, dan Hawlett Packard yang pertama dalam penggunaan dalam aplikasi industri.

Motor SR merupakan tipe motor sinkron yang memiliki beberapa kelebihan seperti struktur yang sederhana dengan konstruksi tanpa belitan di sisi rotor, aman dari kegagalan karena sifatnya yang memiliki toleransi dan ketahanan yang tinggi, dan berbiaya rendah disebabkan dalam strukturnya tanpa menggunakan magnet permanen, dan memungkinkan beroperasi dalam suhu tinggi.

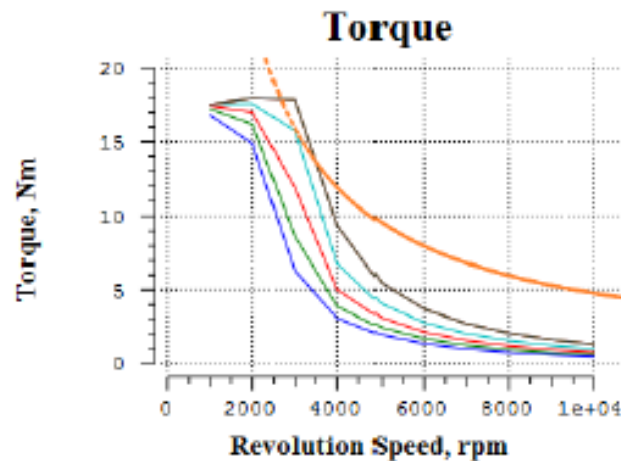
Sampai saat ini banyak peneliti yang melakukan riset terkait Motor SR ini untuk menghasilkan performa dan efisiensi yang tinggi. salah satunya riset dari Umar Sholahudin [], Beliau merancang Motor SR tipe 6/4 dengan daya 5 KW.

Berikut ini hasil rancangan motor tersebut :

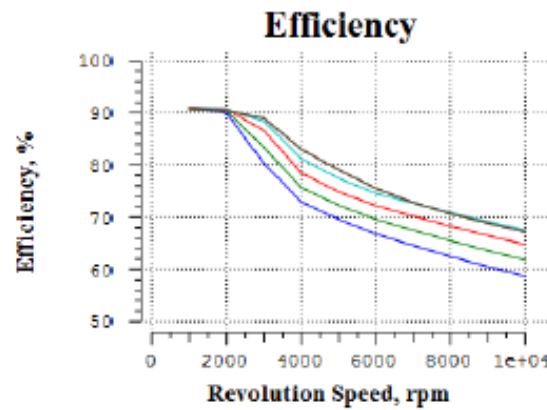
Parameter Geometri

Parameter	Description	SRM 6/4
Q_s	Number of Stator poles	6
Q_r	Number of Rotor poles	4
l_g	Air gap length	0.5 mm
D_o	Stator outer diameter	160 mm
D	Bore diameter	81 mm
L	Core length	160 mm
D_{sh}	Shaft diameter	26 mm
h_{ps}	Stator tooth high	31.5 mm
h_{pr}	Rotor tooth high	25 mm
C	Back iron width	10 mm
N_p	Number of turn/phase	15
β_s	Stator pole width	21 mm
β_r	Rotor pole width	29 mm
N	Speed	3000 r/min
P	Output power	5 KW

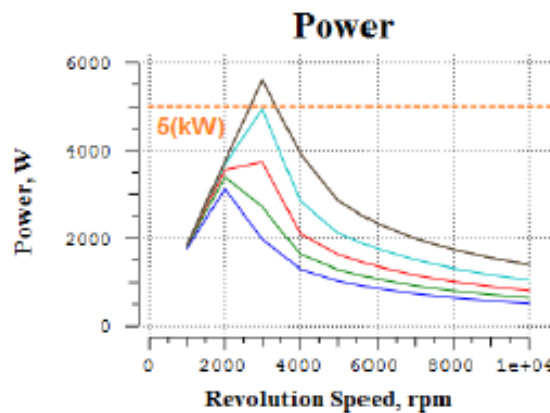
Gambar 2.1 Parameter Geometri



Gambar 2.2 Karakteristik Torsi



Gambar 2.3 Karakteristik Efisiensi

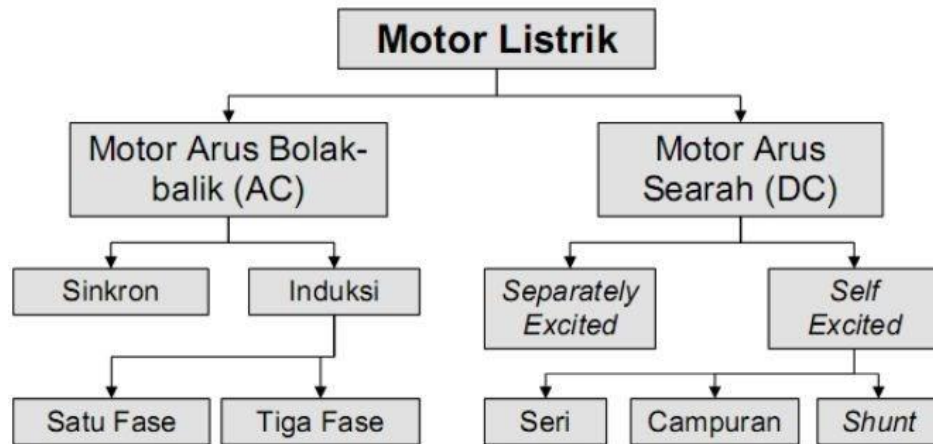


Gambar 2.4 Karakteristik Power

2.2 Motor Listrik

Motor listrik merupakan salah satu mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik putaran. Pada dasarnya motor listrik dapat dibedakan berdasarkan jenis sumber tegangan yang digunakan. Berdasarkan jenis sumber tegangannya motor listrik dibedakan menjadi 2 jenis yaitu Motor listrik arus searah DC (Direct Current) dan Motor listrik bolak-balik AC (Alternating Current).

Dari 2 jenis motor listrik tersebut terdapat jenis atau tipe motor listrik yang diklasifikasikan berdasarkan konstruksi, prinsip kerja, dan operasinya. Berdasarkan jenis-jenis motor listrik tersebut dapat dibuat peta konsep klasifikasi motor listrik sebagai berikut.



Gambar 2.5 Klasifikasi Motor Listrik

2.3 Motor arus bolak-balik AC

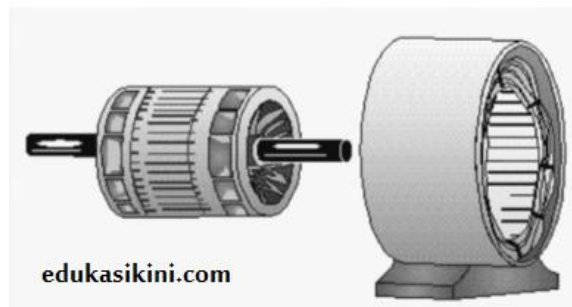
Motor listrik arus bolak-balik adalah salah satu jenis motor listrik yang di suplai oleh sumber tegangan arus bolak balik (AC). Motor listrik arus bolak-balik (AC) tersebut dapat dibedakan lagi jenis-jenisnya sebagai berikut.



Gambar 2.6 Motor Arus Bolak Balik.

2.3.1 Motor sinkron

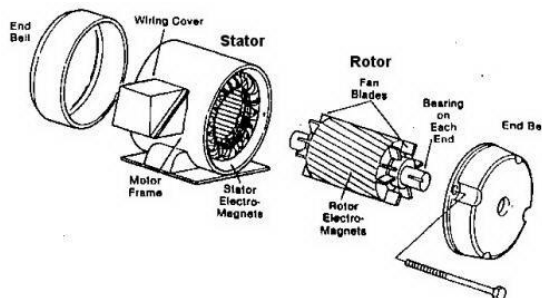
Motor sinkron adalah salah satu jenis motor listrik arus bolak balik (AC) yang bekerja pada kecepatan tetap dan konstan pada sistem frekuensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) sebagai pembangkit daya dan memiliki torsi awal yang cukup rendah, oleh karena itu motor sinkron digunakan untuk penggunaan awal dengan beban yang rendah, seperti kompresor udara, generator motor dan perubahan frekwensi. Motor listrik sinkron memiliki kelebihan untuk memperbaiki faktor daya dalam sistem, sehingga motor listrik jenis ini biasa digunakan pada sistem yang memakai banyak listrik.



Gambar 2.7. Motor Sinkron

2.3.2 Motor Induksi

Motor induksi merupakan salah satu jenis motor listrik bolak balik (AC) yang bekerja berdasarkan prinsip kerja induksi medan magnet antara stator dan rotor. Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu :



Gambar 2.8 Motor Induksi

2.3.2.1 Motor Induksi Satu Fase

Motor induksi jenis ini hanya memiliki satu gulungan pada stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fasa serta memiliki rotor kandang tupai dan memerlukan sebuah komponen tambahan untuk menghidupkan motornya. Motor listrik jenis ini merupakan jenis motor induksi yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti mesin cuci, kipas angin dan pengering.

2.3.2.2 Motor Induksi Tiga Fase

Medan magnet pada rotor yang berputar dihasilkan oleh suplai tegangan tiga fasa yang seimbang. Motor listrik jenis tersebut memiliki kemampuan daya yang cukup tinggi, dan memiliki kandang tupai ataupun gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai) dengan penyalaan sendiri. Diperkirakan kurang lebih sekitar 70% motor yang digunakan pada industri menggunakan motor listrik jenis ini, sebagai contoh kompressor, pompa, jaringan listrik, belt conveyor dan grinder. dengan kemampuan daya $1/3$ hingga mencapai ratusan Hp

2.4 Motor Listrik Arus Searah DC





Gambar 2.9 Motor Listrik Arus Searah DC

Motor listrik arus searah (DC) adalah salah satu jenis motor listrik yang beroperasi dengan menggunakan sumber tegangan arus listrik searah (DC). Motor listrik arus searah (DC) ini dapat dibedakan lagi jenis-jenisnya sebagai berikut.

2.4.1 Motor DC sumber daya terpisah (Separately Excited)

Motor listrik DC sumber daya terpisah adalah salah satu jenis motor DC yang sumber arus medan di suplai dari sumber yang terpisah, sehingga motor listrik DC jenis ini disebut motor listrik DC sumber daya terpisah.

2.4.2 Motor DC sumber daya sendiri (Self Excited)

Motor DC sumber daya sendiri adalah salah satu jenis motor DC yang sumber arus medannya disupply oleh sumber yang sama dengan sumber kumparan motor listrik, sehingga motor listrik DC jenis ini disebut motor DC sumber daya sendiri.

Motor DC sumber daya sendiri ini dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan konfigurasi suplai medan dengan kumparan motornya yaitu sebagai berikut.

2.4.2.1 Motor DC shunt (Paralel)

Pada motor listrik DC jenis shunt, gulungan medan disambungkan secara paralel dengan gulungan pada motor listrik. Oleh karena itu jumlah arus dalam jalur rangkaian merupakan penjumlahan antara arus medan dan dynamo.

2.4.2.2 Motor DC Seri

Pada motor listrik DC jenis seri, gulungan medan dihubungkan secara seri dengan gulungan pada kumparan motor. Oleh karena itu, arus dinamo sama dengan arus medan.

2.4.2.3 Motor DC Kompon (Gabungan)

Motor listrik DC jenis kompon merupakan penggabungan antara motor jenis seri dan shunt. Pada motor DC kompon, gulungan medan dihubungkan secara seri dan paralel dengan gulungan motor listrik. Sehingga, pada motor DC kompon memiliki torsi awal yang cukup baik dengan kecepatan stabil.

2.5 Switched Reluctance Motor

Motor Reluktansi Switched (SRM) adalah motor listrik yang bekerja dengan torsi reluktansi. Tidak seperti jenis motor DC brushed umum, daya dikirim ke belitan di stator (casing). Ini sangat menyederhanakan desain mekanis karena daya tidak harus disalurkan ke bagian yang bergerak, tetapi mempersulit desain kelistrikan karena beberapa jenis sistem switching perlu digunakan untuk mengirimkan daya ke belitan yang berbeda. Perangkat elektronik dapat mengubah waktu secara tepat, memfasilitasi konfigurasi SRM. Kelemahan utamanya adalah riak torsi.

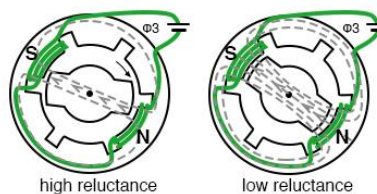


Gambar 2.10 Switched Reluctance Motor

Penggunaan alternatif dari desain mekanis yang sama adalah sebagai generator. Beban dialihkan ke kumparan secara berurutan untuk menyinkronkan aliran arus dengan rotasi. Generator semacam itu dapat dijalankan pada kecepatan yang jauh lebih tinggi daripada tipe konvensional karena angker dapat dibuat sebagai satu bagian dari bahan yang dapat dimagnetisasi, sebagai silinder berlubang. Dalam hal ini singkatan SRM diperpanjang menjadi berarti Switched Reluctance Machine, (bersama dengan SRG, Switched Reluctance Generator). Topologi yang merupakan motor dan generator berguna untuk menghidupkan penggerak utama, karena ini menghemat motor starter khusus. Motor SR menawarkan banyak keuntungan, seperti

1. Peningkatan kinerja dengan keluaran torsi yang jauh lebih besar dan dengan sama (atau sedikit lebih tinggi) daripada motor induksi "efisiensi premium", pada kecepatan yang lebih lebar
2. Ukuran unit yang kecil membuat penggunaan material menjadi efisien dan inersia rendah.
3. Biaya rendah, biaya produksi rendah, biaya bahan rendah dan biaya perawatan rendah.
4. Kecepatan tinggi dan kemampuan akselerasi, hingga 100.000 r.p.m (putaran per menit),
5. Panas dihasilkan di stator stasioner, yang relatif mudah untuk didinginkan.:

2.5.1 Prinsip kerja motor SRM

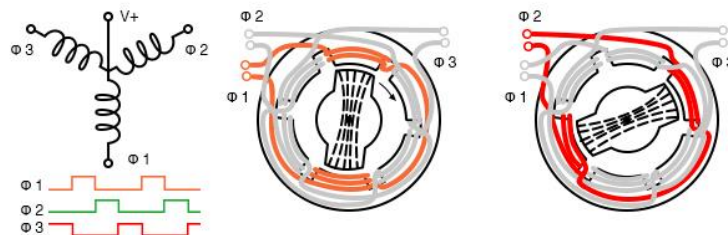


Reluctance is a function of rotor position in a variable reluctance motor

Gambar 2.11 Prinsip Kerja Motor SRM

Jika rotor besi dengan kutub, tetapi tanpa konduktor apa pun, dipasang ke stator multi-fase, maka dihasilkan reluktansi motor, yang mampu melakukan sinkronisasi dengan medan stator. Ketika pasangan kutub kumparan stator diberi energi, rotor akan bergerak ke jalur reluktansi magnet terendah. Switch reluctance motor juga dikenal sebagai variable reluctance motor. Reluktansi rotor ke jalur fluks stator bervariasi dengan posisi rotor.

Sakelar sekuensial (Gambar di bawah) dari fase stator menggerakkan rotor dari satu posisi ke posisi berikutnya. Fluks magnet mencari jalur yang paling rendah reluktansinya. Di bawah ini adalah rotor dan bentuk gelombang yang disederhanakan yang menggambarkan operasi.



Variable reluctance motor, over-simplified operation

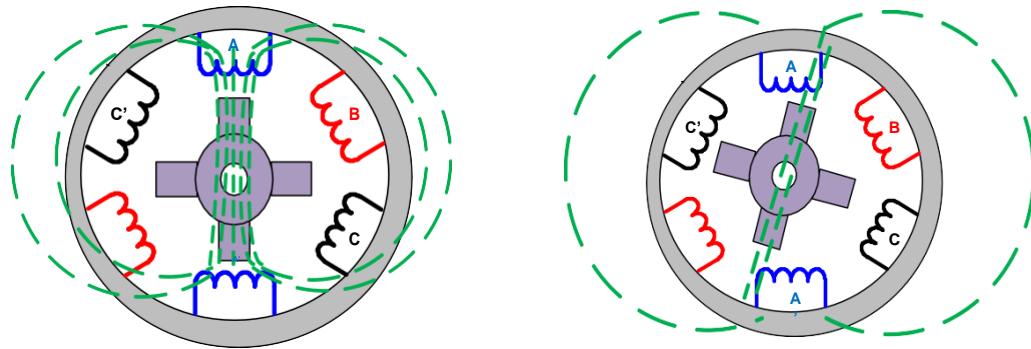
Gambar 2.12 Prinsip Operasi SRM

2.5.2 Part yang digunakan pada motor SRM

2.5.2.1 Rotor

Saat kumparan pada stator dihubungkan dengan sumber tegangan, maka akan tercipta medan magnet di sekitar kutub-kutub stator tersebut. Selanjutnya, fluks magnet yang dihasilkan akan memaksa rotor untuk bergerak menuju

posisi di mana nilai reluktansi minimum, dan kondisi ini didapat saat kutub pada rotor segaris lurus dengan kutub salient pada stator dan pada saat yang bersamaan nilai induktansi pada belitan adalah maksimum, dan jika rotor tidak segaris lurus dengan kutub salient pada stator saat itu lah terjadi reluktansi medan magnet maksimum. Sehingga, dari proses itu menyebabkan terjadinya perputaran yang konstan pada rotor. Pada konstruksinya jumlah rotor dan stator tidak boleh sama, hal ini bertujuan untuk menghindari kemungkinan apabila rotor berada pada posisi statis (stall) dan tidak bergerak, sehingga tidak dapat menghasilkan torsi awal (initial torque).



RELUKTANSI RENDAH

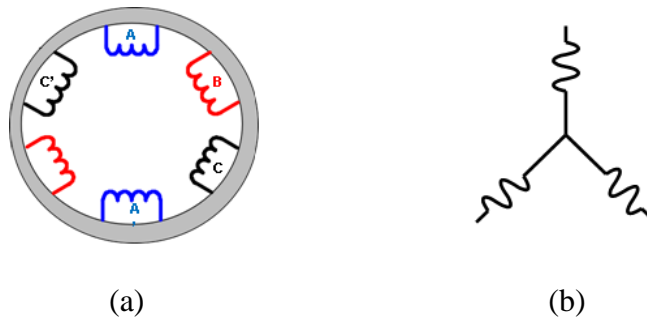
RELUKTANSI TINGGI

Gambar 2.13 Konstruksi Rotor Switched Reluctance Motor

Pada implementasinya, Rotor di sini menggunakan rotor dari motor induktansi yang telah dimodifikasi konstruksinya sesuai dengan rotor ideal pada motor SRM. Secara konstruksi, semakin renggang jarak antara kutub rotor maka torka yang dihasilkan dari motor tersebut semakin besar, hal ini disebabkan karena jika lebar kutub rotor dibanding dengan luas lilitan stator terlalu sempit maka bisa terjadi kesalahan pembacaan posisi pada sensor magnet, yang menyebabkan rotor tersebut berada pada posisi statis (tidak bergerak) sehingga perputaran rotor tidak lancar.

2.5.2.2 Stator

Stator dari Switched Reluctance Motor ini dibentuk dari stator motor induktansi yang telah mengalami modifikasi. Stator ini berjumlah 6 kutub dan masing masing kutub dibelit oleh kawat tembaga dengan jumlah 300 lilitan untuk setiap kutubnya. Kemudian stator ini akan dialiri arus listrik sehingga menghasilkan medan magnet. Stator pada Switched Reluctance Motor 3 fasa ini dirangkai dengan rangkaian bintang. Dua buah stator akan dipasang secara seri dan membentuk segitiga. Di mana stator A1 dihubungkan dengan stator A2 , B1 dihubungkan dengan stator B2 , dan C1 dihubungkan dengan stator C2.



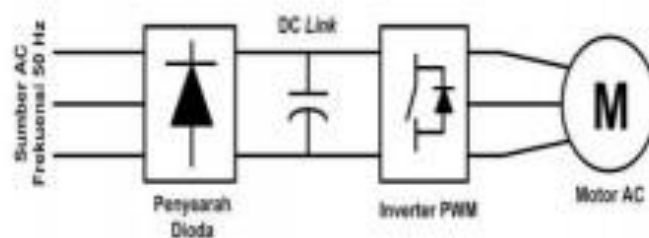
Gambar 2.14 (a) Stator Switched Reluctance Motor, (b) Hubungan Bintang

2.5.2.3 Inverter

Inverter merupakan sebuah alat pengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi dan tegangan yang masuk ke motor. Pengaturan nilai frekuensi dan tegangan ini dimaksudkan untuk mendapatkan kecepatan putaran dan torsi motor yang diinginkan atau sesuai dengan kebutuhan. Secara sederhana prinsip dasar inverter untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur.

Inverter merupakan alat untuk mengatur kecepatan putaran motor dengan cara mengubah frekuensi listrik sesuai dengan kecepatan motor yang

diatur, sebuah Variabel Frequency Drive (VFD) adalah suatu sistem untuk mengendalikan kecepatan rotasi motor listrik arus bolak-balik (AC) dengan mengendalikan frekuensi listrik yang diberikan ke motor. VFD juga dikenal sebagai Adjustable Frekuensi Drive (AFD), Variable Speed Drive (VSD), AC Drive, Microdrives atau Inverter Drive



Gambar 2.15 Inverter

Prinsip kerja Inverter yang sederhana adalah:

1. Tegangan yang masuk dari jala-jala 50 Hz dialirkan ke penyearah DC, dan ditampung ke bank capacitor. Jadi dari AC dijadikan DC.
2. Tegangan DC kemudian diumpankan ke board inverter untuk dijadikan AC kembali dengan frekuensi sesuai kebutuhan. Jadi dari DC ke AC yang komponen utamanya adalah semikonduktor aktif. Dengan menggunakan frekuensi carrier (bisa sampai 20 kHz), tegangan DC dicacah dan dimodulasi sehingga keluar tegangan dan frekuensi yang diinginkan.



BAB III

AKTIVITAS PENUGASAN MAGANG INDUSTRI

3.1 Realisasi Kegiatan Magang Industri

Kegiatan magang industri diawali dari membuat proposal magang industri dan surat pengantar magang (Lampiran 1), lalu kemudian menerima surat balasan dari perusahaan (Lampiran 2). Kegiatan magang industri dilakukan setiap hari Senin sampai Jumat selama 4 bulan dari bulan September s/d Desember 2020 ditampilkan dalam bentuk tabel berikut ini :

Tabel 3.1 Tabel Aktivitas Magang Industri

Hari Ke	Tanggal	Jenis Aktivitas Magang Industri	Tugas yang Diberikan	Pencapaian Tugas
1	01 September 2020	Konsultasi dan Pengenalan PUI-SKO & STP ITS	Merancang Switched Reluctance Motor (SRM)	-
2-16	02-16 September 2020	Studi Literatur Terkait Motor SRM dari Referensi atau Jurnal baik Nasional maupun Internasional	Mempelajari dan memahami semua hal yang berkaitan dengan Motor SRM. Mulai dari definisi, prinsip kerja dan metodologi perancangannya	Memahami semua hal yang berkaitan dengan motor SRM



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS



Hari Ke	Tanggal	Jenis Aktivitas Magang Industri	Tugas yang Diberikan	Pencapaian Tugas
17-18	17-18 September 2020	Melakukan Perhitungan Dimensi Stator Motor SRM	Menghitung Dimensi Stator Motor SRM	Mendapatkan Nilai Dimensi Stator Motor SRM
19-20	19-20 September 2020	Melakukan Perhitungan Dimensi Rotor Motor SRM	Menghitung Dimensi Rotor Motor SRM	Mendapatkan Nilai Dimensi Rotor Motor SRM
21-22	21-22 September 2020	Menghitung dan Merancang Dimensi Poros dan Bearing pada Motor SRM	Menghitung dan Merancang Dimensi Poros dan Bearing pada Motor SRM	Mendapatkan Nilai Dimensi Poros dan Bearing



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS



Hari Ke	Tanggal	Jenis Aktivitas Magang Industri	Tugas yang Diberikan	Pencapaian Tugas
23-30	23-30 September 2020	Konsultasi dengan Pembimbing terkait Perhitungan Dimensi Motor SRM	Asistensi dengan Pembimbing terkait Perhitungan Dimensi Motor SRM	Memastikan Validitas perhitungan yang kita lakukan sebelumnya
1-2	1-2 Oktober 2020	Mulai Mendesain Motor SRM Menggunakan Solidworks	Mendesain Motor SRM Sesuai Dimensi yang Sudah Dihitung Sebelumnya	Mendapatkan Gambar Desain Motor SRM
3-4	3-4 Oktober 2020	Mendesain Stator Motor SRM Menggunakan Solidworks	Mendesain Stator Motor SRM Sesuai Dimensi yang Sudah Dihitung Sebelumnya	Mendapatkan Gambar Desain Stator Motor SRM



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS



Hari ke	Tanggal	Jenis Aktivitas Magang Industri	Tugas yang Diberikan	Pencapaian Tugas
5-6	5-6 Oktober 2020	Mendesain Rotor Motor SRM Menggunakan Solidworks	Mendesain Rotor Motor SRM Sesuai Dimensi yang Sudah Dihitung Sebelumnya	Mendapatkan Gambar Desain Rotor Motor SRM
7-8	7-8 Oktober 2020	Mendesain Poros Motor SRM Menggunakan Solidworks	Mendesain Poros Motor SRM Sesuai Dimensi yang Sudah Dihitung Sebelumnya	Mendapatkan Gambar Desain Poros Motor SRM
9-10	9-10 Oktober 2020	Mendesain Bearing Motor SRM Menggunakan Solidworks	Mendesain Bearing Motor SRM Sesuai Dimensi yang Sudah Dihitung Sebelumnya	Mendapatkan Gambar Desain Bearing Motor SRM



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS



Hari ke	Tanggal	Jenis Aktivitas Magang Industri	Tugas yang Diberikan	Pencapaian Tugas
11-12	11-12 Oktober 2020	Mendesain Casing Motor SRM Menggunakan Solidworks	Mendesain Casing Motor SRM Menggunakan Solidworks	Mendapatkan Gambar Desain Casing Motor SRM
13-14	13-14 Oktober 2020	Mendesain Baut-baut Motor SRM Menggunakan Solidworks	Mendesain Baut-baut Motor SRM Menggunakan Solidworks	Mendapatkan Gambar Desain Baut-baut Motor SRM
15-16	15-16 Oktober 2020	Assembly Komponen-Komponen Motor SRM menggunakan Solidworks	Assembly Komponen-Komponen Motor SRM menggunakan Solidworks	Mendapatkan Gambar Assembly Motor SRM



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS



Hari Ke	Tanggal	Jenis Aktivitas Magang Industri	Tugas yang Diberikan	Pencapaian Tugas
17-18	17-18 Oktober 2020	Konsultasi dengan Dosen Pembimbing terkait Desain yang Sudah Dibuak Sebelumnya	Konsultasi dengan Dosen Pembimbing terkait Desain yang Sudah Dibuak Sebelumnya	Memvalidasi Desain SRM yang Sudah Dibuak
19-24	19-24 Oktober 2020	Mensimulasikan Desain Menggunakan Ansys Maxwell Untuk Mengetahui Parameter-parameter Motor SRM	Mensimulasikan Desain Menggunakan Ansys Maxwell Untuk Mengetahui Parameter-parameter Motor SRM	Mendapatkan Parameter-parameter Motor SRM Seperti Power, Torsi dan Lain Sebaginya
25-31	25-31 Oktober 2020	Konsultasi dan Diskusi dengan Dosen Pembimbing Terkait Hasil Simulasi	Konsultasi dan Diskusi dengan Dosen Pembimbing Terkait Hasil Simulasi	Memvalidasi Hasil Simulasi Desain Motor SRM



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS



Hari ke	Tanggal	Jenis Aktivitas Magang Industri	Tugas yang Diberikan	Pencapaian Tugas
1-8	1-8 November 2020	Membuat Daftar Komponen/ Material dan Rancangan Anggaran Belanja Motor SRM	Membuat Daftar Komponen/ Material dan Rancangan Anggaran Belanja Motor SRM	Selesai Menyusun RAB Motor SRM
9-11	9-11 Oktober 2020	Konsultasi terkait RAB dan Kebutuhan yang akan dibeli untuk membangun Motor SRM	Konsultasi terkait RAB dan Kebutuhan yang akan dibeli untuk membangun Motor SRM	RAB disetujui Dosen Pembimbing Magang
12-15	12-15 Oktober 2020	Survei Harga dan Toko Material	Survei Harga dan Toko Material	Mengetahui Lokasi Toko Material dan Harga Setiap Komponen yang akan dibeli



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS



Hari ke	Tanggal	Jenis Aktivitas Magang Industri	Tugas yang Diberikan	Pencapaian Tugas
1-8	1-8 November 2020	Membuat Daftar Komponen/ Material dan Rancangan Anggaran Belanja Motor SRM	Membuat Daftar Komponen/ Material dan Rancangan Anggaran Belanja Motor SRM	Selesai Menyusun RAB Motor SRM
9-11	9-11 November 2020	Konsultasi terkait RAB dan Kebutuhan yang akan dibeli untuk membangun Motor SRM	Konsultasi terkait RAB dan Kebutuhan yang akan dibeli untuk membangun Motor SRM	RAB disetujui Dosen Pembimbing Magang
12-15	12-15 November 2020	Survei Harga dan Toko Material	Survei Harga dan Toko Material	Mengetahui Lokasi Toko Material dan Harga Setiap Komponen yang akan dibeli



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS



Hari ke	Tanggal	Jenis Aktivitas Magang Industri	Tugas yang Diberikan	Pencapaian Tugas
16-25	16-25 November 2020	Membeli Material dan Kebutuhan Motor SRM Lainnya	Membeli Material dan Kebutuhan Motor SRM Lainnya	Mendapatkan Material dan Semua Kebutuhan Motor SRM
26-30	26-30 November 2020	Konsultasi dengan Dosen Pembimbing	Konsultasi dengan Dosen Pembimbing	-
1-20	1-20 Desember 2020	Proses Machining Komponen-komponen Motor SRM	Proses Machining Komponen-komponen Motor SRM	Material Sudah Selesai Di Machining



LAPORAN MAGANG INDUSTRI PUI SKO & STP ITS



Hari Ke	Tanggal	Jenis Aktivitas Magang Industri	Tugas yang Diberikan	Pencapaian Tugas
21-25	21-25 Desember 2020	Melilit Kawat Tembaga Stator	Melilit Kawat Tembaga Stator	Selesai Melilit Kawat Tembaga Stator
26-30	26-30 Desember 2020	Assembly Komponen Motor SRM	Assembly Komponen Motor SRM	Selesai Assembly Komponen Motor SRM -
31	31 Desember 2020	Konsultasi dengan Dosen Pembimbing	Konsultasi dengan Dosen Pembimbing	Konsultasi dengan Dosen Pembimbing bahwa Motor Selesai Diassembly



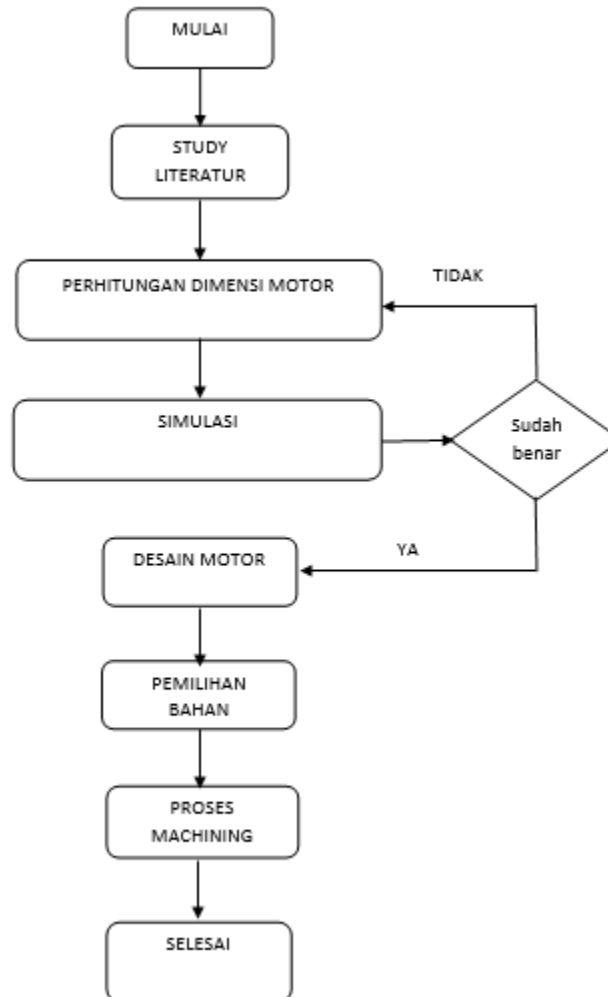
3.2 Relevansi Teori dan Praktek

Pada magang industri kali ini, antara teori dan praktek dilakukan secara relevan. Teori dan praktek yang telah diterapkan pada kegiatan magang industri kali ini yaitu mulai dari mesin-mesin listrik khususnya motor SRM. Dimana untuk membangun motor listrik ini dibutuhkan prosedur perencanaan yang matang dan benar agar tidak terjadi kesalahan nantinya. Selain berhubungan dengan mata kuliah mesin-mesin listrik, dalam perancangan motor SRM ini juga berhubungan langsung dengan mata kuliah elemen mesin kita harus merencanakan dimensi-dimensi motor terlebih dahulu seperti perencanaan stator, rotor, perhitungan dan perencanaan poros, perencanaan pasak, pemilihan material dan lain sebagainya. Selama magang di PUI-SKO & STP ITS, saya mendapatkan banyak hal-hal baru terutama ilmu perancangan sebuah produk contohnya motor SRM. Perlu diketahui bahwa di Indonesia bisa dibilang sedikit sekali ada penelitian terkait motor SRM dan ini memotivasi saya untuk meneliti sekaligus mengembangkannya.

Dalam perancangan tersebut ada banyak prosedur perancangan yang harus benar-benar diperhatikan. mulai dari mencari dan membaca jurnal-jurnal penelitian motor SRM sebelumnya sekaligus memahami mulai dari deifinisi, prinsip kerja, komponen-komponennya, prosedur perancangan, dan segala hal yang berkaitan dengan motor SRM. Kemudian melakukan perhitungan dimensi motor SRM yang harus dilakukan secara teliti seperti stator, rotor, poros, bearing, pasak dan lain-lain. Setelah itu membuat desain motor SRM menggunakan solidworks yang harus benar-benar jelas agar nantinya pada saat proses machining tidak terjadi kesalahan pembacaan pada gambar desain sehingga hasil machiningnya komponennya nanti sesuai dengan desain yang dibuat sebelumnya. Sebelum memulai proses machining, kita harus melakukan simulasi terlebih dahulu menggunakan ansys maxwell atau aplikasi lainnya untuk mendapatkan parameter-parameter output motor SRM misalnya daya outputnya, efisiensi, torsi, medan magnet, arus, dan loses-loses yang terjadi di motor SRM yang kita desain agar nantinya menjadi bahan evaluasi sehingga parameter-parameter outputnya sesuai dengan yang kita rencanakan sebelumnya. Setelah simulasinya sesuai dengan yang direncanakan, kemudian dimulai proses machining terhadap komponen-komponen yang telah di desain sebelumnya. Untuk proses machiningnya dilakukan di workshop gedung PUI-SKO ITS. Dimana, disana terdapat fasilitas-fasilitas yang lengkap mulai dari mesin CNC, mesin milling, mesin bor, dan lain-lain. tetapi dalam proses pengerjaannya dilakukan tukang atau tenaga kerja yang ada disana. Kita hanya menyerahkan gambar desain dan memantau proses pengerjaannya saja untuk memastikan bahwa komponen-komponen yang telah dibuat sudah sesuai desain yang saya buat sebelumnya. Setelah proses machining selesai, Selanjutnya kita melakukan assembly komponen-komponen motor SRM.

BAB IV REKOMENDASI

4.1. Flow Chat Diagram



Gambar 4.1. Flow Chart Diagram

4.2. Motor Type

Desain penggerak SRM bergantung pada topologi mesin yang dipilih.

Topologi dapat dipilih berdasarkan aplikasi target dan sejumlah faktor



lainnya. Karena profil induktansi bergantung pada topologi yang dipilih, mesin 6/4 SRM dipilih dan desain selanjutnya akan dilanjutkan dengan topologi tersebut. Penggerak 3-fase 6/4 SRM cocok untuk area target otomotif yang terletak pada kisaran daya kecil-menengah. Pada bab ini pertama-tama profil induktansi akan dikembangkan untuk mesin 6/4 SRM pilihan kami. Hubungan antara fluks dan arus sebagai fungsi sudut akan dibahas secara rinci. Perbandingan strategi kontrol mesin AC konvensional akan dilakukan dan kemudian mode operasi penggerak SRM yang berbeda akan diperiksa. Strategi kontrol untuk mode operasi yang berbeda akan dibahas secara singkat dan untuk menyimpulkan beberapa struktur drive SRM yang umum akan disajikan.

4.3. Pemilihan Jumlah Pole

SRM dengan 6 kutub stator dan 4 kutub rotor dipilih untuk desain kami. Pitch pole yang sesuai dapat dievaluasi sebagai berikut :

$$\tau_{sp} = \frac{360}{6} = 60^\circ$$

$$\tau_{rp} = \frac{360}{4} = 90^\circ$$

selanjutnya rasio kandang tiang dipilih berdasarkan literasi yang dibaca. Kepadatan torsi yang baik untuk selungkup pole dalam kisaran 0,3-0,5. Untuk melanjutkan dengan desain kami, rasio selungkup pole 0,4 dipilih untuk pole stator.

$$k_{sp} = \text{statorpole} : \text{statorpolepitch} = 0.4$$

$$k_{rp} = \text{rotorpole} : \text{rotorpolepitch} = 0.5$$

Pole arch bisa di dapatkan dari rumus dibawah ini

$$\beta_s = k_{sp} * \tau_{sp}$$

$$\beta_s = 0.4 * 60^\circ = 24^\circ$$

$$\beta_r = k_{rp} * \tau_{rp}$$

$$\beta_r = 0.5 * 90^\circ = 45^\circ$$

keterangan :

$\beta_s = \text{stator pole arch}$

$\beta_r = \text{rotor pole arch}$

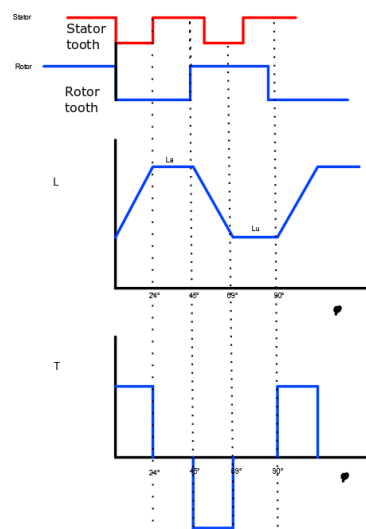
$k_{sp} = \text{stator pole pitch}$

$k_{rp} = \text{rotor pole pitch}$

Titik awal 0° dianggap pada L_{min} dimana titik akhir kutub rotor bertepatan dengan titik awal tiang stator. Saat ujung rotor bergerak, celah udara antara stator yang memproyeksikan dan kutub rotor berkurang dan dengan demikian hubungan fluks meningkat.

Kenaikan induktansi berlanjut sampai titik di mana semua gigi rotor melihat celah udara yang seragam. Setelah titik itu induktansi tetap tidak aktif pada nilai maksimalnya L_{max} . Ketika ujung rotor bergerak lebih jauh, hubungan fluks mulai berkurang dan karenanya induktansi mulai turun menuju nilai minimumnya. Induktansi tetap pada nilai minimum sampai rotor berada di bawah fase berbeda yang tereksitasi dan siklus berlanjut.

Gambar 4.2. menunjukkan turunan dari profil induktansi yang positif untuk bagian naik dari profil induktansi sementara itu negatif untuk profil arus yang menurun. Karena turunannya muncul sebagai gelombang kuasi-kuadrat, maka



torsi memiliki sifat berdenyut. Untuk operasi motor, arus diinjeksikan ke



daerah turunan positif dari induktansi. Arus harus naik dan turun ke nol sebelum daerah berdenyut negatif dimulai karena jika arus masih ada di daerah negatif itu akan menyebabkan tindakan pembangkitan.

Gambar 4.2. Variasi induktansi dengan sudut rotasi

4.4. Hubungan Antara Flux dan Sudut Rotasi

Model yang disederhanakan dari fase tereksitasi SRM dapat direpresentasikan di mana tegangan DC diterapkan melintasi induktansi dan dioda roda bebas dihubungkan dalam konfigurasi anti-paralel.

Relasi terminal dapat ditulis sebagai berikut

$$v = ri + Nd\phi/dt$$

Penurunan resistansi kecil dibandingkan dengan ggl yang diinduksi dan karenanya dapat diabaikan untuk analisis

$$V_{dc} = Nd\phi/dt$$

$$\phi = \int (V_{dc}/N) dt$$

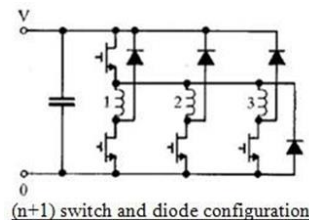
Variabel integrasi dapat diubah menjadi sudut θ dan hubungan berikut diturunkan

$$\phi = \int (V_{dc}/N\omega) d\theta$$

Mengingat tegangan yang diberikan adalah dc dan kecepatan mesin konstan, fluks meningkat secara langsung dengan sudut putaran. Fluks meningkat ke arah positif selama kemiringan naik dari induktansi karena tegangan positif diterapkan melintasi belitan. Sebelum profil induktansi mulai masuk dalam tren menurun polaritas tegangan yang diterapkan dibalik dan menurut rumus di atas fluks sekarang mulai berkurang dengan meningkatnya sudut.

Dengan demikian diperlukan pembalikan polaritas dari tegangan yang diberikan dan karenanya diperlukan jenis konverter yang unik agar tindakan seperti itu dapat terjadi. Sistem yang umum digunakan adalah double.

konfigurasi konverter dioda sakelar suplai yang ditunjukkan pada Gambar.4.3. Saat sakelar ON.



. Gambar 4..3. Konverter Asymetris Untuk Menggerakkan SRM 3 Fasa

vab positif dengan polaritas yang ditampilkan. Ketika sakelar dimatikan, tindakan freewheeling terjadi melalui dioda dan vab mencapai polaritas negatif.

Gambar.4.2. menunjukkan bahwa respons kecepatan penggerak SRM cukup cepat karena secara langsung bervariasi $dL / d\theta$. Inersia rotor pada penggerak kecil sehingga memungkinkan dinamika torsi yang cepat.

4.5. Hubungan Antara Flux dan Arus

Fluks meningkat dengan arus ketika V_{dc} diterapkan melintasi belitan. Oleh karena itu, induksi dapat ditulis sebagai fungsi fluks sebagai berikut

$$L = N\phi/i$$

Substitusi hubungan untuk flux dari persamaan $\phi = \int (V_{dc}/N\omega)d\theta$ ke rumus

$$L = N\phi/i$$

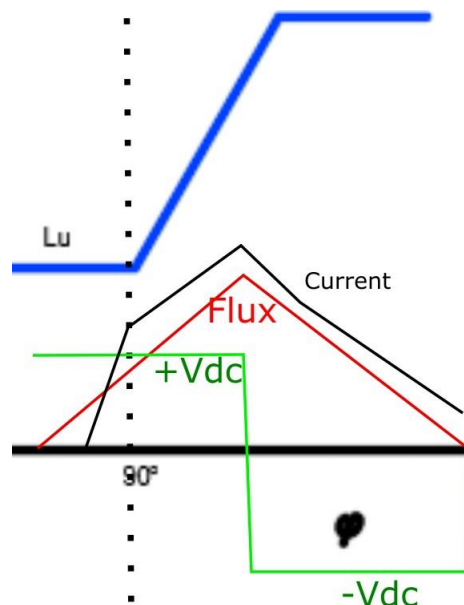
$$i = \frac{V_{dc}\theta}{\omega L}$$

Dengan demikian arus yang terbentuk melintasi belitan adalah fungsi induktansi dan juga kecepatan mesin.

Ketika induktansi berada pada nilai minimum L_{min} , kenaikan arus curam jika kecepatan konstan dianggap sesuai dengan hubungan berikut

$$di/dt = V_{dc}/L_{min}$$

Ketika profil induktansi mulai meningkat namun menurut Gambar 4.4. kenaikan arus akan ditahan karena induktansi menahan perubahan arus. Juga efek yang sama dapat dicatat selama gelombang arus membusuk yang peluruhan lambat saat induktansi



Gambar 4.4. Variasi arus dengan perubahan profil induktansi [5]

berada pada nilai maksimumnya L_{max} . Selanjutnya dapat diperhatikan bahwa polaritas negatif tegangan diterapkan cukup awal sehingga memungkinkan waktu yang cukup untuk profil arus meluruh ke nol. Jika pulsa negatif diterapkan dengan penundaan, arus mungkin masih ada selama daerah pembangkitan profil torsi.

4.6. Metode Pengoperasian Switched Reluctance Motor

Setiap kali induktansi SRM berubah, suku $dL / d\theta$ dalam ekspresi torsi akan muncul sebagai konstanta. Oleh karena itu, ekspresi torsi dapat ditulis sebagai

$$T = 1/2 \frac{i^2 dL}{d\theta} = ki^2$$

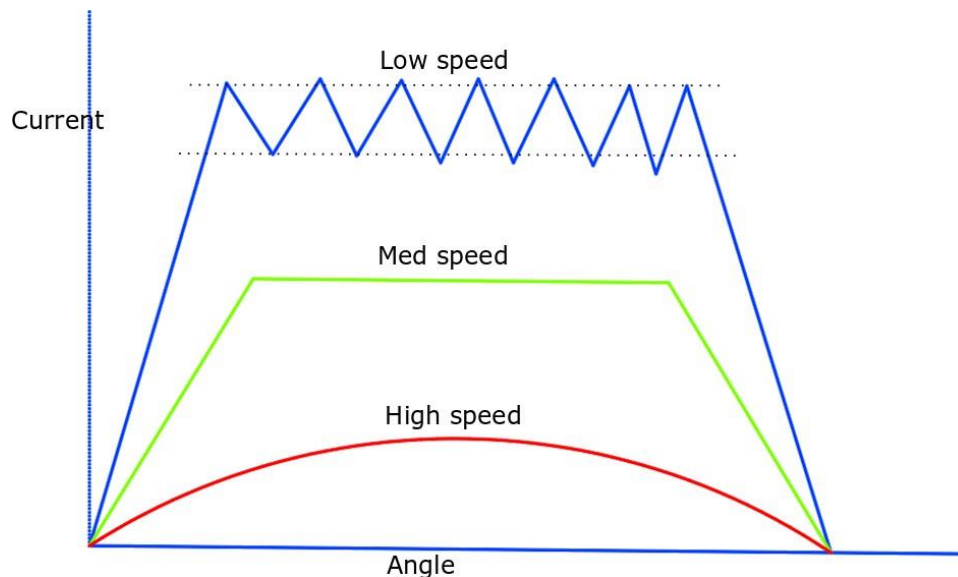
Substitusi nilai arus dari $\varphi = \int (V_{dc}/N\omega)d\theta$ ke $T = 1/2 \frac{i^2 dL}{d\theta} = ki^2$

Kita mendapatkan rumus dibawah ini

$$T = k \frac{V_{dc}\theta}{\omega L}$$

$$P_{out} = T\omega = \frac{kV_{dc}^2\theta^2}{\omega L^2}$$

Jika kecepatan sangat rendah, nilai arus akan lebih tinggi dan kontrol mode chop untuk arus akan digunakan untuk menjaga arus pada nilai referensi. Pada kecepatan yang lebih tinggi arus menurun ke nilai yang lebih kecil dan strategi pengendalian yang berbeda digunakan. Pada tingkat kecepatan yang lebih tinggi daripada kecepatan dasar, nilai arus semakin menyusut. Arus vs plot





sudut rotasi untuk berbagai mode operasi penggerak SRM diperkirakan dalam Gbr

Gambar 4.5, Bentuk gelombang arus pada kecepatan SRM yang berbeda

4.7. Pemilihan Bahan

Pemilihan material untuk desain mesin sangat penting. Bahan harus menunjukkan losses rendah dan sifat polarisasi magnet tinggi. Baja non-orientasi yang disediakan oleh Cogent Power Ltd digunakan untuk desain inti yang dinilai sesuai dengan standar Eropa EN 1016. Sifat kemagnetan bahan bisa dilihat pada table dibawah ini :

Grade(EN1010 6)	Thickness(m m)	Max Specific loss(mW/kg)1.5 T	$H_{min} =$ 5000(AT/m)	$H_{min} =$ 10,000(AT/m)
M235-35A	0.35	2.35	1.60	1.70
M250-35A	0.35	2.50	1.60	1.70
M300-35A	0.35	3.00	1.60	1.70

Tabel 4.1. Magnetic Properties Materials

Tabel di atas menunjukkan sifat magnetis bahan yang terpilih untuk desain yang ada. M300-35. Polaritas magnet minimum material sama pada intensitas medan magnet yang diterapkan 5000 AT / m dan 10.000 AT / m. namun losses yang paling rendah adalah dari material M235-35A. Untuk mesin berukuran sedang, permeabilitas lebih tinggi lebih disukai



Grade(EN10106)	Max Specific loss(mW/kg)1.5T	$H_{min}=5000(AT/m)$	$H_{min}=10,000(AT/m)$	permeability μ_r
M235-35A	2.35	1.64	1.76	610
M250-35A	2.50	1.64	1.76	660
M300-35A	3.00	1.65	1.78	830

Tabel 4.2 Typical Magnetic Properties at 50Hz

Sedangkan kehilangan daya / loses adalah masalah yang sangat penting untuk mesin besar, Biasanya konsentrasi paduan seperti Silicon tertanam dalam material yang membantu mengurangi kerugian namun mengurangi permeabilitas material. Untuk bahan desain kami akan menggunakan kandungan paduan karbon rendah dengan kerugian lebih tinggi tetapi permeabilitas yang lebih tinggi dan biaya rendah yang akan dipilih.

4.8. Dimensi Motor

Untuk membuat desain awal switched reluctance motor, penting untuk menghitung dimensi dari motor itu sendiri, setelah menghitung dimensi awal motor kemudian mengevaluasi kinerjanya setelah rancangan tersebut di rakit.

Dibawah ini merupakan parameter untuk menghitung dimensi motor. Parameter Desain [1]:

- P : developed power (W) = 5000W
- K_e : efficiency of the motor = 0.9
- K_d : duty cycle, in equation = 1
- K_1 : numerical constant equal to $\frac{\pi^2}{120}$
- K_2 : numerical constant (0.65 < K_2 < 0.75)
- B : peak flux density (T) (0.65)
- A_s : electric loading (A/m²) (25000 < A_s < 90000)
- D : bore diameter (m)
- L : stack length (m)
- N : mechanical rotation speed (r/min) = 3000 r/min
- K_{asp} : Aspect Ratio = D/L = 0.7,
- β_s : Stator Pole Arc = 24°
- β_r : Rotor Pole Arc = 45°



K_{rtp} :Rotor tooth to tooth pitch ratio = 0.4

K_{stp} :Stator tooth to tooth pitch ratio = 0.4

K_{sy} : Ratio of Stator yoke height to the Stator pole width = $b_{sy}/w_{sp} = 0.6$

K_{ry} : Ratio of Rotor yoke height to the Stator pole width = $b_{ry}/w_{sp} = 0.6$

4.8.1. Menghitung Bore Diameter

$$P = K_e K_d K_l K_2 B A_s D^2 L N_r$$

$$P = K_e K_d K_l K_2 B A_s \frac{D^3}{0.7} N_r$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{P \times 0.7}{K_e K_d K_l K_2 B A_s N_r}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{5000 \times 0.7}{0.9 \times 1 \times 0.08 \times 0.7 \times 0.65 \times 65000 \times 3000}}$$

$$D = 0.081 \text{ m} = 81 \text{ mm}$$

$$L = \frac{D}{K_{asp}} = \frac{81}{0.7} = 115.7 \text{ mm} \approx 116 \text{ mm}$$

4.8.2. Menghitung Stator Pole Width (w_{sp})

Lebar pole stator dapat dinyatakan dalam diameter lubang dan pole arch stator seperti rumus dibawah ini :

$$w_{sp} = D \sin (\beta_s/2)$$

$$\begin{aligned} \beta_s &= \frac{360^\circ}{6} \times K_{stp} \\ &= \frac{360^\circ}{6} \times 0.4 \\ &= 24^\circ \end{aligned}$$

$$w_{sp} = 81 \sin (24^\circ/2)$$

$$w_{sp} = 81 \sin (12^\circ)$$

$$w_{sp} = 16.84 \text{ mm} \approx 17 \text{ mm}$$

4.8.3. Menghitung Rotor Pole Width (w_{rp})

Lebar pole rotor dapat dinyatakan dalam diameter lubang dan pole arch rotor seperti yang diberikan pada rumus dibawah ini :

$$w_{rp} = D \sin (\beta_r/2)$$

$$\beta_r = \frac{360^\circ}{4} \times K_{rtp}$$



$$\beta_r = \frac{360^\circ}{4} \times 0.5$$

$$\beta_r = 45^\circ$$

$$w_{rp} = 81 \sin (45^\circ/2)$$

$$w_{rp} = 81 \sin (22.5^\circ)$$

$$w_{rp} = 25.03 \text{ mm} \approx 25 \text{ mm}$$

4.8.4. Menghitung Stator Yoke Height (b_{sy})

Tinggi kuk Stator biasanya sama dengan setengah dari lebar tiang stator karena fluks magnet yang melewati besi belakang terbagi menjadi dua.

$$b_{sy} = 0.6 w_{sp}$$

$$b_{sy} = 0.6 \times 17 = 10.2 \text{ mm}$$

4.8.5. Menghitung Rotor Yoke Height (b_{ry})

Demikian pula fluks yang melewati kutub Rotor juga terbagi melintasi besi belakang dan dapat diasumsikan memiliki nilai yang sama dengan tinggi yoke rotor.

$$b_{ry} = 0.6 w_{sp}$$

$$b_{ry} = 0.6 \times 17 = 15 \text{ mm}$$

4.8.6. Menghitung Stator Pole height (h_{sp})

Tinggi tiang Stator dapat dihitung dengan mengurangkan diameter lubang dan dua kali tinggi besi belakang stator dari diameter luar Stator. Asumsi Outer Diameter (D_o) sebesar 150 mm

$$D_o = D + 2 b_{sy} + 2 h_{sp}$$

$$150 = 81 + 2 \cdot 10 + 2 h_{sp}$$

$$h_{sp} = \frac{150 - 81 - 20}{2}$$

$$h_{sp} = 24.5 \text{ mm}$$

4.8.7. Menghitung Rotor Pole height (h_{rp})

Asumsi air gap (I_g) sebesar 0.5mm , Diameter Shaft sebesar 26 mm



$$h_{rp} = \frac{D-2lg-Dsh-2bry}{2}$$
$$h_{rp} = \frac{81-2(0.5)-26-2(15)}{2}$$
$$h_{rp} = 12 \text{ mm}$$

4.8.8. Menghitung Number of Turn per Phase (Tph) [3]

Mencari arus motor terlebih dahulu dengan asumsi voltase sebesar 72 volt

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \cos \phi$$
$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi}$$
$$I = \frac{5000}{\sqrt{3} \times 72 \times 0.9}$$
$$I = 48 \text{ A (Arus satu fase)}$$
$$I_p \text{ (arus per pole)} = 48/2 = 24\text{A}$$

4.8.9. Menentukan Wire Size

Dimana : J : Current of density → Asumsi bahan copper sebesar 10 A/mm²

$$q : \text{Number of phase} = 3$$

Mencari area of conductor (a_c) :

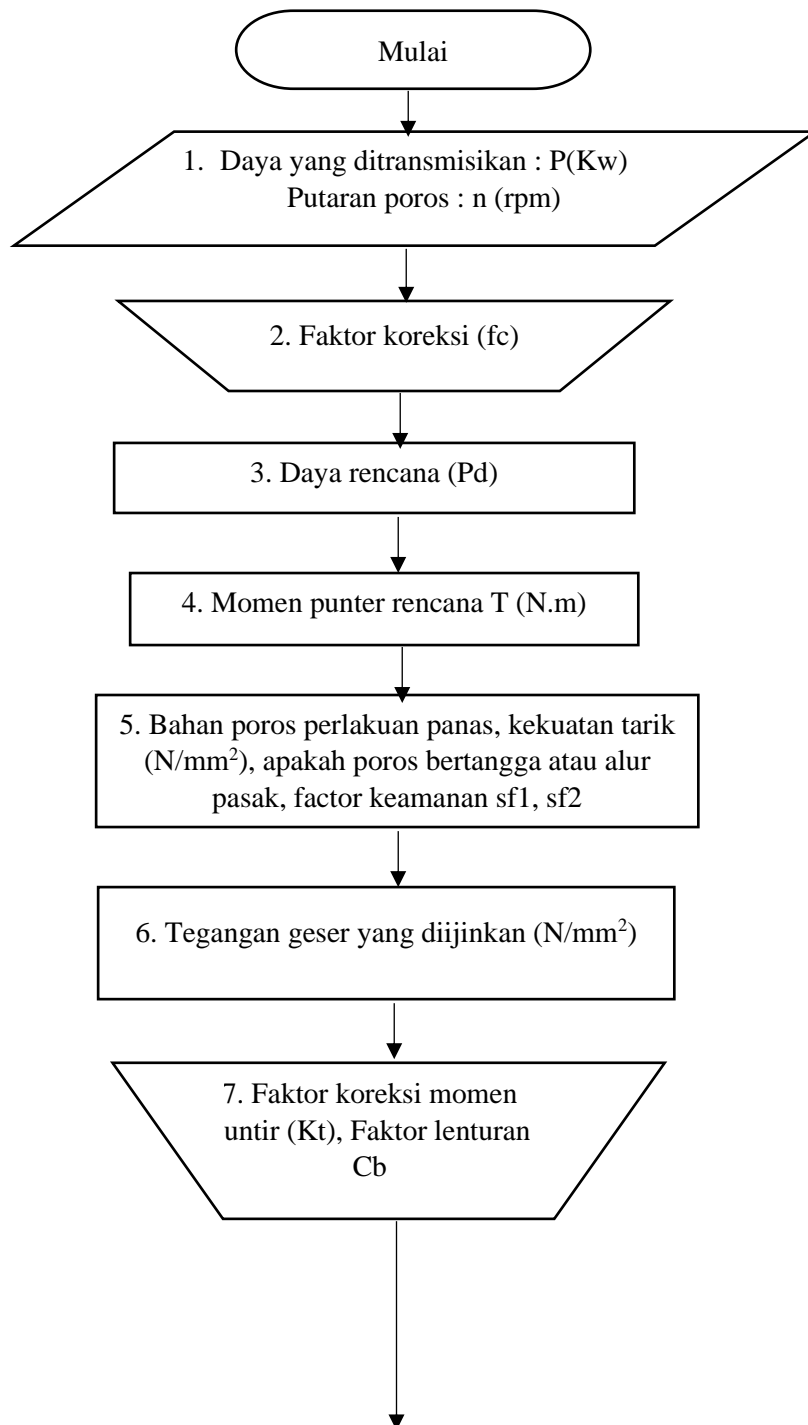
$$A_c = \frac{I_p}{J \sqrt{q}}$$
$$A_c = \frac{24}{10\sqrt{3}}$$
$$A_c = 1.5 \text{ mm}^2$$
$$A_c = \frac{1}{4} \pi D^2$$

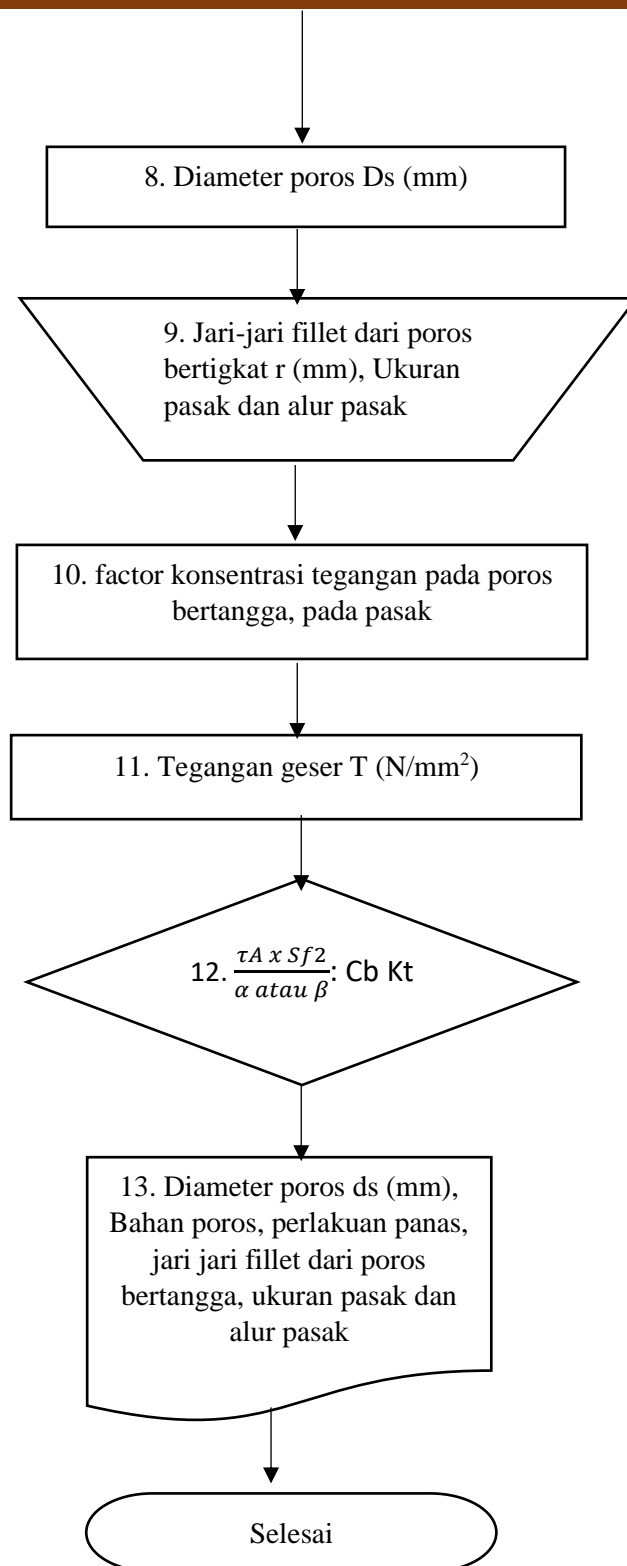
$$D = \sqrt{\frac{4 \times a_c}{\pi}}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1.5}{\pi}}$$
$$D = 1.3 \text{ mm}$$

Kemudian Tph dicari dengan rumus :

$$T_{ph} = \frac{As \times \pi \times D}{6 \times I_p}$$
$$T_{ph} = \frac{65000 \times \pi \times 0.081}{6 \times 48}$$
$$T_{ph} = 58 \text{ turn/phase}$$

4.8.10. Perencanaan Poros dan Pasak







1. Daya Perencanaan

Daya Poros (P) = 5 kw

Putaran (n) = 3000 rpm

2. Faktor Koreksi daya (fc)

a. fc = 1.2 - 2.0 (Daya maksimum)

b. fc = 0.8 - 1.2 (Daya rata - rata)

c. fc = 1.0 - 1.5 (Daya normal)

Dalam hal ini factor koreksi (fc) dipilih nilai 1.3 untuk mengantisipasi beban berlebih

3. Sehingga, daya rencana (Pd)

$$\begin{aligned} Pd &= fc \times P \\ &= 1.3 \times 5 \text{ Kw} \\ &= 6.5 \text{ Kw} \end{aligned}$$

4. Momen Puntir (T)

Momen punter (T) adalah torsi pada motor atau generator magnet permanen yang mana nilainya meliputi torsi cogging, torsi histerisis (torsi yang timbul akibat gesekan).

$$\begin{aligned} T &= 9.74 \times 10^5 \times (Pd/n) \\ &= 9.74 \times 10^5 \times (6.5 \text{ Kw}/3000 \text{ Rpm}) \\ &= 2.11 \times 10^3 \text{ N.m} \end{aligned}$$

5. Faktor Keamanan

Bahan poros yang digunakan pada motor SRM yaitu ST 90 dimana memiliki kekuatan tarik (σ_B) sebesar 90 N/mm²

Faktor keamanan

1. Sf₁ = 6
2. Sf₂ = 1.3 - 3

Diambil Sf₂ = 3, Karena poros yang kita desain memiliki alur pasak dan bertanggung(bertingkat)

6. Tegangan Geser yang diijinkan (τ_A)

Sehingga tegangan geser yang diijinkan (τ_A) :

$$\begin{aligned} \tau_A &= \sigma_B / (Sf_1 \times Sf_2) \\ &= 90 / (6 \times 3) \\ &= 5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



7. Faktor Konsentrasi Tegangan

Kt	= 1.0	(Tumbukan halus)
Kt	= 1.0 – 1.5	(Sedikit Tumbukan)
Kt	= 1.5 – 3.0	(Tumbukan Kasar)

Diambil Kt = 1.5, karena pada saat beroperasi akan terjadi sedikit tumbukan

Faktor Beban Lentur

Cb	= 1
Cb	= 1.2 – 2.3

Diambil Cb = 2, karena diprediksi akan terjadi beban lentur dan beban kejut sesekali.

8. Diameter poros yang direncanakan (Ds)

Sehingga, diameter poros yang direncanakan (Ds) :

$$\begin{aligned} D_s &\geq [(5.1/ \tau A) \times K_t \times C_b \times T]^{1/3} \\ &\geq [(5.1/ 5) \times 1.5 \times 2 \times 2.11 \times 10^3]^{1/3} \\ &\geq 18.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi poros yang direncanakan harus memiliki diameter minimal 18.1 mm atau bisa lebih

9. Anggaplah diameter yang menjadi tempat bantalan adalah 20 mm

$$\text{Jari-jari fillet}(R_{ds}) = (20-18)/2 = 1 \text{ mm}$$

Alur Pasak 6 x 6 x fillet 0.4

10. Konsentrasi tegangan pada poros bertangga adalah

$$R_{ds}/d_s = 1/20 = 0.05 \rightarrow \beta = 01.1$$

Konsentrasi tegangan pada poros dengan alur pasak adalah

$$0.4/20 = 0.02 \rightarrow \alpha = 2.6$$

11. Tegangan geser yang terjadi (τ)

$$\tau = 5.1 \times \frac{6717}{d_s}$$

$$\tau = 5.1 \times \frac{6717}{20^2}$$

$$\tau = 4.28 \text{ N.mm}$$

12. Pemeriksaan keamanan



$$\text{Syarat : } \tau A \times \frac{sf^2}{\beta} > \tau \times Kt \times Cb$$

$$5 \times \frac{3}{1.1} > 4.28 \times 1.5 \times 2$$

$$13.63 > 12.84 \text{ (Benar)}$$

Setelah dilakukan pemeriksaan keamanan, diameter yang aman untuk poros yaitu lebih besar atau sama dengan 20 mm. Dengan nilai alur pasak 6 x 6 x fillet 0.4 (tabel sularso)

4.8.12. Pemilihan Bearing

Diameter poros motor yang akan dipasangkan dengan bearing memiliki diameter sebesar 20 mm. Suaian antara bearing dan poros harus suaian pas sehingga dipilih diameter dalam bearing 20 mm juga Untuk pemilihan bearingnya dipilih bearing jenis gelinding (ball-single row-deep groove) dengan nomor 7304 B, dan dari pemilihan tersebut didapatkan data data sebagai berikut :

Diameter luar(Do)	= 52 mm
Diameter dalam (Di)	= 20 mm
Tebal(B)	= 15mm
Co	= 7.65 kN (Didapat dari tabel Sularso)
C	= 12.5 kN (Didapat dari tabel Sularso)

Data lain yang diperlukan dalam perhitungan bearing adalah :

$$V = 1 \text{ (ring dalam yang berputar)}$$

$$B = 3 \text{ (untuk bantalan gelinding)}$$

$$Fs = 1.0 \text{ (service factor, tabel)}$$

Untuk menghitung umur bearing/bantalan dapat dilakukan perhitungan dengan rumus :

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^b \times \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

Dimana

$$L_{10h} = \text{Umur bantalan/bearing (jam kerja)}$$

$$N = \text{Putaran poros (rpm)}$$

Untuk mencari nilai C dapat dilihat dari tabel. Disini untuk bantalan digunakan dikedua sisi poros dan keduanya menggunakan bearing 7304 B (ball-single row – deep groove) sehingga didapatkan nilai C = 12.5 kN



4.8.12.1. Perhitungan Beban Ekuivalen

Selanjutnya akan dicari adalah beban ekuivalen (P). untuk mencari beban ekuivalen dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P = F_s(V.X.F_r + Y.F_a)$$

- Mencari nilai e terlebih dahulu

$$e = \frac{F_a}{C_o}$$

dimana : F_a = Beban aksial poros (N)

F_r = Beban radial poros (N)

Untuk $F_a = \frac{1}{2} F_r$ (Asumsi)

Nilai F_r dapat dicari berdasarkan torsi yang dihasilkan oleh poros :

$$P = \frac{T \times \omega \times 2\pi}{60000} \rightarrow P = \text{Daya Poros (5 kW)}$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{P \times 60000}{\omega \times 2\pi} & \omega &= \text{Putaran Poros (3000 rpm)} \\ &= \frac{5 \times 60000}{3000 \times 2\pi} \\ &= 15.92 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Menentukan F_r

$$T = F_r \cdot r \rightarrow r = \text{jari jari rotor (m)}$$

$$F_r = \frac{T}{r}$$

$$F_r = \frac{15.92 \text{ N}}{0.045 \text{ m}}$$

$$F_r = 393.54 \text{ N}$$

$$F_a = \frac{1}{2} F_r = \frac{1}{2} 393.083 \text{ N} = 196.5 \text{ N}$$

didapat nilai F_a Sebesar 196.65 N

$$\text{Sehingga nilai } e = \frac{F_a}{C_o} = \frac{196.65}{7650} = 0.025$$

- Mencari nilai X dan Y

$$\frac{F_a}{V.F_r} > e$$

$$\frac{196.5}{1.393.5} > e$$

$$0.5 > 0.025$$



Jadi nilai X dan Y adalah nilai yang ada pada tabel (Sularso) beban ekuivalen bearing yaitu :

$$X = 0.56$$

$$Y = 1.00$$

Jadi beban ekuivalen dapat diketahui :

$$\begin{aligned} P &= F_s(V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a) \\ &= 1(1.0 \cdot 0.56 \cdot 393.083 + 1 \cdot 196.5) \\ &= 416.58 \text{ N} \end{aligned}$$

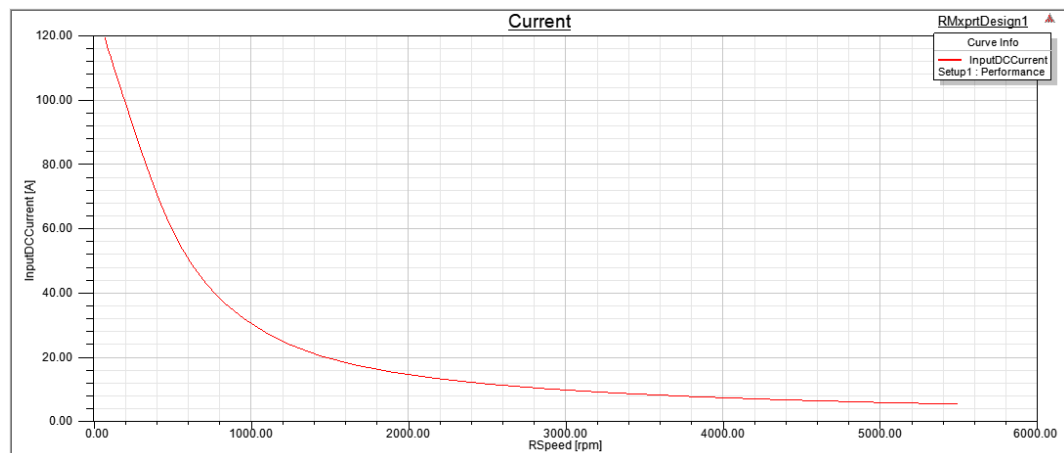
4.8.13. Umur Bantalan

Direncanakan dengan diameter dalam bearing sebesar 20 mm

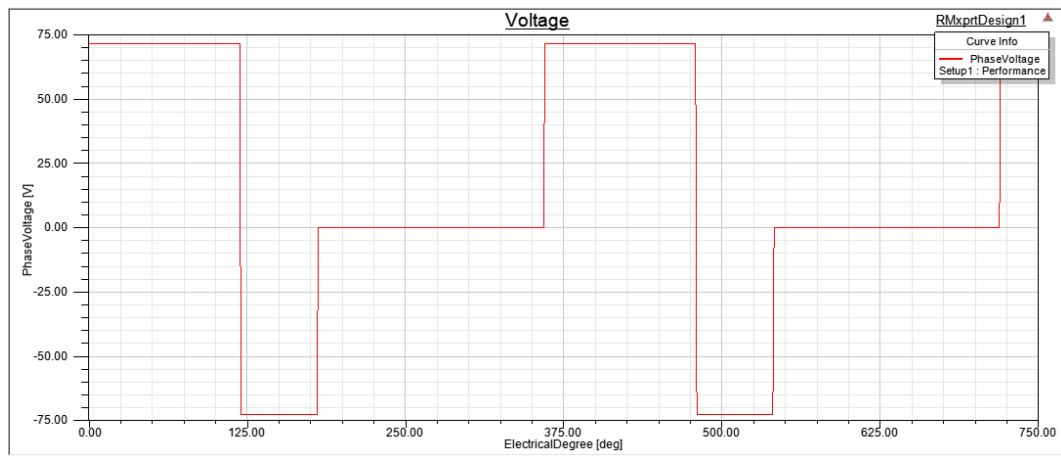
$$\begin{aligned} L_{10h} &= \left(\frac{C}{P}\right)^b \times \frac{10^6}{60 \cdot n} \\ L_{10h} &= \left(\frac{12500}{416.58}\right)^b \times \frac{10^6}{60 \cdot 3000} \\ &= 150090.1 \text{ (Jam kerja)} \end{aligned}$$

Jadi umur bantalan yang kita pilih dapat diketahui sebesar 150090.1 jam kerja.

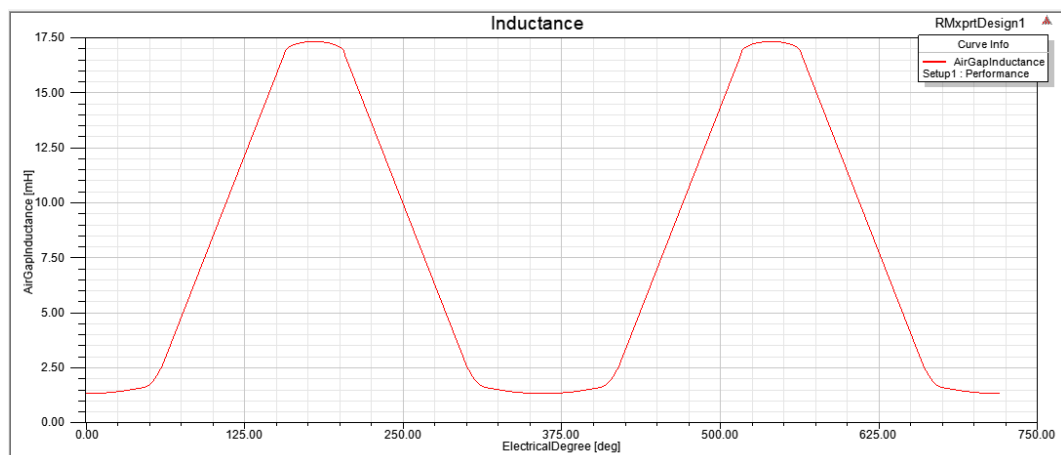
4.9. Hasil Simulasi



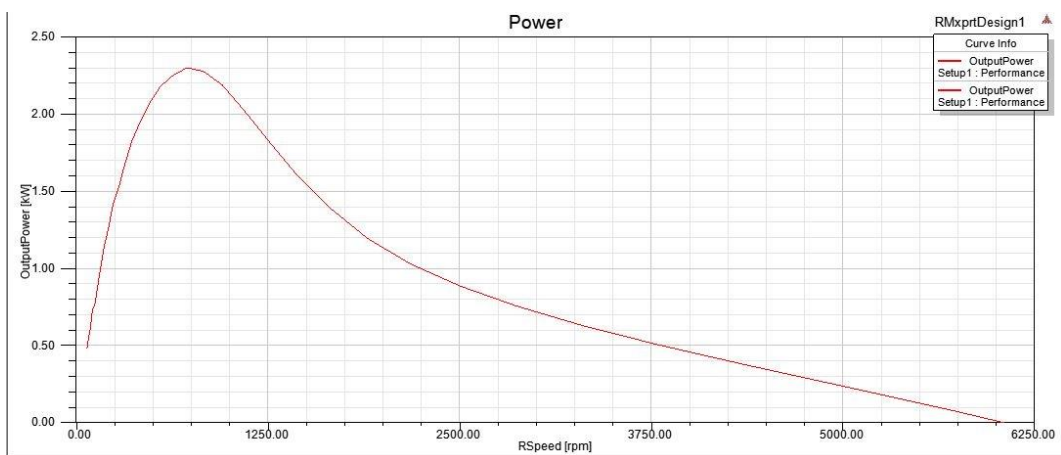
Grafik 4.1. kebutuhan arus terhadap kecepatan



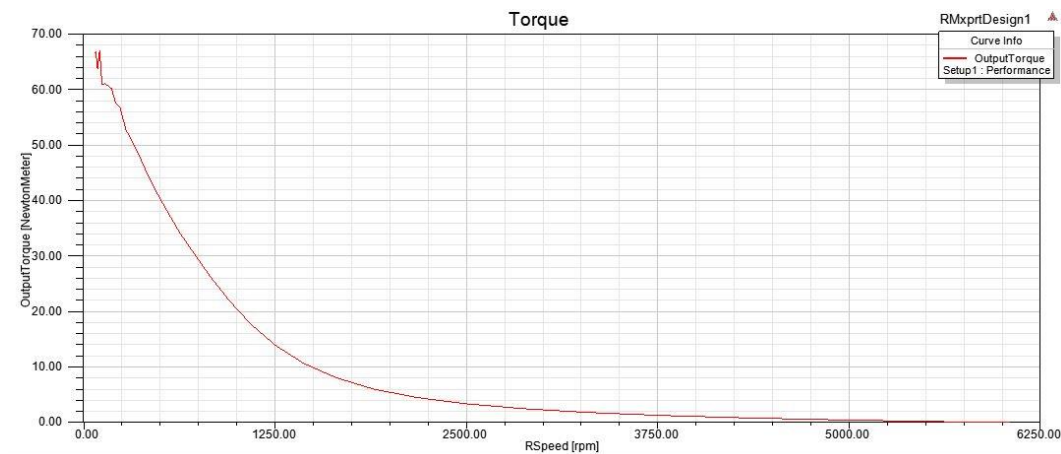
Grafik 4.2. Distribusi Voltase terhadap posisi rotor



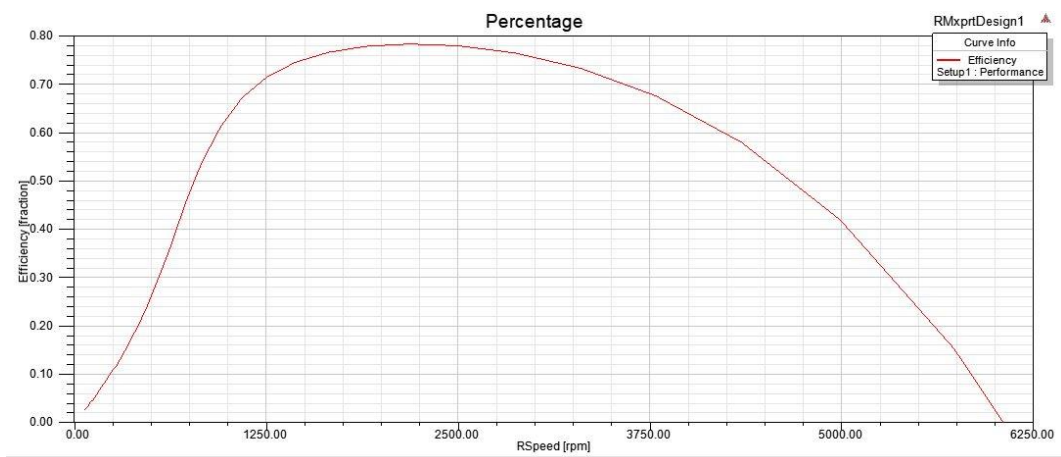
Grafik 4.3. Variasi induktansi



Grafik 4.4. Power Output



Grafik 4.5. Torsi



Grafik 4.6. Efisiensi Motor Tanpa Beban

4.9.1. Rekomendasi

Berdasarkan perhitungan diatas kami merekomendasikan ukuran rancangan dan bahan sebagai berikut :

Spesifikasi Stator	
Outer Diameter (mm)	150
Inner Diameter (mm)	81
Length (mm)	116
Steel Type	M300-35A
Stacking Factor	0.95
Number of Poles	6
Embrace	0.4
Yoke Thickness (mm)	10

Tabel 4.3. Spesifikasi Rotor



Spesifikasi Rotor	
Outer Diameter (mm)	80
Inner Diameter (mm)	26
Length (mm)	116
Steel Type	ST 60
Stacking Factor	0.95
Number of Poles	4
Embrace	0.4
Yoke Thickness (mm)	10

Tabel 4.4. Spesifikasi Rotor

Spesifikasi poros	
Outer Diameter (mm)	26
Bearing diameter	20
Length (mm)	116
Steel Type	Stainless steel
Bolt	8mm x 30 mm
Diameter output ass	2 mm
Bolt sprocket	6mm x 15 mm

Tabel 4.5. Spesifikasi Poros

Spesifikasi casing	
Outer Diameter (mm)	170
Inner Diameter (mm)	150
Length (mm)	120
Steel Type	Alumunium

Tabel 4.6. Spesifikasi Casing

Spesifikasi Tutup Depan	
Outer Diameter (mm)	160
Inner Diameter (mm)	21.5
Steel Type	Alumunium
Number of bolt	4 (M8)

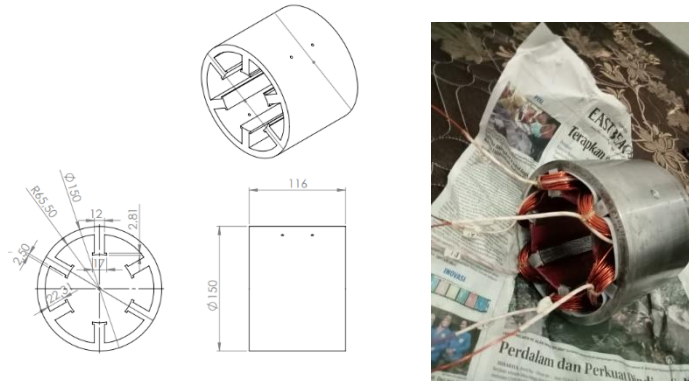
Tabel 4.7. Spesifikasi Tutup Depan

Spesifikasi Tutup Belakang	
Outer Diameter (mm)	160
Inner Diameter (mm)	21.5
Steel Type	Alumunium
Number of bolt	4 (M8)
Number of Poles	4

Tabel 4.8. Spesifikasi Tutup Belakang

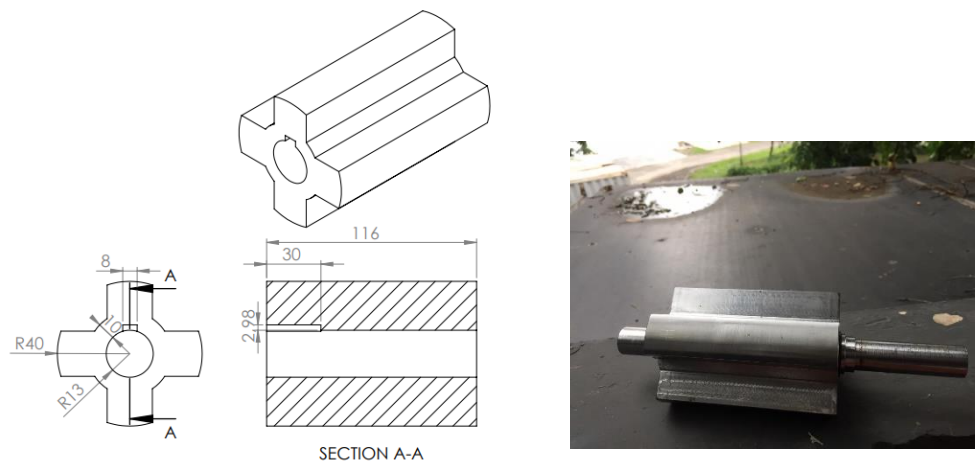
4.10. Hasil Perancangan

4.10.1. Stator



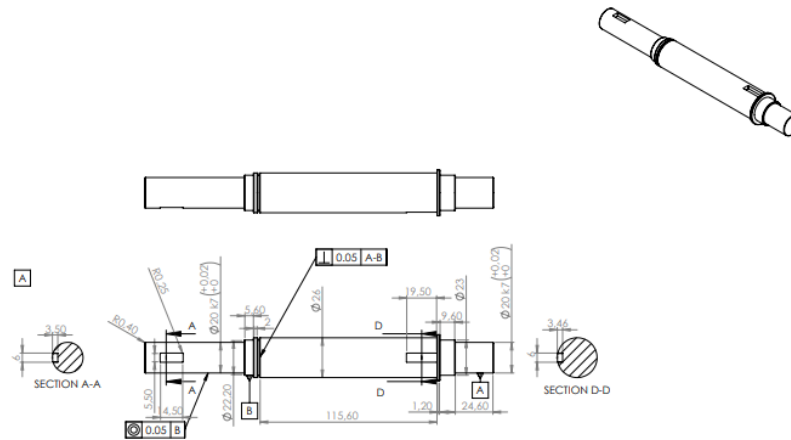
Gambar 4. 6 Hasil Perancangan Stator

4.10.2. Rotor



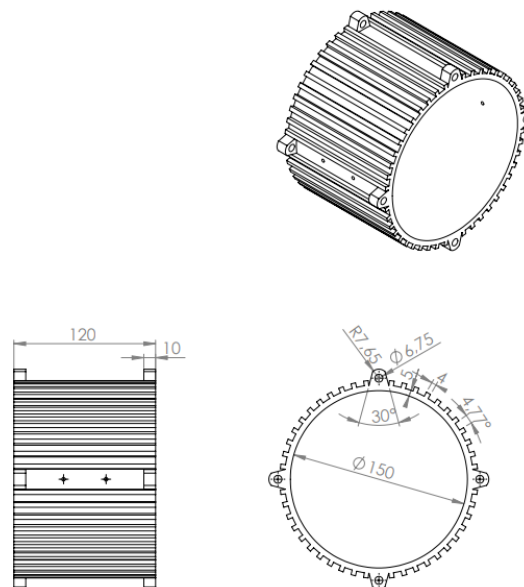
Gambar 4.7. Hasil Perancangan Rotor

4.10.3. Poros



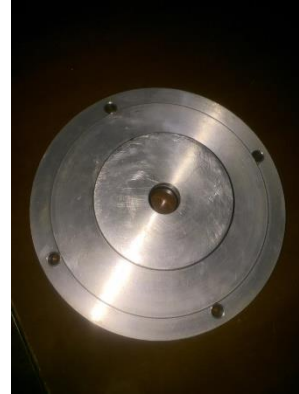
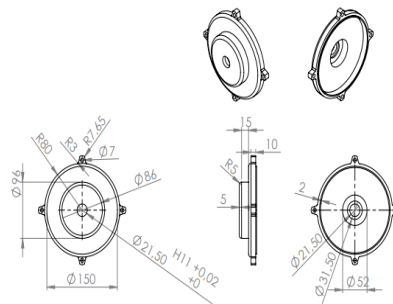
Gambar 4.8. Hasil Perancangan Poros

4.10.4. Casing



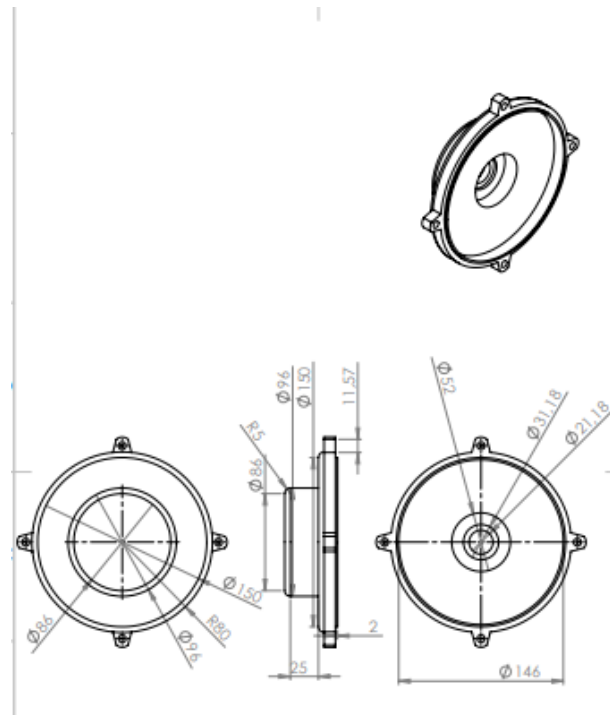
Gambar 4.9. Hasil Perancangan Casing

4.10.5. Tutup Depan



Gambar 4.10. Hasil Perancangan Tutup Depan

4.10.6. Tutup Belakang



Gambar 4.11. Hasil Perancangan Tutup Belakang

4.10.7. Hasil Assembly

Dikarenakan Kendala biaya maka desain sirip di hilangkan dan bahan casing diganti dengan cast iron.

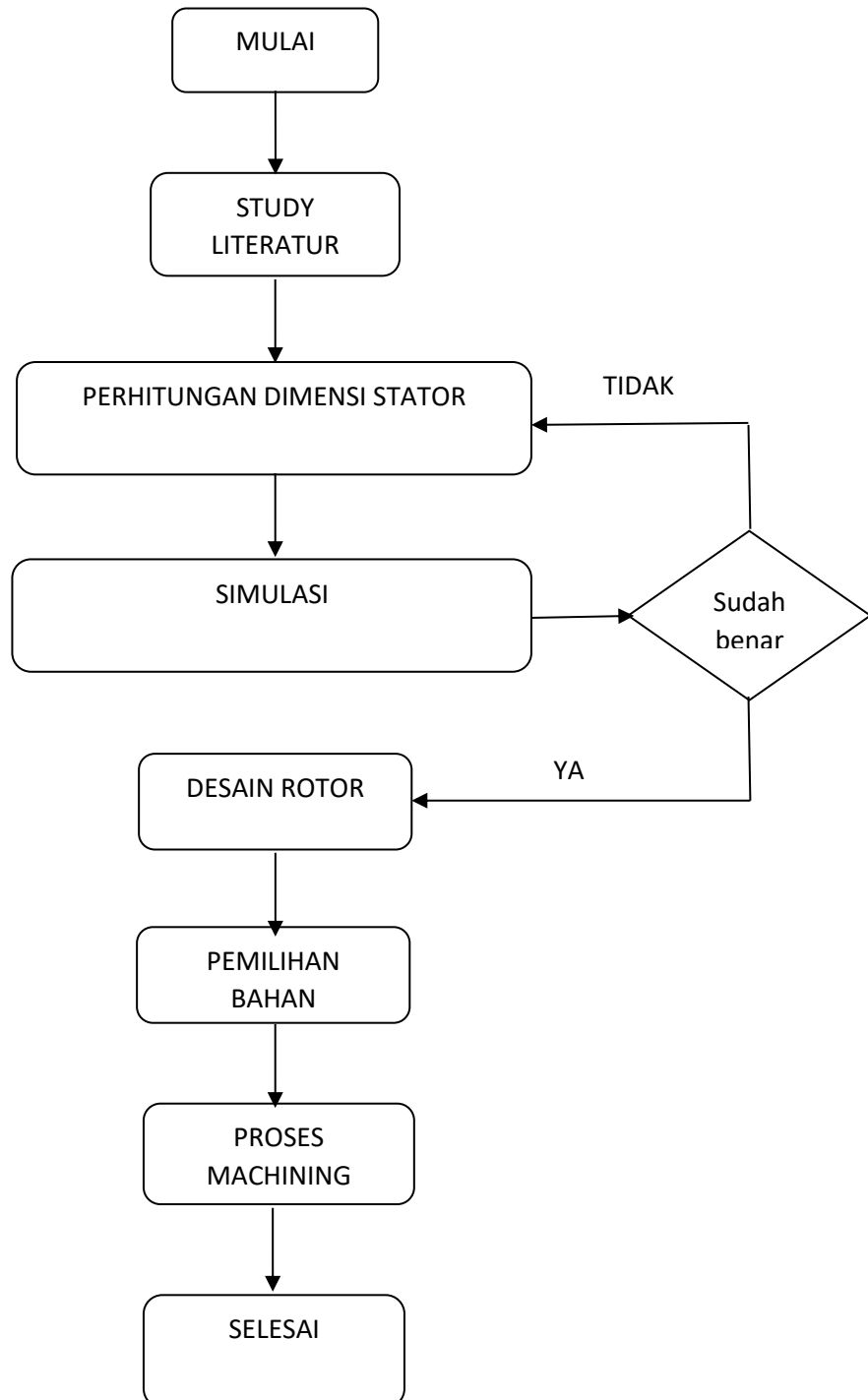
Gambar 4.12. Hasil Assembly Motor



BAB V

TUGAS KHUSUS

5.1 Diagram Flow chart





5.2 Menghitung Dimensi Rotor

Untuk membuat desain awal switched reluctance motor, penting untuk menghitung dimensi dari motor itu sendiri, setelah menghitung dimensi awal motor kemudian mengevaluasi kinerjanya setelah rancangan tersebut di rakit.

Dibawah ini merupakan parameter untuk menghitung dimensi stator.

Parameter Desain Berdasarkan Paper[1]:

P : developed power (W) = 5000W

K_e : efficiency of the motor = 0.9

K_d : duty cycle, in equation = 1

K_1 : numerical constant equal to $\frac{\pi^2}{120}$

K_2 : numerical constant ($0.65 < K_2 < 0.75$)

B : peak flux density (T) (0.65)

A_s : electric loading (A/m²) ($25000 < A_s < 90000$)

D : bore diameter (m)

L : stack length (m)

N_r : mechanical rotation speed (r/min) = 3000 r/min

K_{asp} : Aspect Ratio = $D/L = 0.7$,

β_s : Stator Pole Arc = 24°

β_r : Rotor Pole Arc = 45°

K_{rtp} : Rotor tooth to tooth pitch ratio = 0.4

K_{stp} : Stator tooth to tooth pitch ratio = 0.4

K_{sy} : Ratio of Stator yoke height to the Stator pole width =

$b_{sy}/w_{sp} = 0.6$

K_{ry} : Ratio of Rotor yoke height to the Stator pole width = b_{ry}/w_{sp}

= 0.6



5.2.1 Menghitung Bore Diameter

$$P = K_e K_d K_1 K_2 B A_s D^2 L N_r$$

$$P = K_e K_d K_1 K_2 B A_s \frac{D^3}{0.7} N_r$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{P \times 0.7}{K_e K_d K_1 K_2 B A_s N_r}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{5000 \times 0.7}{0.9 \times 1 \times 0.08 \times 0.7 \times 0.65 \times 65000 \times 3000}}$$

$$D = 0.081 \text{ m} = 81 \text{ mm}$$

$$L = \frac{D}{K_{asp}} = \frac{81}{0.7} = 115.7 \text{ mm} \approx 116 \text{ mm}$$

5.2.2 Menghitung Rotor Pole Width(wrp)

$$w_{rp} = D \sin(\beta_r/2)$$

$$\beta_r = \frac{360^\circ}{4} \times K_{rtp}$$

$$\beta_r = \frac{360^\circ}{4} \times 0.5$$

$$\beta_r = 45^\circ$$

$$w_{rp} = 81 \sin(45^\circ/2)$$

$$w_{rp} = 81 \sin(22.5^\circ)$$

$$w_{rp} = 25.03 \text{ mm} \approx 25 \text{ mm}$$

5.2.3 Menghitung Rotor Yoke Height (bry)

Demikian pula fluks yang melewati kutub Rotor juga terbagi melintasi besi belakang dan dapat diasumsikan memiliki nilai yang sama dengan tinggi yoke rotor.

$$b_{ry} = 0.6 w_{sp}$$

$$b_{ry} = 0.6 \times 17 = 10.2 \text{ mm}$$

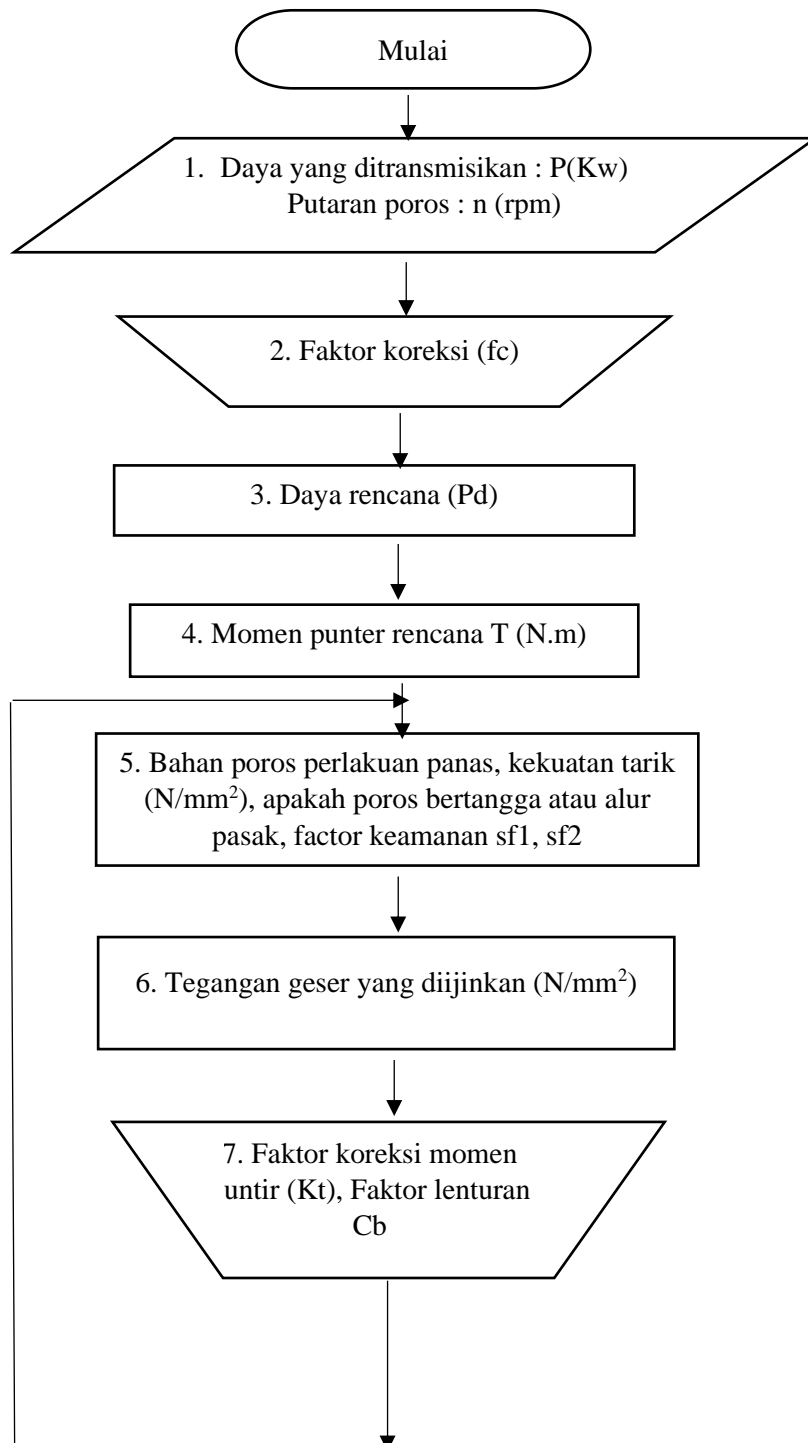
5.2.4 Menghitung Rotor Pole height (h_{rp})

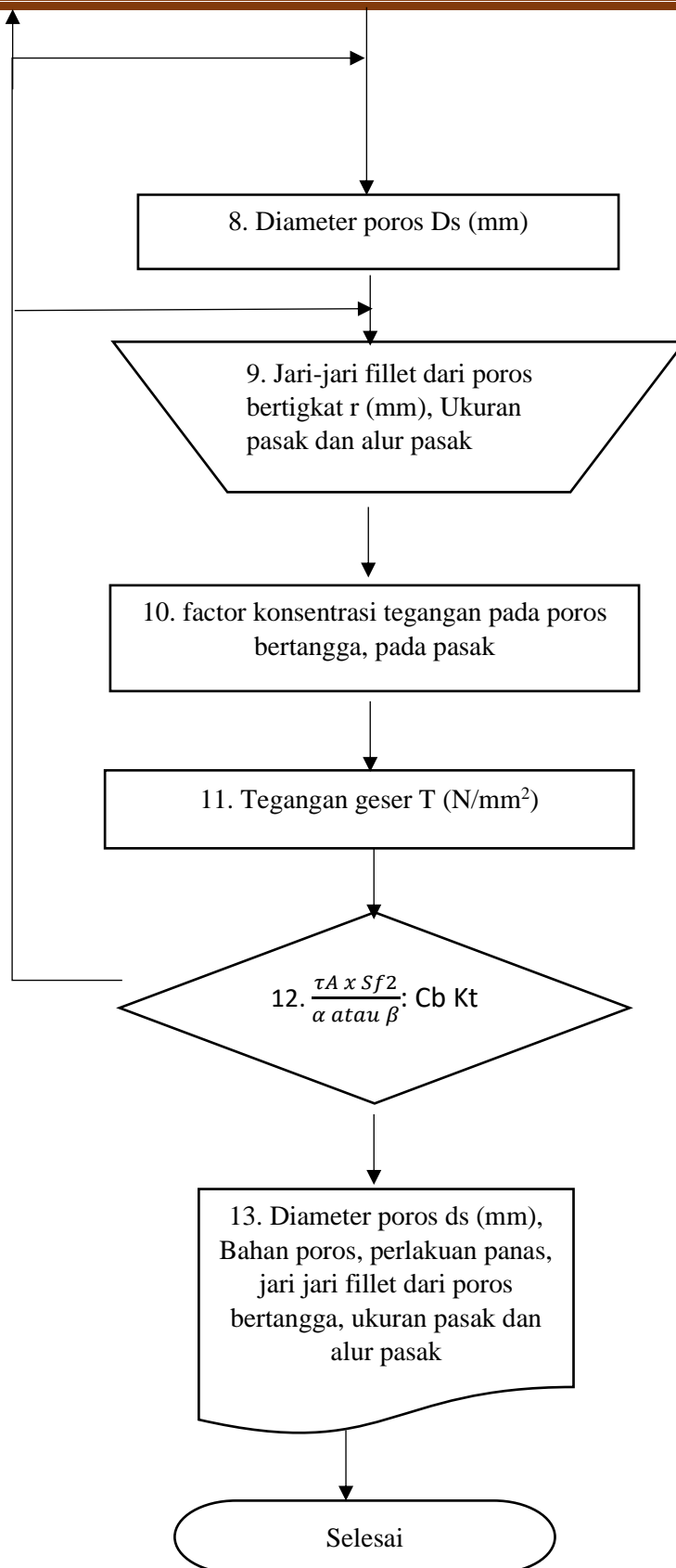
Asumsi air gap (I_g) sebesar 0.5mm , Diameter Shaft sebesar 26 mm.



$$h_{rp} = \frac{D-2lg-Dsh-2bry}{2}$$
$$h_{rp} = \frac{81-2(0.5)-26-2(15)}{2}$$
$$h_{rp} = 12 \text{ mm}$$

5.3 Perencanaan Poros dan Pasak





Gambar 5.0 Diagram alir perencanaan pasak dan poros



1. Daya Perencanaan

Daya Poros (P) = 5 kw

Putaran (n) = 3000 rpm

2. Faktor Koreksi daya (fc)

a. fc = 1.2 - 2.0 (Daya maksimum)

b. fc = 0.8 - 1.2 (Daya rata - rata)

c. fc = 1.0 - 1.5 (Daya normal)

Dalam hal ini factor koreksi (fc) dipilih nilai 1.3 untuk mengantisipasi beban berlebih

3. Sehingga, daya rencana (Pd)

$$\begin{aligned} Pd &= fc \times P \\ &= 1.3 \times 5 \text{ Kw} \\ &= 6.5 \text{ Kw} \end{aligned}$$

4. Momen Puntir (T)

Momen punter (T) adalah torsi pada motor atau generator magnet permanen yang mana nilainya meliputi torsi cogging, torsi histerisis (torsi yang timbul akibat gesekan).

$$\begin{aligned} T &= 9.74 \times 10^5 \times (Pd/n) \\ &= 9.74 \times 10^5 \times (6.5 \text{ Kw}/3000 \text{ Rpm}) \\ &= 2.11 \times 10^3 \text{ N.m} \end{aligned}$$

5. Faktor Keamanan

Bahan poros yang digunakan pada motor SRM yaitu ST 90 dimana memiliki kekuatan tarik (σ_B) sebesar 90 N/mm²

Faktor keamanan

1. $Sf_1 = 6$
2. $Sf_2 = 1.3 - 3$

Diambil $Sf_2 = 3$, Karena poros yang kita desain memiliki alur pasak dan bertangga (bertingkat)

6. Tegangan Geser yang diijinkan (τ_A)

Sehingga tegangan geser yang diijinkan (τ_A) :

$$\begin{aligned} \tau_A &= \sigma_B / (Sf_1 \times Sf_2) \\ &= 90 / (6 \times 3) \\ &= 5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



7. Faktor Konsentrasi Tegangan

K_t	= 1.0	(Tumbukan halus)
K_t	= 1.0 – 1.5	(Sedikit Tumbukan)
K_t	= 1.5 – 3.0	(Tumbukan Kasar)

Diambil $K_t = 1.5$, karena pada saat beroperasi akan terjadi sedikit tumbukan

Faktor Beban Lentur

C_b	= 1
C_b	= 1.2 – 2.3

Diambil $C_b = 2$, karena diprediksi akan terjadi beban lentur dan beban kejut sesekali.

8. Diameter poros yang direncanakan (D_s)

Sehingga, diameter poros yang direncanakan (D_s) :

$$\begin{aligned} D_s &\geq [(5.1 / \tau A) \times K_t \times C_b \times T]^{1/3} \\ &\geq [(5.1 / 5) \times 1.5 \times 2 \times 2.11 \times 10^3]^{1/3} \\ &\geq 18.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi poros yang direncanakan harus memiliki diameter minimal 18.1 mm atau bisa lebih

9. Anggaplah diameter yang menjadi tempat bantalan adalah 20 mm

$$\text{Jari-jari fillet}(R_{ds}) = (20-18)/2 = 1 \text{ mm}$$

Alur Pasak 6 x 6 x fillet 0.4

10. Konsentrasi tegangan pada poros bertangga adalah

$$R_{ds}/d_s = 1/20 = 0.05 \rightarrow \beta = 01.1$$

Konsentrasi tegangan pada poros dengan alur pasak adalah

$$0.4/20 = 0.02 \rightarrow \alpha = 2.6$$

11. Tegangan geser yang terjadi (τ)

$$\tau = 5.1 \times \frac{6717}{d_s}$$

$$\tau = 5.1 \times \frac{6717}{20^2}$$

$$\tau = 4.28 \text{ N.mm}$$

12. Pemeriksaan keamanan



$$\text{Syarat : } \tau A \times \frac{sf^2}{\beta} > \tau \times Kt \times Cb$$

$$5 \times \frac{3}{1.1} > 4.28 \times 1.5 \times 2$$

$$13.63 > 12.84 \text{ (Benar)}$$

Setelah dilakukan pemeriksaan keamanan, diameter yang aman untuk poros yaitu lebih besar atau sama dengan 20 mm. Dengan nilai alur pasak 6 x 6 x fillet 0.4 (tabel sularso)

5.4. Hasil Perancangan Dan Hasil Pengerjaan

5.4.1 Alat Dan Bahan

5.4.1.1 Alat

1. Gerinda Potong
2. Mesin Milling
3. Mesin CNC
4. Mesin Drilling
5. Tang Potong
6. Kun
7. ci L
8. Palu

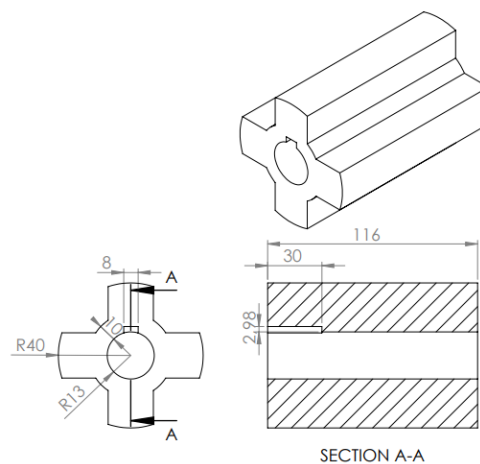
5.4.1.2 Bahan

1. Besi St 60 diameter 81mm panjang 116mm
2. Besi St 60 diameter 150mm panjang 116 mm
3. Besi ST 90 untuk poros
4. Alumunium diameter 200mm tebal 5 cm
5. Alumunium diameter 200 mm tebal 4.7 cm
6. Besi cor hollow diameter 200mm panjang 120 mm
7. Kawat tembaga diameter 1.1 mm panjang 100m
8. Baut L M8 8 buah

9. Baut L M4 4 buah
10. Snap Ring
11. Pasak
12. Bearing 7304B

Pemodelan dan desain dari rotor switch reluctance motor pada proyek magang ini menggunakan 2 jenis perangkat lunak yaitu solidworks dan Ansys Maxwell. Dua jenis perangkat lunak tersebut berguna untuk memvalidasi data data perhitungan dimensi yang sudah di buat sebelumnya dan memudahkan untuk dilakukan proses simulasi untuk melihat parameter parameter hasil desain motor tersebut. Untuk desain fisik motor menggunakan software Solidworks, sedangkan untuk proses simulasi menggunakan software Ansys Maxwell. Berikut ini hasil pemodelan serta spesifikasi dari stator switch reluctance motor.

5.4.2. Desain Rotor menggunakan Solidwork



Gambar 5.1 Desain rotor menggunakan solidworks

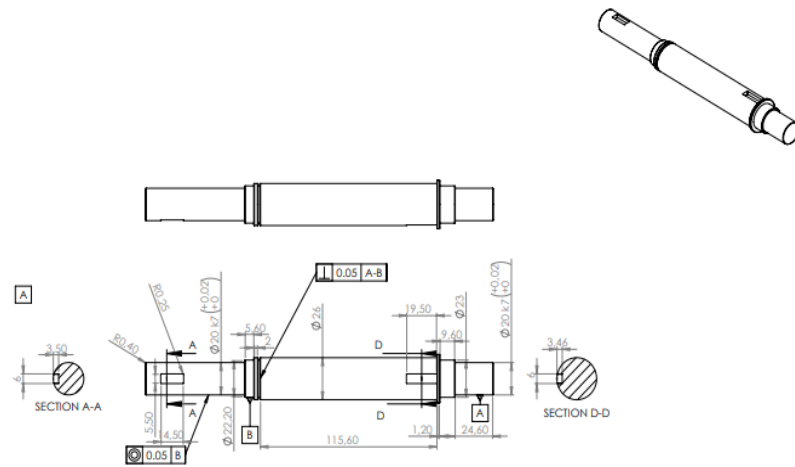


Gambar 5.2 Rotor

Tabel 5.1 Data spesifikasi rotor motor

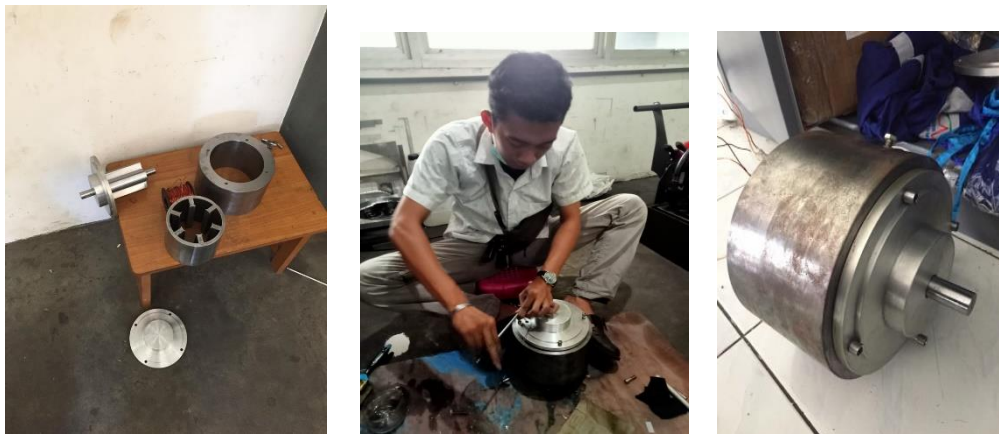
Spesifikasi Rotor	
Outer Diameter (mm)	80
Inner Diameter (mm)	26
Length (mm)	116
Steel Type	ST 60
Stacking Factor	0.95
Number of Poles	4
Embrace	0.4
Yoke Thickness (mm)	10

5.4.3 Desain Poros Menggunakan Solidworks



Gambar 5.3 Desain Poros

5.6. Hasil Assembly



Gambar 5.4 Hasil Assembly



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syed Hassan Tirmizzi. Design of A Switched Reluctance Motor Drive for Automotive Applications, Department of Electrical and Electronics Engineering The University of Nottingham, United Kingdom 2018.
- [2] Umar Sholahudin, Agus Purwadi, Yanuarsyah Haroen. “Desain Procedure for A 5 KW Mini Electric Vehicle Drive Train”, School of Electrical Engineering and Informatics Bandung Institut of Technology Bandung, Indonesia, 2013.
- [3] Krishnan, R., “Switched reluctance motor Drives : Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications”, CRC Press,2001.
- [4] Lin. Jianing., Schofield. Nigel. and Emadi. Ali., “External Rotor 6-10 Switched Reluctance Motor for an Electric Bicycle”, IEEE Trans on Transportation, Dec. 2015
- [5] X. D. Xue, K. W. E. Cheng, T. W. Ng, and N. C. Cheung,. “Multi- objective Optimization Design of In-Wheel Switched Reluctance Motor in Electric Vehicle”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010



**LAPORAN MAGANG INDUSTRI
PUI SKO & STP ITS**

