



TESIS TM185400

*OPTIMASI PROFIL SLOT UNTUK MENINGKATKAN  
EFISIENSI DAYA WHM 1.5KW*

Demas Yangindrajat  
6007201002

Dosen Pembimbing  
Prof.Dr.Eng Harus Laksana Guntur, M.Eng. S.T

Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2022





TESIS TM185400

*OPTIMASI PROFIL SLOT UNTUK MENINGKATKAN  
EFISIENSI DAYA WHM 1.5KW*

**Demas Yangindrajat  
6007201002**

**Dosen Pembimbing  
Prof.Dr.Eng Harus Laksana Guntur, M.Eng. S.T**

**Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2022**



# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Teknik (MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**Demas Yangingdrajat**

**NRP : 6007201002**

Tanggal Ujian : 15 Juli 2022

Periode Wisuda : September 2022

Disetujui oleh :

**Pembimbing**

1. Prof. Dr.Eng Harus Laksana Guntur S.T., M.Eng.  
NIP : 197303222001121001



**Penguji**

2. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc Ph.D  
NIP : 195811061986011001
3. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T  
NIP : 197004121997032003
4. Achmad Syaifudin S.T., M.Eng, Ph.D  
NIP : 197909262005011001



Kepala Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Industri dan Rekayasa Sistem



Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc  
NIP. 196604-21989031002



## **OPTIMASI PROFIL SLOT UNTUK MEINGKATKAN EFISIENSI DAYA WHM 1.5KW**

Mahasiswa Nama : Demas Yangindrajat  
Mahasiswa ID : 6007 201 002  
Pembimbing : Prof.Dr.Eng Harus Laksana Guntur, M.Eng. S.T

### **ABSTRAK**

*Wheel Hub Motor* (WHM) merupakan komponen yang paling penting pada E-Scooter. Komponen tersebut sebagai aktuator pada kendaraan elektrik. Pada *Wheel Hub Motor* yang sudah dipasarkan mempunyai banyak variasi untuk memasang tire, diantaranya dengan velg terpisah yang disambungkan dengan ruji dan juga pemasangan roda yang sudah build in dengan velg. Penelitian dan pengembangan WHM telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Terdapat *Wheel Hub Motor* dengan kapasitas 100w dan yang lebih dari 10.000w. Semakin besar daya motor maka semakin cepat pula baterai habis. Di ITS telah dilakukan pengembangan sepeda motor listrik. Hasil yang didapat masih belum sesuai karena baterai cepat drop.

Pada penelitian ini dikembangkan *Eelctric Hub Motor* 1.5KW dengan mendesain ulang bentuk slot stator dan casing WHM untuk menghasilkan Automatic Charging seperti sepeda motor yang ada saat ini. Casing merupakan bagian yang terluar dari WHM, fungsinya untuk melindungi bagian kumparan motor dari debu dan percikan air. Selain itu Casing WHM juga berfungsi sebagai penghubung menuju roda. Pemilihan bentuk slot dilakukan menggunakan ANN (Artificial Neural Network). Parameter dibuat dan diubah berdasarkan hasil simulasi dari Ansys Maxwell. Nilai terbaik digunakan untuk menentukan bentuk slot dari WHM 1.5KW yang baru.

Dari penelitian ini menghasilkan casing WHM dengan Automatic Charging baterai. Kekuatan WHM, dan life time baterai telah dibandingkan dengan WHM yang sudah ada. Dari hasil simulasi didapatkan nilai efisiensi pada WHM 1.5KW sebesar 94% pada saat kecepatan 405 RPM. Pengujian

dilakukan menggunakan dyno memiliki peningkatan daya, torsi dan kecepatan pada WHM 1.5KW baru. WHM 1.5KW baru terintegrasi dengan AFPMSG menghasilkan nilai tegangan 24 volt AC saat kecepatan 1000rpm. Namun kecepatan maksimum pada WHM adalah 380RPM sehingga tegangan yang dikeluarkan dibawah 5 volt.

Kata Kunci: E-Scooter, *Wheel Hub Motor* 1.5KW, Profil Slot, *Automatic Charging*

## **OPTIMIZATION OF SLOT PROFILE TO IMPROVE POWER EFFICIENCY WHM 1.5KW**

Name : Demas Yangindrajat  
Student ID : 6007 201 002  
Supervisor : Prof.Dr.Eng Harus Laksana Guntur, M.Eng. S.T

### **ABSTRACT**

Wheel Hub Motor (WHM) is the most important component in the E-Scooter. These components are actuators in electric vehicles. The Wheel Hub Motor on the market has many variations for installing tires, including separate wheels that are connected to spokes and also the installation of wheels that have been built in with the wheels. Research and development of WHM has been carried out by previous researchers. There is a Wheel Hub Motor with a capacity of 100w and more than 10,000w. The greater the power of the motor, the faster the battery runs out. At ITS, the development of electric motorcycles has been carried out. The results obtained are still not appropriate because the battery drops quickly.

In this study, a 1.5 KW Electric Hub Motor was developed by redesigning the shape of the stator slot and WHM casing to produce Automatic Charging like the current motorcycle. The casing is the outermost part of the WHM, its function is to protect the motor coil from dust and water splashes. In addition, the WHM casing also functions as a liaison to the wheels. The selection of slot shapes is done using ANN (Artificial Neural Network). Parameters are created and modified based on the simulation results from Ansys Maxwell. The best value is used to determine the slot shape of the new 1.5KW WHM.

This research resulted in a WHM casing with Automatic Charging battery. WHM strength, and battery life time have been compared with existing WHMs. From the simulation results, the efficiency value at 1.5KW WHM is 94% at 405 RPM speed. Tests carried out using a dyno have increased power, torque and speed on the new 1.5KW WHM. The new 1.5KW WHM integrated

with AFPMSG produces a rated voltage of 24volt AC at 1000rpm. However, the maximum speed at WHM is 380RPM so that the output voltage is below 5 volts.

Key words: E-Scooter, Wheel Hub Motor 1.5KW, Profil Slot, Automatic Charging

## KATA PENGANTAR

Laporan master tesis ini merupakan langkah awal dari proyek besar pembangunan prototip wheel hub motor 1.5KW yang dikerjakan di Laboratorium Rekayasa dan Sistem Otomotive, Departemen Teknik Mesin, ITS bekerja sama dengan CV SKD. Dalam proses penyusunannya banyak hal yang telah ditempuh untuk memperoleh pemahaman yang fundamental tentang kendaraan listrik beserta komponen-komponen pendukungnya. Meskipun begitu, penulis menyadari tulisan ini masih sangat jauh dari kesempurnaan dalam hal sumbangsuhnya terhadap progress ilmu pengetahuan dan teknologi.

Penulis-pun juga menyadari bahwa tulisan ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Keluarga dari penulis, Ibu Nuerhandayani, Kakak Evi Yangindrajat, Deby Yangindrajat, dan Istri Novi Erfiani.
2. Bapak Prof. Dr.Eng Harus Laksana Guntur, M.Eng. S.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan banyak kesempatan di dunia akademik dan riset.
3. Bapak Prof.Ir.I Nyoman Sutantra, M.Sc Ph.D, Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T.,M.T dan Bapak Achmad Syaifudin, ST, M.Eng, Ph.D sebagai dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan untuk menyempurnakan tesis ini.
4. Teman-teman pasca sarjana DTM ITS 2020
5. CV SKD Production terutama Bapak Jupri dan Bapak Dendy Han yang telah membatu proses pembuatan prototype
6. Serta orang-orang yang terkait dalam skema ruang dan waktu saat penulis menempuh studi S2, sehingga tidak mungkin disebutkan satu per satu.

Penulis berharap semoga tulisan ini dapat membantu para pembaca yang terkait dalam bidangnya terlepas dari kesederhanaan konten didalamnya. Maka dari itu penulis berharap pembaca dapat memberikan masukan yang berkelanjutan kedepannya untuk membantu menyempurnakan tesis ini.

Surabaya, 27 Juli 2022

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Demas Yangindrajat', written in a cursive style.

Demas Yangindrajat

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	5
1.3 Batasan Masalah .....	5
1.4 Tujuan Penelitian .....	6
1.5 Manfaat Penulisan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pendahuluan.....	7
2.2 Bagian bagian Wheel Hub Motor (Existing Produk).....	9
2.2.1 Stator .....	9
2.2.2 Rotor.....	12
2.2.3 Hall sensor.....	13
2.3 Model matematika dari Wheel Hub Motor.....	14
2.4 Slot Geometri Stator .....	16
2.5 Diameter American Wire Gauge (AWG) .....	17
2.6. Artificial Neural Network .....	19
2.6 Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator (AFPMSG) .....	22
2.7 Perhitungan AFPM .....	23

2.8 Analisa AFPM Generator.....	25
2.8.1 Analisa Thermal .....	25
2.8.2 Analisa Mekanik.....	26
2.9 Penelitian terkait WHM dan AFPM.....	28
2.10 Hipotesa Penelitian.....	30
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>31</b>
3.1 Menentukan Karakteristik WHM 1.5KW .....	33
3.1.1 Perhitungan Teoritis .....	33
3.1.2 Pengujian Dyno .....	35
3.2 Simulasi ANSYS MAXWELL .....	37
3.2.1 Parameter Tipe Slot .....	40
3.2.2 Wire Diameter .....	41
3.3 Optimasi Desain dengan ANN.....	42
3.3 Proses Uji AFPMSG .....	48
3.3.1 Simulasi AFPMSG EMS Works .....	48
3.3.2 Sistem Pengambilan data dengan Tachometer dan Voltmeter .....	50
3.3.3 Proses Pengambilan Data .....	52
3.4 Rencana Kerja Tesis.....	53
<b>BAB 4 PEMBAHASAN DAN HASIL PENELITIAN.....</b>	<b>55</b>
4.1 Data Karakteristik Penentu WHM 1.5KW.....	55
4.2 Optimasi Desain (Artificial Neural Network).....	56
4.3 Simulasi WHM 1.5KW .....	60
4.4 Simulasi AFPMSG.....	62
4.5 Proses Drawing .....	65
4.6 Fabrikasi WHM 1.5KW .....	69

4.7 Uji WHM 1.5KW Baru.....	72
4.7.1 Data Simulasi Ansys Maxwell .....	72
4.7.2 Data Uji Dyno .....	76
4.8 Perbandingan Hasil.....	78
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	81
DAFTAR PUSTAKA.....	83

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Skuter listrik di pasaran.....	1
<b>Gambar 2.</b> Wheel Hub Motor pada skuter listrik.....	2
<b>Gambar 3.</b> Bagian-bagian Wheel Hub Motor .....	3
<b>Gambar 4.</b> Kumparan dan magnet untuk kendaraan bermotor .....	4
<b>Gambar 5.</b> Radial fluks dan Axial Flux motor.....	7
<b>Gambar 6.</b> Outer rotor dan Inner rotor .....	8
<b>Gambar 7.</b> Stator WHM 1.5KW existing.....	9
<b>Gambar 8.</b> Rotor Wheel Hub Motor dengan system ruji .....	12
<b>Gambar 9.</b> Hall Sensor .....	13
<b>Gambar 10.</b> Hall sensor output sinyal dan Back EMF.....	14
<b>Gambar 11.</b> Rangkaian model BLDC motor .....	14
<b>Gambar 12.</b> Back EMF dan Current Wave Forms.....	15
<b>Gambar 13.</b> Surface plot of $\sigma$ for an external field of 5mT .....	16
<b>Gambar 14.</b> Simulated vertical component of the magnetic flux density.....	17
<b>Gambar 15.</b> Model Jaringan Saraf .....	20
<b>Gambar 16.</b> Struktur Node Jaringan Saraf Tiruan .....	21
<b>Gambar 17.</b> Topologi AFPM, (a) satu sisi, (b) dua sisi, (c) multi stage .....	23
<b>Gambar 18.</b> Tampilan 2D AFPM.....	25
<b>Gambar 19.</b> Thermal Analysis AFPM .....	26
<b>Gambar 20.</b> Deformasi dari AFPM frekuensi tertentu.....	27
<b>Gambar 21.</b> Flowchart Proses pengambilan data WHM 1.5KW .....	31
<b>Gambar 22.</b> Desain WHM 1.5KW existing .....	32
<b>Gambar 23.</b> Frame tambahan dan WHM 1.5KW .....	35
<b>Gambar 24.</b> Proses uji Dyno di bengkel Tulungagung .....	36
<b>Gambar 25.</b> Pemilihan jenis motor dan jumlah slot-pole.....	37
<b>Gambar 26.</b> General Data parameter WHM 1.5KW.....	38
<b>Gambar 27.</b> Stator Data parameter WHM 1.5KW .....	38
<b>Gambar 28.</b> Simulasi WHM 1.5KW .....	39
<b>Gambar 29.</b> Hasil Simulasi .....	39

<b>Gambar 30.</b> Tabel input data dimensi slot.....	40
<b>Gambar 31.</b> Tipe slot yang digunakan pada WHM 1.5KW existing .....	41
<b>Gambar 32.</b> Data hasil simulasi WHM 1.5KW.....	41
<b>Gambar 33.</b> 3D Simulasi WHM 1.5KW .....	42
<b>Gambar 34.</b> Tabel workspace.....	44
<b>Gambar 35.</b> Input data dari workspice .....	45
<b>Gambar 36.</b> ANN data manager .....	45
<b>Gambar 37.</b> Bagan NN dengan Hiden layer 5, Output layer 1 .....	45
<b>Gambar 38.</b> Proses training data.....	46
<b>Gambar 39.</b> Hasil regresi dari proses training .....	47
<b>Gambar 40.</b> Regresi hasil training ke 10 .....	47
<b>Gambar 41.</b> Penentuan arah megnet dan jumlah coil.....	49
<b>Gambar 42.</b> Magnetic Flux intensity result .....	49
<b>Gambar 44.</b> Skema hardware pengambilan data .....	51
<b>Gambar 45.</b> Tampilan Software pengambilan data RPM vs Voltage .....	51
<b>Gambar 46.</b> Pengambilan data AFPMSG dengan CNC Lathe.....	52
<b>Gambar 47.</b> SIMulasi WHM 1.5KW Baru .....	60
<b>Gambar 48.</b> Data hasil simulasi setelah proses optimasi.....	61
<b>Gambar 49.</b> Simulasi AFPMSG .....	62
<b>Gambar 50.</b> Grafik hasil simulasi.....	63
<b>Gambar 51.</b> Proses pembuatan coil dan pemasangan magnet.....	64
<b>Gambar 52.</b> Plot data AFPMSG.....	64
<b>Gambar 53.</b> Desain EHM 1.5KW sebagai referensi .....	65
<b>Gambar 54.</b> Konsep 1 dengan tambahan velg sistem charging radial.....	66
<b>Gambar 55.</b> Konsep 2 menggunakan system charging radial, .....	66
<b>Gambar 56.</b> Konsep 3 menggunakan axial generator EHM 1.5KW .....	67
<b>Gambar 57.</b> Konsep Terpilih upgrade Axial Flux Generator .....	68
<b>Gambar 58.</b> Pembuatan Stator menggunakan Laser Fiber .....	69
<b>Gambar 59.</b> Stator sebelum diasemmbly.....	69
<b>Gambar 60.</b> Bagian stator untuk cover AFPMSG gulungan tembaga .....	70
<b>Gambar 61.</b> Winding WHM 1.5KW .....	70

<b>Gambar 62.</b> Pembuatan Cover WHM dengan Magnet AFPMSG .....	71
<b>Gambar 63.</b> Hasil akhir WHM 1.5KW menggunakan Velg .....	71
<b>Gambar 64.</b> Grafik Output Power VS RPM Ansys Maxxwell WHM Lama..	72
<b>Gambar 65.</b> Grafik Output Torque VS RPM Ansys Maxxwell WHM Lama	73
<b>Gambar 66.</b> Grafik Output Power VS RPM Ansys Maxxwell WHM Baru ...	74
<b>Gambar 67.</b> Grafik Output Torque VS RPM Ansys Maxxwell WHM Baru..	75
<b>Gambar 68.</b> Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW lama speed 1.....	76
<b>Gambar 69.</b> Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW lama speed 2.....	76
<b>Gambar 70.</b> Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW baru speed 1 .....	77
<b>Gambar 71.</b> Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW baru speed 2 .....	78

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Data diameter kabel AWG.....	18
<b>Tabel 2.</b> Segi desain WHM lama vs baru .....	30
<b>Tabel 3.</b> Segi karakteristik .....	30
<b>Tabel 4.</b> Karakteristik WHM 1.5KW.....	33
<b>Tabel 8.</b> Data WHM diameter 0.2mm .....	43
<b>Tabel 9.</b> Hasil transformasi data .....	44
<b>Tabel 10.</b> Data output perbandingan simulasi dengan ANN .....	48
<b>Tabel 11.</b> Perubahan data jumlah magnet dan coil .....	50
<b>Tabel 12.</b> Format pengambilan data rpm vs voltage.....	52
<b>Tabel 13.</b> Rencana kerja Tesis .....	53
<b>Tabel 14.</b> WHM Lama vs WHM Baru .....	55
<b>Tabel 15.</b> Type Slot untuk WHM 1.5KW.....	56
<b>Tabel 16.</b> Winding Diameter 0.2mm .....	57
<b>Tabel 17.</b> Winding Diameter 0.3mm .....	57
<b>Tabel 18.</b> Winding Diameter 0.4mm .....	58
<b>Tabel 19.</b> Winding Diameter 0.5mm .....	58
<b>Tabel 20.</b> Winding Diameter 0.6mm .....	59
<b>Tabel 21.</b> Winding Diameter 0.7mm .....	59
<b>Tabel 22.</b> Winding Diameter 0.8mm .....	60
<b>Tabel 23.</b> Data output simulasi AFPMSG .....	63
<b>Tabel 24.</b> WHM Lama Simulasi .....	78
<b>Tabel 25.</b> WHM Lama Uji Dyno .....	79
<b>Tabel 26.</b> WHM Baru Simulasi .....	79
<b>Tabel 27.</b> WHM Baru Uji Dyno .....	80

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dibandingkan dengan kendaraan konvensional, kendaraan listrik memiliki keunggulan efisiensi konversi energi yang tinggi, kebisingan rendah, emisi nol, dll. properti pembawa beban dan karakteristik kontrol kecepatan berbagai macam motor dapat menggantikan perangkat mekanis seperti kopling dan roda gigi, mengoptimalkan struktur dan cara perawatan (Song et al., 2020). Keunggulan dari kendaraan listrik tersebut menjadi acuan setiap negara untuk mengembangkan dan mendirikan Industri dalam skala nasional. Namun berbeda dengan industri motor yang ada, yaitu penggerak kendaraan bermotor tidak hanya dipengaruhi oleh ukuran struktur kendaraan, tetapi juga harus memenuhi standar pengoperasiannya dalam kondisi kompleks (Zhang et al., 2018). Penyesuaian Wheel Hub Motor pada kondisi jalan di Indonesia sangat penting. Selain itu kebutuhan perjalanan jauh membutuhkan kapasitas baterai yang besar.



**Gambar 1.** Skuter listrik di pasaran

Jenis Wheel hub motor dibagi menjadi dua berdasarkan transmisi, yaitu direct wheel dan menggunakan drive chain. Pertama Wheel hub motor dengan drive chain. Sistem ini menggunakan belt atau chain (rantai) sebagai transmisi penghubung antara motor dengan roda. Keunggulan dari penggunaan drive chain adalah mengurangi beban dengan melakukan perbandingan puley. Namun risikonya adalah terjadi slip saat berada di tanjakan. Kedua adalah secara direct wheel. Secara pembuatan, direct wheel lebih efisiensi dibandingkan dengan yang pertama. Tidak ada bagian yang menonjol, karena sudah tercover dengan case dari Hub Motor.

Permasalahan yang terjadi pada scoter saat ini berada pada rusaknya baterai. Hal tersebut terjadi akibat terlalu seringnya pemakaian berkendara hingga baterai benar-benar kosong. Memang tidak bisa dipungkiri, pengguna scooter tidak mengerti ketika baterai mendekati empty. Tidak adanya sistem charging seperti pada kendaraan bermotor menyebabkan penggunaan scooter terbatas pada hitungan jam.



**Gambar 2.** Wheel Hub Motor pada skuter listrik

Keterbatasan ukuran roda pada EHM menyebabkan pengguna sepeda listrik berpikir ulang untuk memakai. Hanya

beberapa tempat yang menjual ukuran roda. Selain itu desain yang kurang menarik menyebabkan pengguna scooter listrik sedikit. Oleh karena itu riset yang dilakukan adalah membuat casing Wheel Hub Motor dengan beberapa kelebihan.

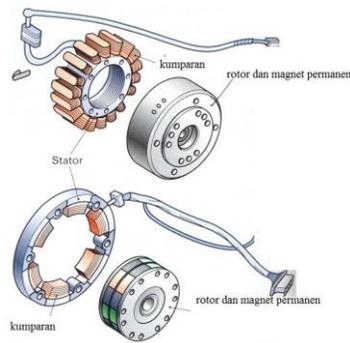


**Gambar 3.** Bagian-bagian Wheel Hub Motor

Kekurangan dari WHM 1.5KW saat ini adalah efisiensi kurang maksimal loss energy besar. Energy banyak hilang saat penggunaan di kendaraan sehingga durability kendaraan pendek. Selain itu maksimal torsi berada di angka 1.36KW pada kecepatan 141RPM sehingga dibutuhkan perubahan desain yang menunjang untuk torsi 1.5KW saat putaran lebih dari 200RPM. Dibutuhkan perubahan pada desain WHM 1.5KW dari bentuk slot dan diameter winding yang berpengaruh terhadap power, torsi dan kecepatan motor.

Casing Wheel Hub Motor dibuat dengan mempertimbangkan aspek ekonomis, mudah assembly, kekuatan untuk menahan beban, automatic charging dan yang terpenting mudah untuk diproduksi massal. Redesign dilakukan untuk menghasilkan casing terbaru dari WHM. Penambahan spul dan magnet berfungsi untuk recharge baterai yang sedang digunakan.

Output dari spul rata-rata 100v AC sehingga dibutuhkan regulator untuk sistem pengisian baterai menjadi 48v DC.



**Gambar 4.** Kumparan dan magnet untuk kendaraan bermotor

Kumparan dan magnet merupakan salah satu komponen penting dalam kendaraan bermotor. Fungsi utamanya adalah menghasilkan listrik untuk dialirkan ke aki. Ketika terjadi putaran pada magnet (rotor), kumparan (stator) mengalami perbedaan kutub sehingga listrik AC dihasilkan. Untuk mengisi aki dibutuhkan kipro (regulator) yang standar output 12v DC. Oleh sebab itu inovasi dilakukan dengan menambahkan spul magnet pada WHM sehingga baterai scooter lebih tahan lama.

Pada penelitian ini, dikembangkan Wheel Hub Motor 1.5kw secara direct wheel dengan menambahkan automatic charging. Direct wheel memiliki keunggulan dengan efisiensi tempat pada E-Scooter. Selain itu dengan sistem ini, motor lebih terlindungi dari debu dan air. Penggunaan E-Scooter terjadi rotasi sehingga rotor dan stator yang ditambahkan menjadi automatic charging. Tujuannya untuk menambah efisiensi penggunaan baterai pada saat berkendara.

Kontribusi yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat memberikan Wheel Hub Motor 1.5kw yang memiliki karakteristik dan performa yang sama dengan Wheel Hub Motor yang sudah ada. Sehingga fungsi dari WHM dapat tergantikan dengan yang baru. Dengan demikian fungsi WHM 1.5kw tidak hanya menghabiskan energi, namun melakukan charging ke baterai sehingga meningkatkan efisiensi.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Tesis ini berfokus pada redesain WHM 1.5KW dengan penambahan AFPMSG. Rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain WHM daya 1.5KW dengan efisiensi lebih tinggi dari WHM *existing*?
2. Bagaimana memberi nilai tambah regenerative?
3. Bagaimana fabrikasi, menguji daya, torsi, dan speed WHM 1.5KW baru?
4. Bagaimana mengimplementasikan dan menuji pada elektrik skuter?

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar Tesis ini sesuai dengan tujuan penelitian maka diperlukan batasan-batasan masalah yaitu:

1. Perancangan WHM 1.5KW dengan AFPMSG sebagai system charging otomatis.
2. Dimensi pada diameter motor adalah 235mm menggunakan velg ukuran 17/120.
3. Penelitian tidak membahas tentang suhu kerja pada WHM 1.5KW dan AFPMSG

4. Controller dengan tegangan 48volt sesuai kebutuhan pada kendaraan listrik
5. Parameter type Slot dan Wire diameter yang diubah melalui proses optimalisasi

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Merancang desain WHM 1.5KW dengan efisiensi lebih tinggi dari WHM existing
2. Memberi nilai tambah WHM dengan regenerative (AFPMSG)
3. Melakukan fabrikasi, menguji daya, torsi, dan rpm WHM 1.5KW baru
4. Mengimplementasikan pada elektrik skuter dan menguji di jalan raya

#### **1.5 Manfaat Penulisan**

Diharapkan dari hasil penelitian dan perancangan WHM 1.5KW adalah:

1. Memberikan pengetahuan kepada masyarakat terkait karakteristik Wheel Hub Motor daya 1.5KW dengan regenerative
2. Mampu meningkatkan potensi dari WHM dibandingkan dengan produk existing yang umumnya tanpa sistem charging
3. Sebagai acuan pada penelitian berikutnya

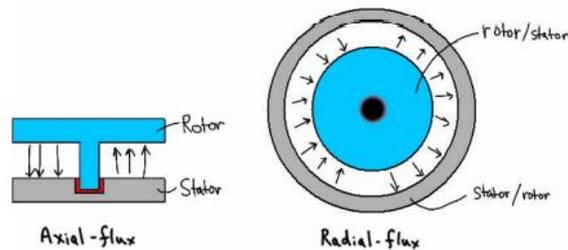
Selain itu mahasiswa dapat menerapkan secara langsung ilmu pengetahuan yang didapatkan dari bangku perkuliahan, dimana diharapkan nantinya dapat bermanfaat bagi diri sendiri khususnya dan masyarakat pada umumnya.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pendahuluan

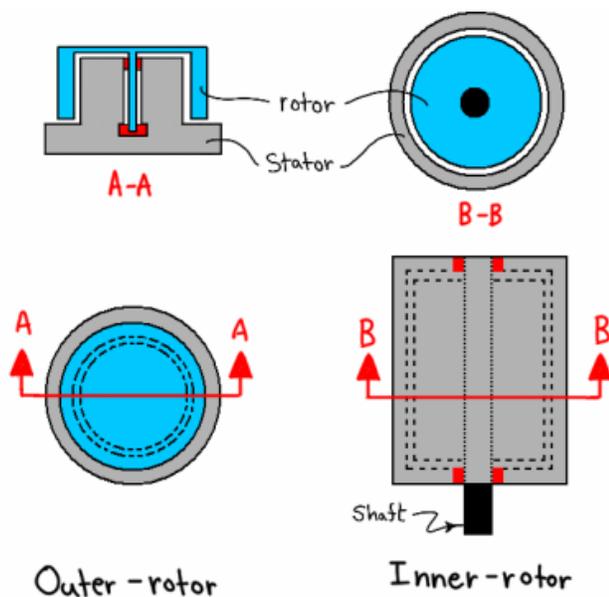
Bagian dari sebuah motor terdiri dua bagian yaitu stator (bagian diam) dan rotor (bagian yang berputar terhadap stator). Terdapat dua konfigurasi motor secara umum, radial fluks dan axial fluks. Motor aksial fluks (Hendershot & Miller, 1994) adalah jenis motor yang menggunakan bentuk seperti *pancake* dengan dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan radial fluks. Perbandingan dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Radial fluks dan Axial Flux motor

Dari motor fluks radial, ada dua konfigurasi umum: rotor dalam dan rotor luar. Terdapat motor yang memiliki rotor berada di dalam dan di luar stator tetapi jarang digunakan. Konfigurasi rotor dalam menawarkan kemungkinan diameter motor keseluruhan yang lebih kecil, inersia rotor yang lebih rendah, dan kemungkinan pembuangan panas belitan yang lebih baik. Karakteristik ini membuatnya cocok untuk aplikasi yang masing-masing membutuhkan ukuran kecil, konstanta waktu mekanis rendah, dan daya tinggi (atau suhu operasi lebih rendah). Sebaliknya, konfigurasi rotor luar dapat memberikan inersia yang lebih besar

yang mungkin diinginkan dalam aplikasi kecepatan konstan. Fitur yang melekat pada motor ini adalah bahwa rotor yang berputar terbuka, yang memungkinkan beban untuk dengan mudah diamankan ke (atau diproduksi sebagai bagian dari) rakitan rotor. Bentuk umum dari masing-masing jenis ditunjukkan pada Gambar 6. Perhatikan kesamaan antara fluks aksial dan motor fluks radial rotor luar; arah fluks yang merupakan fitur pembeda.



**Gambar 6.** Outer rotor dan Inner rotor

Motor yang digunakan untuk aplikasi "servo" (robotik, manufaktur, kontrol kinerja tinggi), aplikasi konversi energi (penggerak poros alat mesin, konveyor, pompa, kipas, kompresor, HVAC, motor traksi), dan aplikasi tujuan umum biasanya dari bagian dalam -jenis rotor. Sebaliknya, kipas pendingin dan sistem penyimpanan data magnetik dan optik dapat menggunakan konfigurasi rotor luar. Selain itu, konfigurasi rotor luar telah menemukan aplikasi dalam peralatan mesin "tanpa roda gigi" atau "penggerak langsung" dan dalam penggerak kendaraan, di mana

rotor diintegrasikan ke dalam hub roda. Semua diskusi selanjutnya diarahkan pada motor rotor dalam fluks radial, meskipun banyak konsep berlaku untuk motor rotor luar, fluks aksial, dan motor linier.

## **2.2 Bagian bagian Wheel Hub Motor (Existing Produk)**

Wheel Hub Motor pada umumnya memiliki bagian-bagian utama pada kontruksi untuk menjadi sebuah penggerak. Bagian tersebut adalah:

### **2.2.1 Stator**

Stator WHM tiga fasa pada dasarnya memiliki tiga gulungan. Kebanyakan WHM memiliki jumlah kumparan direplikasi untuk memenuhi karakteristik dari torsi yang di hasilkan. Gambar 7 menunjukkan kumparan stator pada WHM 1.5KW existing. Ini terdiri dari tiga kumparan masing-masing ada tiga unsur terhubung seri yaitu induktansi, resistansi dan satu gaya gerak listrik.



**Gambar 7.** Stator WHM 1.5KW existing

Jumlah lilitan dapat dihitung berdasarkan berapa kuat medan magnet yang dihasilkan oleh armature core. Dengan menentukan target torsi mendapatkan informasi untuk menghitung kuat medan magnet yang harus dihasilkan oleh armature core. Setelah mendapatkan kuat medan magnet maka dapat dihitung jumlah lilitan minimum. Seperti persamaan di bawah

$$T = F \times r \quad (1)$$

Dimana

$T$  = Torsi target (N.m)

$F$  = Gaya pada saat torsi target (gaya tolak menolak medan magnet) (N)

$r$  = Jari-jari (m)

Selanjutnya menghitung gaya tolak menolak pada setiap slot stator saat motor berputar. Pada saat motor berputar slot yang aktif sebanyak  $x$  slot maka gaya tolak menolak tiap slot dapat dihitung

$$F \text{ tiap slot} = F/x \quad (2)$$

Setelah mengetahui gaya tolak menolak pada tiap slot dapat menghitung kuat kutub medan magnet pada tiap slot dengan menggunakan persamaan gaya tolak menolak medan magnet

$$F = (k.m1.m2)/r^2 \quad (3)$$

$$m1 = (F.r^2)/k.m2 \quad (4)$$

Dimana

$F$  = Gaya tolak menolak pada tiap slot (N)

$k$  = Konstanta

$m1$  = Kuat kutub medan magnet pada stator

$m2$  = Kuat kutub medan magnet pada magnet

$r$  = Jarak antara stator dan magnet (m)

dari persamaan di atas maka mendapatkan  $m$ , setelah itu dapat menghitung Gaya Lorentz dengan persamaan di bawah ini

$$F = H.m \quad (5)$$

Dimana

$H$  = Kuat medan magnet saat  $I$  maksimum (T)

$F$  = Gaya Lorentz yang dihasilkan (N)

$m$  = kuat kutub medan magnet pada stator

dari gaya Lorentz diatas, kuat medan magnet yang harus dihasilkan oleh tiap slot stator dengan persamaan dibawah ini

$$F = B I l \quad (6)$$

$$B = F/I.l \quad (7)$$

Dimana

$F$  = Gaya Lorentz (N)

$B$  = Kuat Medan Magnet (T)

$l$  = Panjang Lilitan

setelah kuat medan magnet didapat maka dapat menghitung jumlah lilitan minimum dengan persamaan

$$B = (\mu_0 . I . N) / 2a \quad (8)$$

$$N = (B.2a) / I . \mu_0 \quad (9)$$

Dimana

$B$  = Kuat medan magnet (T)

$\mu_0$  = Permeability core

$I$  = Arus

$a$  = jari-jari lilitan

$N$  = jumlah lilitan

### 2.2.2 Rotor

Rotor pada Wheel Hub Motor terdiri dari beberapa magnet permanen yang menempel pada cover. Jumlah dari kutub magnet mempengaruhi ukuran langkah dan torsi. Magnet Neodymium sangat penting dalam aplikasi teknologi saat ini terutama untuk motor listrik, menunjukkan fasa tetragonal Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B sebagai penyusun dominan sampel (München & Veit, 2017).

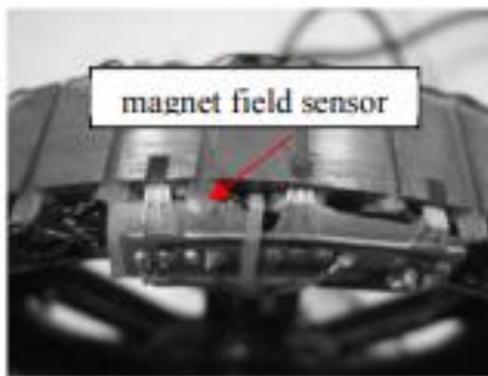


**Gambar 8.** Rotor Wheel Hub Motor dengan system ruji

Bagian rotor merupakan bagian yang paling riskan untuk rusak. Hal ini disebabkan karena perilaku dinamis rotor yang tidak seimbang bersama dengan jarak radial internal. Meskipun penyelarasan sempurna dan manufaktur presisi telah dilakukan, gaya ketidakseimbangan tidak dapat dihilangkan sepenuhnya (Yadav et al., 2013). Perilaku dinamis dari rotor tidak seimbang kecepatan tinggi telah dipelajari untuk bantalan bola dalam alur yang memiliki jarak bebas radial internal.

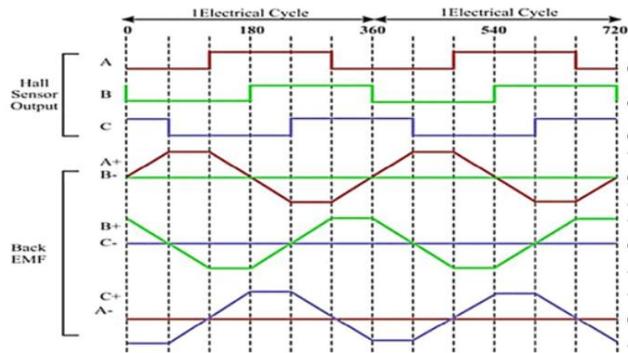
### 2.2.3 Hall sensor

Untuk menentukan orientasi posisi rotor fungsi komutasi dilakukan oleh sensor, sensor yang digunakan bisa beragam. Misalkan optical encoder, magnetic encoder atau hall effect magnetic sensor. Motor DC brushless dilengkapi dengan tiga sensor hall effect magnetic yang ditempatkan dengan posisi tertentu, sebagaimana pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Hall Sensor

Hall effect magnetic sensor berfungsi memberikan sinyal digital akibat adanya medan magnetic yang tegak lurus terhadap sensor. Sensor hall ini harus diletakkan sedekat mungkin dengan rotor magnet permanen untuk mendeteksi posisi kutub magnet pada rotor. Output hall dibaca oleh decoder. Dengan posisi tertentu sensor ini memiliki 6 komutasi logika yang berbeda, pergantian fase supply daya tergantung pada nilai-nilai sensor hall seperti pada Gambar 10 (Chanpeng & Hachanont, 2014).

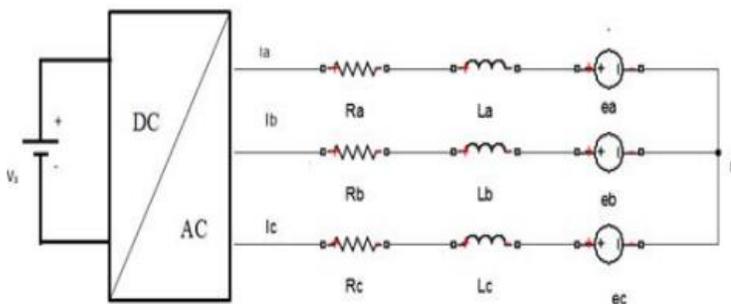


**Gambar 10.** Hall sensor output sinyal dan Back EMF

### 2.3 Model matematika dari Wheel Hub Motor

Rangkaian dari motor 3 phase ditunjukkan pada Gambar 11, Rotor menyatu dengan permanen magnet. Analisa didasarkan pada beberapa asumsi yaitu:

1. Resistansi stator dan induktansi semua lilitan sama
2. Tiga fasa memiliki bentuk gelombang EMF yang identic
3. Iron losses diabaikan
4. Reaksi armature diabaikan
5. Airgap seragam
6. Permukaan kutub rotor tanpa belitan peredam
7. Induksi rotor identic dengan posisi sudut rotor yang berbeda
8. Arus induksi pada rotor diabaikan



**Gambar 11.** Rangkaian model BLDC motor

Untuk mendapatkan hasil yang akurat untuk kinerja dinamis diperlukan untuk mempertimbangkan sejumlah besar harmonik (Shenoy & Kumar, 2016). Back EMF aktual dan bentuk gelombang arus dalam variabel keadaan bentuk digunakan. Persamaan tegangan yang mengatur model dalam variabel fase adalah

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_a & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{ba} & L_b & L_{bc} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (10)$$

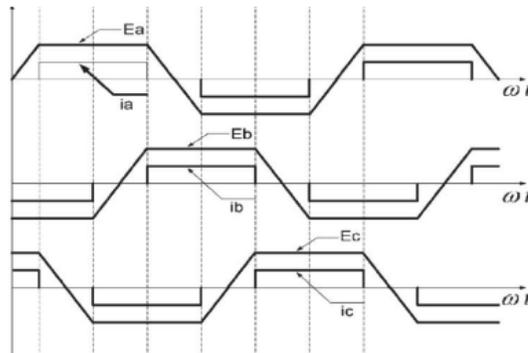
Dimana v, i, dan e setiap fasa tegangan, arus dan Back EMF.

$$I_a = I_b = I_c = I \quad (11)$$

$$L_{ab} = L_{bc} = L_{ca} = L_{ba} = L_{cb} = L_{ac} = M \quad (12)$$

State space equation dengan variable  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  dan  $\omega$  dapat ditulis sebagai

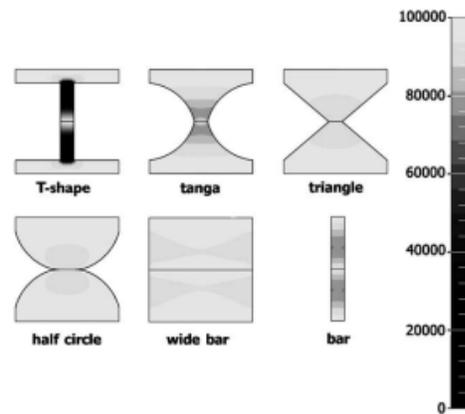
$$\rho \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ T_e \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \\ T_l \end{bmatrix} \quad (13)$$



**Gambar 12.** Back EMF dan Current Wave Forms

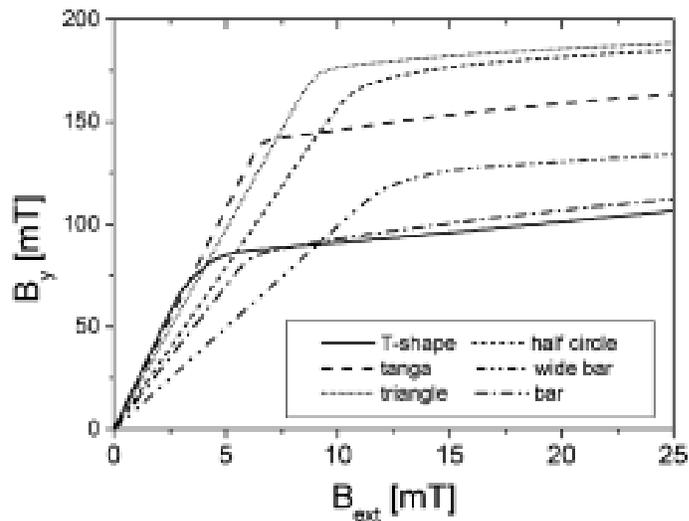
Back EMF dan bentuk gelombang arus dari WHMr ditunjukkan pada Gambar 12. Bentuk gelombang arus ia, ib, dan ic berbentuk persegi panjang untuk menghasilkan lebih sedikit riak keadaan tunak torsi. Oleh karena itu arus fasa dianggap sebagai variabel state-space dan persamaan state space diadopsi.

## 2.4 Slot Geometri Stator



**Gambar 13.** *Surface plot of  $\sigma$  for an external field of 5mT obtained from the numerical simulations*

Dalam penelitian yang dilakukan (Drljača et al., 2002) menghasilkan distribusi flux dalam percobaan hall sensor. Terdapat 6 geometri yang diteliti untuk mengetahui direction dengan menggunakan numerical simulasi. Dari hasil grafik magnetic flux densiy vs external magnetic flux density menghasilkan bentuk triangle dan half cyrcle menghasilkan nilai flux yang tinggi dibandingkan dengan bentuk yang lain.



**Gambar 14.** *Simulated vertical component of the magnetic flux density vs the external magnetic flux density for different shapes of MCs*

Dari penelitian yang dilakukan (Drljača et al., 2002) dapat dibuat dasar teori dalam pembuatan slot dari WHM. Terdapat 6 buah bentuk yang diujicoba menghasilkan magnetic flux density vs external magnetic flux density. Percobaan didapatkan nilai maksimal pada bentuk Half circle  $B_y$  188mT, kemudian bentuk triangle, yang ke tiga bentuk tanga, yang keempat bentuk wide bar, yang ke lima bentuk bar dan yang terakhir bentuk T-Shape  $B_y$  100mT. Type slot pada penelitian dibuat berdasarkan simulasi menggunakan Ansys Maxwell. Optimasi dilakukan menggunakan ANN dengan Matlab.

## 2.5 Diameter American Wire Gauge (AWG)

Wire diameter merupakan salah satu pengaruh perubahan torsi pada sebuah motor listrik. Diameter dari wire digunakan untuk mengalirkan arus pada stator yang melilit sebuah core untuk

menghasilkan gaya magnet. Dijelaskan pada tabel di bawah, diameter menghasilkan luas penampang dari sebuah kabel. Luas penampang tersebut mengalirkan besar atau kecilnya arus listrik.

**Tabel 1.** Data diameter kabel AWG

AWG	m-ohm/ft	Dia.(mm)	Amp
0	0.1	8.251	125A
4	0.25	5.189	70A
7	0.5	3.665	
10	1	2.588	30A
14	2.5	1.628	15A
17	5	1.15	
20	10	0.812	5A
24	25	0.511	2.1A
27	50	0.361	
30	100	0.255	0.52A
40	1000	0.08	

Sebuah variable power source dapat dihitung berdasarkan dimensi dari data sheet kabel AWG. Perhitungan ini dijelaskan pada rumus:

$$dn = 0.127mm \times 92^{\frac{36-n}{39}} \quad (14)$$

Contoh perhitungan menggunakan AWG 20:

$$dn = 0.127mm \times 92^{\frac{36-n}{39}} \quad (15)$$

$$d20 = 0.127mm \times 92^{\frac{36-20}{39}} \quad (16)$$

$$d20 = 0.127mm \times 92^{\frac{16}{39}} \quad (17)$$

$$d20 = 0.8118mm \quad (18)$$

Dapat dilakukan perhitungan untuk resistansi dari AWG 20

$$v = I \times R \quad (19)$$

$$R = \left(\frac{R}{L}\right) \times L \quad (20)$$

$$R = \left(\frac{0.01 \Omega}{ft}\right) \times 9000 ft \quad (21)$$

## 2.6. Artificial Neural Network

Jaringan syaraf tiruan (JST) adalah sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik mirip dengan jaringan syaraf biologi. JST dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi. Suatu jaringan syaraf tiruan ditentukan oleh 3 hal, yakni:

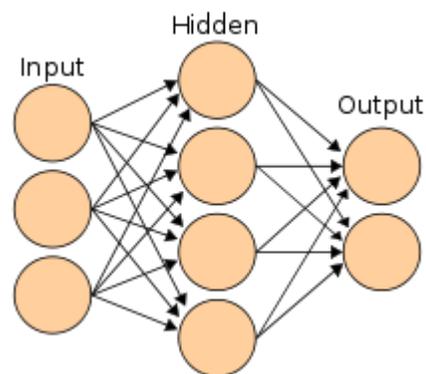
- a. Pola-pola hubungan antar neuron yang disebut arsitektur jaringan.
- b. Metode penentuan bobot penghubung yang disebut metode training / learning / algoritma.
- c. Fungsi aktivasi yang digunakan.

Sebagai alat pemecah masalah, neural network atau jaringan syaraf tiruan memiliki keunggulan dan kelemahan, beberapa keunggulan Neural Network

- 1) Adaptive learning: Suatu kemampuan untuk melakukan suatu kegiatan yang didasarkan atas data yang diberikan pada saat pembelajaran atau dari pengalaman sebelumnya.
- 2) Self-Organisation: Dapat membuat organisasi sendiri atau merepresentasikan informasi yang didapat pada saat pembelajaran.
- 3) Real Time Operation: Dapat menghasilkan perhitungan parallel dan dengan device hardware yang khusus yang

dibuat memberikan keuntungan dengan adanya kemampuan tersebut.

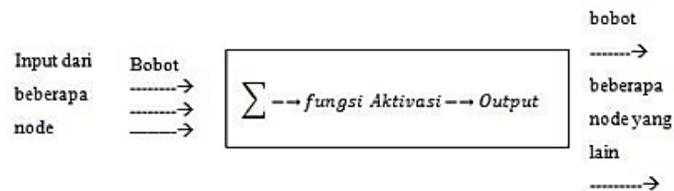
- 4) Fault Tolerance melalui Redundant Information Coding: Kerusakan pada bagian tertentu dari jaringan mengakibatkan penurunan kemampuan. Beberapa jaringan mempunyai kemampuan untuk menahan kerusakan besar pada jaringan.
- 5) Kelebihan Jaringan Syaraf Tiruan terletak pada kemampuan belajar yang dimilikinya. Dengan kemampuan tersebut pengguna tidak perlu merumuskan kaidah atau fungsinya. Jaringan Syaraf Tiruan belajar mencari sendiri kaidah atau fungsi tersebut. Dengan demikian Neural Network mampu digunakan untuk menyelesaikan masalah yang rumit dan atau masalah yang terdapat kaidah atau fungsi yang tidak diketahui.
- 6) Kemampuan Neural Network dalam menyelesaikan masalah yang rumit telah dibuktikan dalam berbagai macam penelitian



**Gambar 15.** Model Jaringan Saraf

Ada beberapa tipe jaringan saraf tiruan, namun demikian hampir semuanya memiliki komponen-komponen yang sama.

Jaringan saraf tiruan disusun dengan asumsi yang sama seperti jaringan saraf biologis yakni terdiri dari beberapa node dan adanya hubungan antara node. Sinyal informasi yang terdapat di antara 2 buah node diteruskan melalui sebuah hubungan dan setiap hubungan antara 2 buah node mempunyai nilai bobot lalu dengan menggunakan fungsi aktivasi nilai keluaran node ditentukan Gambar 16 merupakan struktur node jaringan saraf tiruan.



**Gambar 16.** Struktur Node Jaringan Saraf Tiruan

Algoritma pelatihan Backpropagation Neural Network pertama kali dirumuskan oleh Werbos dan dipopulerkan oleh Rumelhart dan Mc.Clelland. Pada supervised learning terdapat pasangan data input dan output yang dipakai untuk melatih JST hingga diperoleh bobot penimbang (weight) yang diinginkan. Pelatihan Backpropagation meliputi 3 fase:

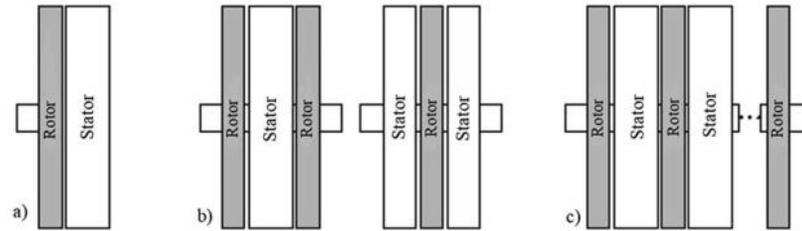
1. Fase propaksi maju (feedforward) pola pelatihan masukan. Pola masukan dihitung maju mulai dari layer masukan hingga layer keluaran dengan fungsi aktivasi yang ditentukan
2. Fase propaksi mundur (backpropagation) dari error yang terkait. Selisih antara keluaran dan target merupakan kesalahan yang terjadi. Kesalahan tersebut dipropagasi mundur, dimulai dari garis yang berhubungan langsung dengan unit-unit dilayar keluaran;

3. Fase modifikasi bobot. Ketiga tahapan tersebut diulangi terus menerus sampai mendapatkan nilai error yang diinginkan. Setelah training selesai dilakukan, hanya tahap pertama yang diperlukan untuk memanfaatkan jaringan syaraf tiruan tersebut. Kemudian, dilakukan pengujian terhadap jaringan yang telah dilatih. Pembelajaran algoritma jaringan syaraf membutuhkan peran

## **2.6 Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator (AFPMSG)**

Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator (AFPMSG) merupakan sebuah generator yang dapat menghasilkan listrik cocok untuk aplikasi turbin angin (Wirtayasa & Hsiao, 2021). Bagian dari generator ini seperti generator pada umumnya, yaitu stator terdiri dari gulungan kawat tembaga dan rotor yang tersusun dari magnet permanen. Fungsi dari AFPMSG menghasilkan listrik dengan kecepatan rendah sangat efisien (Wang et al., 2019).

Secara umum generator terbagi menjadi dua, yaitu generator aksial dan generator radial (Bouaziz et al., 2018). Untuk saat ini penggunaan generator aksial lebih banyak digunakan karena efisiensinya dan daya yang besar (Kappatou et al., 2017). Meskipun generator aksial lebih banyak digunakan dari pada generator radial, penelitian terus dilakukan untuk pengembangan generator radial (Hsiao et al., 2014). Berdasarkan dari jumlah rotor dan jumlah stator, Axial Flux Permanent Magnet Generator terbagi menjadi beberapa topologi yaitu satu sisi, dua sisi dan multi-stage (Mahmoudi et al., 2011) yang ditunjukkan pada Gambar 17.



**Gambar 17.** Topologi AFPM, (a) satu sisi, (b) dua sisi, (c) multi stage

Beberapa penelitian tentang Axial Generator telah dilakukan. Penelitian (Topaloglu et al., 2016) menggunakan Axial Generator untuk pembangkit listrik portabel Hand Crank dan juga pembangkit listrik di bawah air. Pada penelitian (Luo & Niu, 2016) dilakukan membuat desain stator internal dengan winding dan rotor ganda. Desain rotor eksternal dan yokeless internal dengan armature winding dibahas pada (Gerlando et al., 2011). Desain Aksial Generator menggunakan rotor internal dengan dua stator dibahas pada (Djebarri et al., 2012) diaplikasikan pada arus laut dengan membandingkan hasil pada radial generator. Secara umum, desain yang digunakan pada penelitian adalah topologi satu sisi dan dua sisi. Banyak kemungkinan dari pola yang digunakan pada aksial generator.

## 2.7 Perhitungan AFPM

Tahap awal dalam perhitungan adalah memilih konfigurasi berdasarkan magnet, slot dan jumlah fasa. Kemudian dimensi dari generator ditentukan berdasarkan persamaan daya keluaran generator. Mengabaikan nilai kebocoran, resistansi, daya dan induktansi dapat dihitung dijelaskan pada penelitian sebelumnya (Huang et al., 1999).

$$P_{out} = \eta \frac{m}{T} \int_0^T e(t) x i(t) dt \quad (22)$$

**Keterangan :**

- e(t) adalah fasa air-gap EMF,
- i(t) adalah arus fasa,
- $\dot{\eta}$  adalah efisiensi mesin,
- m adalah jumlah fase mesin dan
- T periode satu siklus EMF.

$$P_{out} = \frac{1}{1+K_g} \frac{m}{m_1} \frac{\pi}{2} K_e K_i K_p K_L \eta B_g A \frac{F}{P} (1 - \lambda^2) \frac{1+\lambda}{2} D_2^1 L_e \quad (23)$$

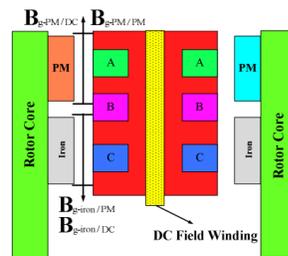
**Keterangan :**

- m1 adalah jumlah setiap fase stator,
- Ke adalah faktor EMF,
- Ki dan Kp masing-masing adalah arus dan daya listrik faktor bentuk gelombang,
- Bg adalah kerapatan fluks celah udara,
- A adalah total pembebanan listrik,
- D1 adalah diameter mesin pada permukaan luar,
- $K_\phi = Ar$ /Seperti rasio pembebanan listrik,
- $KL = D1/Le$  adalah koefisien rasio aspek untuk AFPM
- $D2/D1 =$  rasio diameter di mana D2 adalah diameter mesin pada Permukaan dalam.

KL berkaitan dengan struktur mesin tertentu ditentukan dengan pertimbangan dampak kerugian dan kenaikan suhu, dan efisiensi desain persyaratan. Kepadatan torsi mesin untuk volumetotal didefinisikan sebagai:

$$\tau_{den} = \frac{P_{out}}{\omega_m \frac{\pi}{4} D_{tot}^2 L_{tot}} \quad (24)$$

$\omega_m$  adalah kecepatan sudut rotor, masing-masing  $D_{tot}^2$  dan  $L_{tot}$  adalah total diameter luar mesin dan panjang mesin total termasuk diameter luar tumpukan dan belitan akhir tonjolan dari tumpukan besi radial dan aksial. Sebuah prosedur harus dikembangkan untuk memilih panjang yang sesuai untuk magnet permanen, stator dan rotor. Magnet permanen panjangnya tergantung pada panjang celah udara dan fluks celah udara kepadatan.



**Gambar 18.** Tampilan 2D AFPM

Beban listrik setara stator, arus densitas, faktor slot-fill, dan densitas fluks di berbagai bagian mesin mempengaruhi panjang stator dan panjang rotor. Beberapa literatur berdasarkan ukuran tujuan umum analisis, menyajikan optimasi dan contoh desain dari mesin AFPM.

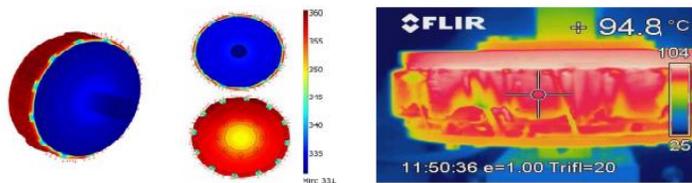
## 2.8 Analisa AFPM Generator

Analisa dari AFPM dilakukan dengan software untuk thermal dan mekanik.

### 2.8.1 Analisa Thermal

Teknik analisis termal modern adalah eksperimen, model termal lumped-parameter dan analisis numerik. Metode eksperimen cocok untuk evaluasi akurasi tepat strategi pendinginan pada mesin yang dirancang (Shazly et al., 2015). Analisis lumped-circuit menggambarkan masalah termal melalui jaringan termal mirip dengan sirkuit listrik (Parviainen, 2005). Jaringan termal dalam

keadaan tunak terdiri dari tahanan termal dan sumber panas yang terhubung antara node komponen motor. Untuk analisis transien, kapasitansi termal juga digunakan untuk mempertimbangkan perubahan energi internal terhadap waktu. Penelitian (Scowby et al., 2004) mengusulkan model termal parameter yang disamakan secara rinci, untuk prediksi kenaikan suhu transien dan kondisi tunak di berbagai bagian mesin AFPM membantu mengubah ukuran motor (Scowby et al., 2004).



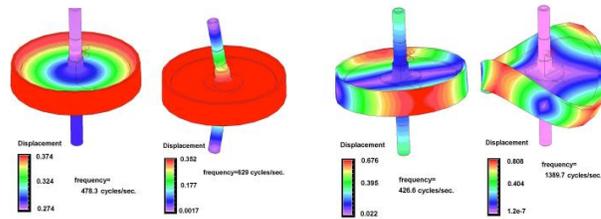
**Gambar 19.** Thermal Analysis AFPM

Karakteristik termal mesin AFPM secara mendalam dengan 3D FEA, memperoleh distribusi isothermal, plot fluks termal dan gradien termal di berbagai posisi rotor, dan selanjutnya mengembangkan prosedur untuk mensimulasikan kondisi tunak dan karakteristik termal transien mesin AFPM melalui pengetahuan (diperoleh melalui analisis aliran udara) distribusi kecepatan udara di dalam mesin (Marignetti et al., 2008).

## 2.8.2 Analisa Mekanik

Sebuah mesin listrik membutuhkan desain magnetik dan mekanik yang baik. Panjang magnet tidak dapat dipilih tanpa mempertimbangkan efek gaya sentrifugalnya pada desain keseluruhan, atau panjang celah udara tanpa mempertimbangkan efek gaya tarik aksial. Gaya sentrifugal yang bekerja pada rotor dan gaya tarik aksial stator-rotor yang dihasilkan dari interaksi magnet

permanen dan inti stator adalah dua gaya utama yang harus dipertimbangkan dalam analisis mekanis mesin AFPM.

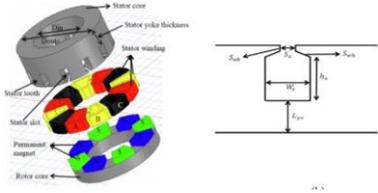
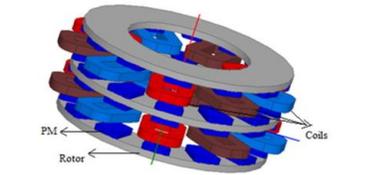
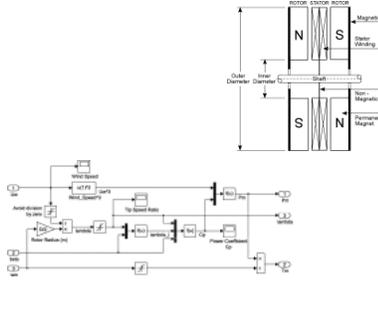
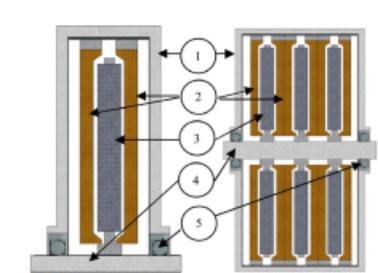
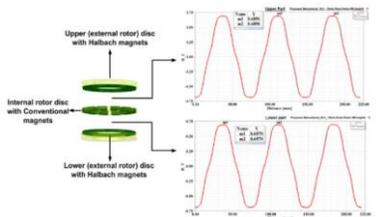


**Gambar 20.** Deformasi dari AFPM frekuensi tertentu

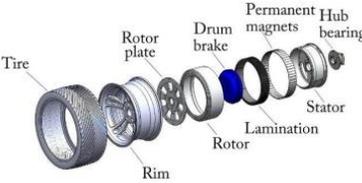
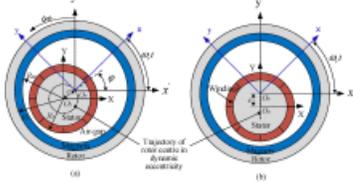
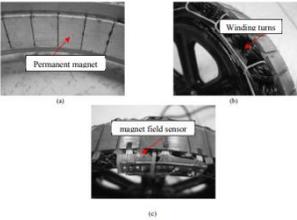
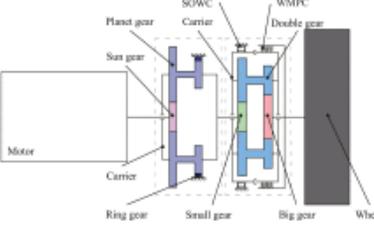
Menciptakan kondisi operasi berbagai kecepatan yang aman melalui analisis tegangan mekanis rotor, dan frekuensi kritis melalui analisis modal juga merupakan masalah dalam desain AFPM. Gambar 20 menunjukkan pola deformasi rotor mesin AFPM pada frekuensi Eigennya.

## 2.9 Penelitian terkait WHM dan AFPM

### Penelitian terkait AFPM

Ringkasan	Gambar	Peneliti
<p>Penggunaan energi angin sebagai sumber energi alternatif untuk menghasilkan listrik menggunakan AFPM micro</p>		<p>Wirtayasa &amp; Hsiao, 2021</p>
<p>Perancangan AFPMG tanpa core besi yang memberikan pengurangan kehilangan energi dan membuat AFPMG menjadi lebih ringan dengan mengurangi jumlah rotor yang akan digunakan</p>		<p>Minaz &amp; Çelebi, 2017</p>
<p>Desain AFPMG untuk aplikasi angin berkecepatan variabel dengan Pemodelan AFPMG yang komprehensif bersama dengan detail model untuk Turbin Angin Horizontal Axis (HAWT), drive train, pengontrol kecepatan, dan pengontrol pitch</p>		<p>Laxminarayan et al., 2017</p>
<p>Penelitian ini bekerja dalam kecepatan rendah, generator Axial Flux Permanent Magnet (AFPM) tersebar luas di sistem energi angin yang berkontribusi untuk menghilangkan gearbox dari sistem, peningkatan efisiensi yang nyata, dan penurunan bobot sistem.</p>		<p>Pirzad et al., 2021</p>
<p>Generator AFPM multi-stator multi-rotor (MSMR) full coreless dengan susunan magnet konvensional dan Halbach yang dipadukan dengan rotor ironless (epoxy).</p>		<p>Habib et al., 2020</p>

Penelitian terkait WHM

Ringkasan	Gambar	Peneliti
<p>Aspek produksi WHM menghasilkan torsi dari motor ke roda dan menghasilkan komponen kompleks, pemanfaatan ruang dan kehilangan energi karena beberapa bagian yang bergerak. Motor dalam roda yang digerakkan langsung, ditempatkan di dalam pelek kendaraan.</p>		<p>Biček et al., 2019</p>
<p>Efek kopling pada motor hub dan optimalisasi untuk sistem suspensi aktif untuk meningkatkan kinerja kendaraan dan motor</p>		<p>Wu et al., 2020</p>
<p>Desain dan pengembangan motor roda untuk kendaraan listrik. Hasil percobaan menunjukkan bahwa daya keluaran dan efisiensi motor roda dalam dipengaruhi oleh variasi daya masukan</p>		<p>Chanpeng &amp; Hachanont, 2014</p>
<p>Desain dan pemodelan AMT dua kecepatan dalam roda untuk kendaraan listrik dengan transmisi. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada gangguan daya di WH-AMT selama perpindahan gigi, dan kualitas perpindahan gigi tinggi, yang secara signifikan meningkatkan kinerja daya</p>		<p>Meng et al., 2021</p>

## 2.10 Hipotesa Penelitian

Bedasarkan tinjauan pustaka dan karakteristik WHM 1.5KW existing, maka peneliti merumuskan hipotesis sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh bentuk slot terhadap distribusi flux magnet pada penggunaan torsi
2. Terdapat pengaruh diameter wire terhadap torsi pada WHM
3. Terdapat pengaruh cover untuk AFPMSG pada WHM

Kontribusi yang diharapkan dalam pembuatan WHM 1.5KW yang baru adalah:

1. Membuat efisiensi dari perbandingan power input dan power output meningkat
2. Meningkatkan RPM saat power maksimal yang sebelumnya pada kecepatan 200rpm
3. Menghasilkan desain WHM 1.5KW yang lebih *compact*

**Tabel 2.** Segi desain WHM lama vs baru

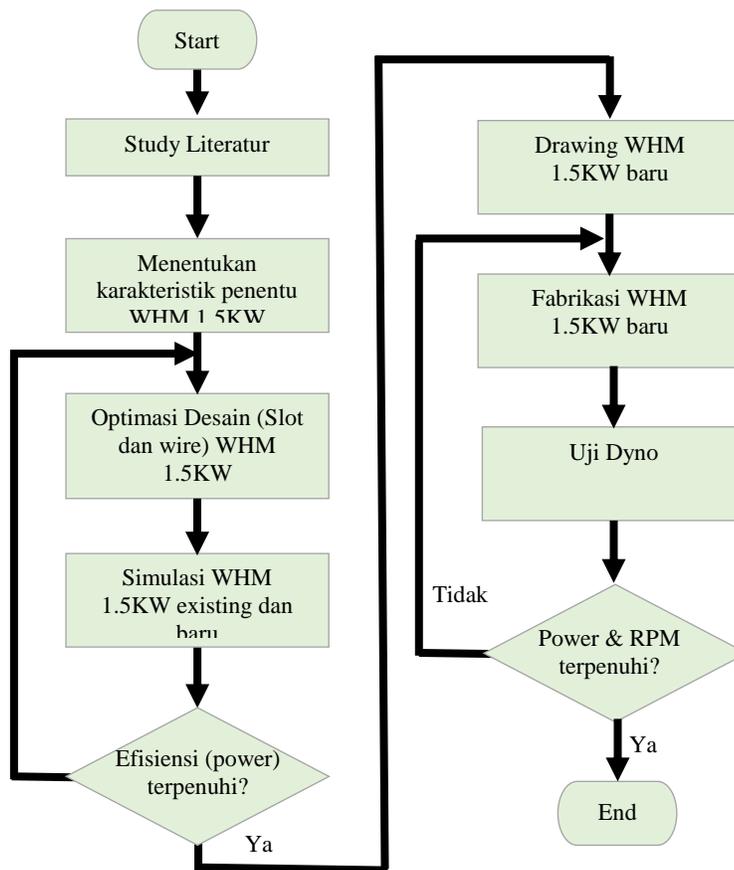
Parameter	Lama	Baru
Stator	Type Slot 3, Wire 0.4mm, Stand dari ST31	Type Slot dengan optimasi, Wire dengan optimasi, Stand dari aluminium dengan AFPMSG
Rotor	Magnet n52, Diameter Rotor 235mm	Magnet n52, Diameter Rotor 235mm
Cover	Aluminium 1050	Aluminium 1050 dengan magnet AFPMSG
Masa	5Kg	>5Kg

**Tabel 3.** Segi karakteristik

Parameter	Lama	Baru
RPM	213RPM	> 213 RPM
Torque	122.3N.m	>122.3N.m
Efisiensi	89%	>89%

### BAB 3 METODE PENELITIAN

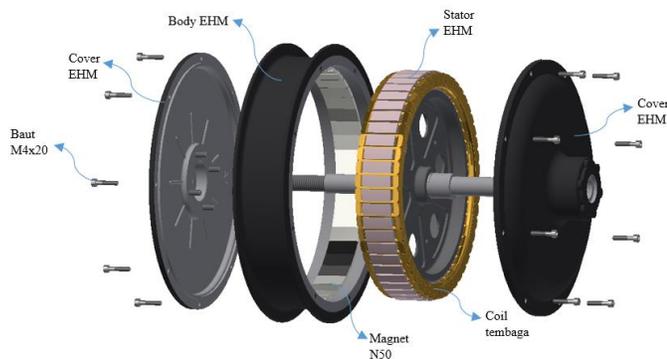
Metode penelitian dari Wheel Hub Motor 1.5KW terintegrasi dengan Automatic Charging dipetakan seperti berikut.



**Gambar 21.** Flowchart Proses pengambilan data WHM 1.5KW

Pada bagian metode penelitian ini dapat dilihat flowchart step by step pekerjaan yang dilakukan. Pekerjaan dimulai dengan melakukan desain awal pada wheel hub motor 1.5 KW yang ada di pasaran. Desain yang digunakan adalah desain secara real dengan

menggunakan software Inventor 2020 student version. Desain ini menjadi acuan dalam pembuatan welhap motor yang baru terintegrasi dengan Axial Flux Permanent Magnet Sinkronus Generator. Dimensi yang menjadi acuan desain baru untuk menyatukan stator yang memiliki gulungan kan untuk pergerakan wheel hub motor selain itu stator juga digunakan untuk coil penghasil listrik pada axial flux permanent magnet sinkronus generator.



**Gambar 22.** Desain WHM 1.5KW existing

Dimensi yang diperlukan pada Wheel Hub Motor yang baru harus mempertimbangkan parameter-parameter yang ada pada motor secara umum. Parameter tersebut adalah power, torsi, Speed, dan diameter rotor. Desain referensi ini menjadi patokan untuk mendapatkan WHM 1.5KW yang baru. Didasarkan pada dimensi yang telah dibuat dan juga bentuk stator, maka dibuat beberapa desain yang nantinya dipilih untuk menghasilkan WHM 1.5KW dengan system autocharging. Sistem yang dikembangkan bermanfaat membantu kendaraan dalam menempuh jarak jauh sehingga lebih hemat energi.

### 3.1 Menentukan Karakteristik WHM 1.5KW

Dalam perancangan WHM 1.5KW langkah awal adalah menentukan parameter dari WHM untuk target yang dicapai. Berikut perubahan dalam redesain WHM 1.5KW untuk meningkatkan efisiensi pada power input dan output.

**Tabel 4.** Karakteristik WHM 1.5KW

Power	1.5KW
RPM	200RPM
Torque	132.9N.m
Efisiensi (Power)	89%
Volt	48V
Rotor	Magnet n52
Slot	Type 3
Wire Diameter	0.4mm
Slot dan Pole	48s 46p
Implementasi	Skuter

Warna biru pada tabel adalah bagian yang diubah untuk proses optimasi pada WHM 1.5KW. Power ditetapkan pada nilai 1500 watt, kecepatan motor 200 RPM, torsi motor 132.9 N.m. Efisiensi yang diharapkan berdasarkan perbandingan power in dan power out adalah lebih dari 89%. Tegangan yang digunakan 48 volt. Untuk bagian mekanik type magnet yang digunakan adalah n52 dengan type slot nomor 3. Wire diameter untuk standar 0.4mm. dan yang terakhir jumlah dari slot 48 dan pole 46.

#### 3.1.1 Perhitungan Teoritis

Perhitungan yang dilakukan adalah perhitungan untuk daya WHM berdasarkan konsumsi dari motor listrik yang melibatkan arus konsumsi motor listrik dan tegangan dari baterai.

### 1. Perhitungan daya input

$$P_{input} = V \times I \quad (24)$$

$$P_{input} = 1500 \text{ watt} \quad (25)$$

Karena tegangan operasional dari baterai yang digunakan adalah 48V maka arus yang dipakai adalah

$$I = 1500 \text{ watt} / (48 \text{ volt} \times \sqrt{3}) \quad (26)$$

$$I = 18.06 \text{ ampere} \quad (27)$$

### 2. Perhitungan daya output

Perhitungan daya output untuk WHM menggunakan rumus dasar dari perhitungan motor listrik 3 phasa. Secara teoritis adalah sebagai berikut:

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{eff} \times \cos \emptyset \quad (28)$$

$$P_{out} = \sqrt{3} \times 48 \times 18.06 \times 0.893 \quad (29)$$

$$P_{out} = 1339,23 \text{ watt} \quad (30)$$

### 3. Perhitungan torsi

Untuk mencari torsi maksimum motor listrik, parameter yang diperlukan batasan kecepatan putaran maksimum pada motor listrik. Diasumsikan WHM memiliki putaran tanpa beban mencapai 1000 rpm, maka torsi maksimum dasar teori torsi motor listrik yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{9.5488 \times P}{N} \quad (31)$$

$$T = \frac{9.5488 \times 1.5 \text{kw}}{1000 \text{ rpm}} = 14.32 \text{ Nm} \quad (32)$$

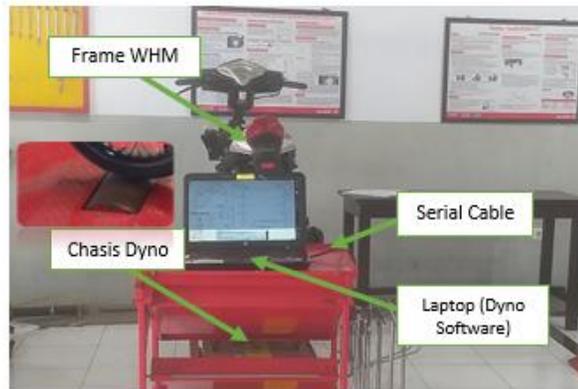
### 3.1.2 Pengujian Dyno

Sebelum proses redesain dilakukan analisis mengenai karakteristik WHM 1.5KW existing. Analisa dilakukan menggunakan uji Dyno untuk produk secara real dan Ansys Maxwell sebagai simulasi. Untuk mengetahui datasheet memiliki nilai yang sesuai dengan WHM 1,5 KW existing, perlu dilakukan tes Dino. Pengujian ini dilakukan di salah satu bengkel motor di Tulungagung.



**Gambar 23.** Frame tambahan dan WHM 1.5KW

Uji ini dilakukan untuk mengetahui nilai torsi Speed RPM dan Power (“Brake and pneumatic wheel performance assessment – A new test rig,” 2020) pada wheel hub motor eksisting. Uji WHM ini dilakukan tanpa menggunakan frame kendaraan, oleh sebab itu dibutuhkan Pembuatan frame yang cocok dipasang pada ada uji Dino. Dapat dilihat pada Gambar 19 frame terpasang pada WHM dengan controller untuk mengatur kecepatan motor. Sumber daya pada percobaan ini menggunakan power supply 48 volt 30 ampere. Apabila terjadi lonjakan arus, power supply ini dilengkapi dengan fuse sebesar 25 A. Power supply ini sudah sesuai dengan spesifikasi controller yang dibutuhkan untuk dilakukan Uji Dino.



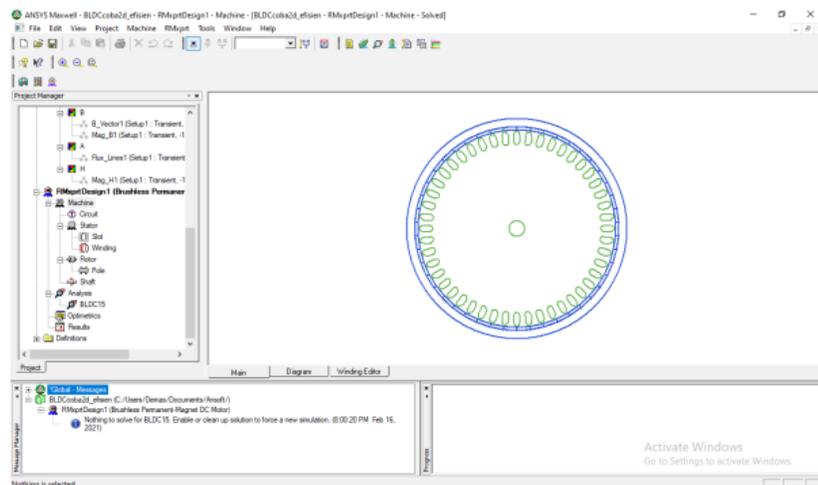
**Gambar 24.** Proses uji Dyno di bengkel Tulungagung

Uji Dino dengan menggunakan Chasis Dyno ini dilakukan menggunakan speed controller. Frame digunakan dengan berat 90kg terintegrasi dengan Wheel Hub Motor. Software yang digunakan menggunakan DynoChasis milik Jelank Motor Tulungagung. Penggunaan USB 3.0 unggul dengan kecepatan pengiriman data mencapai 4.8 Gbps. Berbeda halnya dengan USB 2.0 yang hanya memiliki kecepatan transfer mencapai 480 Mbps. Terdapat 5 speed yang ada pada ada fitur kontrol sehingga terdapat 5 data uji Dino yang dihasilkan. Salah satu data yang diambil pada Speed ketiga dapat dilihat pada gambar 21, menunjukkan grafik warna kuning merupakan power dari wheel hub motor 1.5 KW existing dan warna biru adalah torsi pada motor. Maksimal torsi adalah 122 Newton meter Kemudian untuk power tertinggi pada 141 rpm dengan nilai 1.36 KW. Data ini menjadi acuan setelah pembuatan WHM 1.5KW baru.

Data dyno tersebut menjadi acuan pada proses redesain dari WHM 1.5KW. Setelah proses redesain diharapkan efisiensi dari WHM meningkat dengan perbandingan antara power in dan power out. Selain itu power yang dihasilkan dari proses fabrikasi adalah 1.5KW ketika speed lebih dari 200RPM.

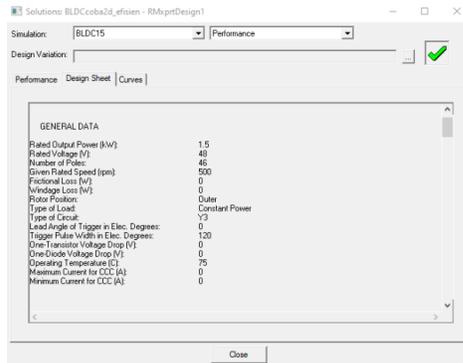
### 3.2 Simulasi ANSYS MAXWELL

Untuk mengetahui hasil perhitungan Apakah sudah benar dapat dilakukan dengan simulasi menggunakan software. Software yang digunakan pada simulasi wheel hub motor ini adalah Ansys Maxwell. Pada software ini dipilih jenis motor Outrunner sesuai dengan jenis motor ada kendaraan listrik yang diteliti.



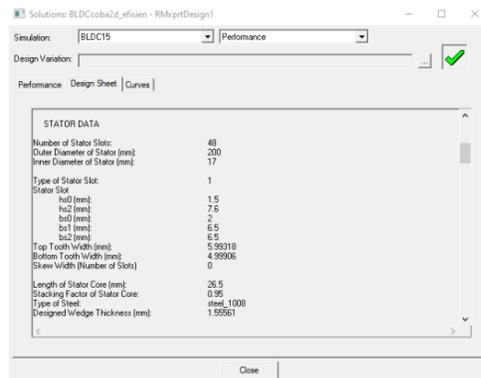
**Gambar 25.** Pemilihan jenis motor dan jumlah slot-pole

Data input sebagai perbandingan diambil dari data Wheel Hub motor 1.5 KW yang ada di pasaran. Data meliputi output voltage 48 volt dan operating temperatur 75 derajat, Trigger Pulse berada di 120 derajat. Data ini dimasukkan pada ada software untuk mengetahui perbandingan antara desain yang sudah ada dengan desain yang baru. Warna biru merupakan bentuk slot dari motor yang disimulasikan. Penggunaan slot nomor 3 diimplementasikan untuk simulasi awal dan warna biru merupakan jenis magnet n52.



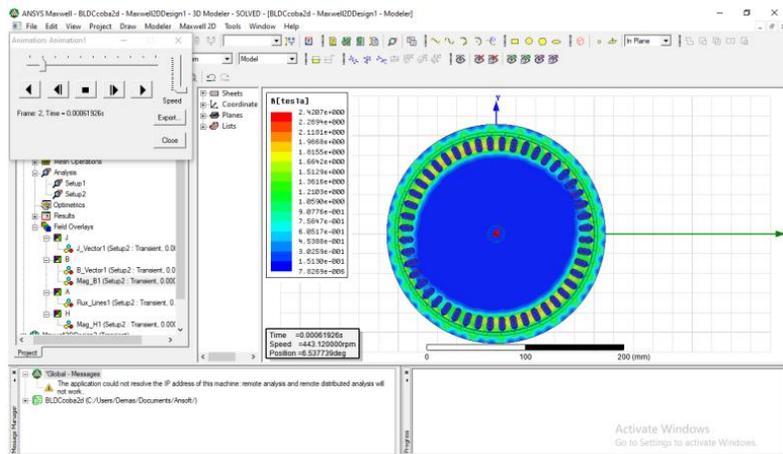
**Gambar 26.** General Data parameter WHM 1.5KW

Kemudian parameter selanjutnya adalah strator data. Stator data meliputi jumlah slot sebanyak 48 dan diameter luar 200 mm dan diameter bagian dalam adalah 17mm sebagai shaft. Penentuan output power sebesar 1.5 KW dengan percobaan kecepatan 500 RPM. Stator ini dibuat menggunakan jenis still silikon dengan ketebalan 0,5mm. Percobaan ini dengan merubah jumlah slot pada stator dan juga tipe stator untuk mengetahui efisiensi terbaik pada wheel hub motor.



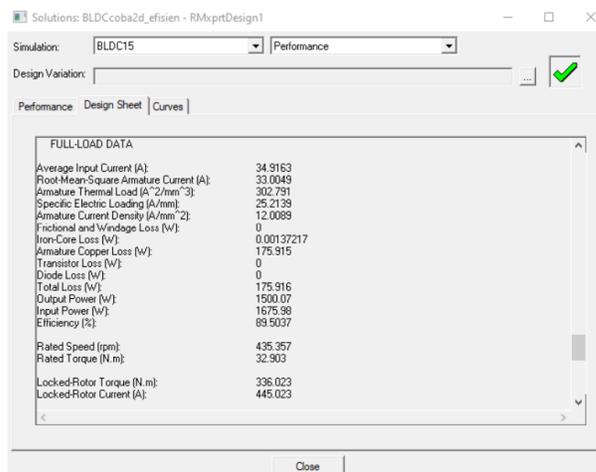
**Gambar 27.** Stator Data parameter WHM 1.5KW

Selanjutnya adalah rotor data. Diameter luar adalah 223mm panjang dari rotor 30mm, minimum air gap 0,5mm, jenis magnet yang digunakan adalah ndfe35 sesuai dengan datasheet Ketebalan 3mm. Residual flux density sebesar 1,23, koefisiensi force C4 890 ka/m.



**Gambar 28.** Simulasi WHM 1.5KW

Simulasi dilakukan pada kecepatan 443.12 RPM. Posisi dari wheel hub motor 6.57 deg saat capture 0.0006s. Magnetic flug terdistribusi dengan baik. Nilai B [tesla] 2.4207e+000 pada tegangan maksimal dan Nilai B [tesla] 7.0269e-006 pada tegangan minimal.

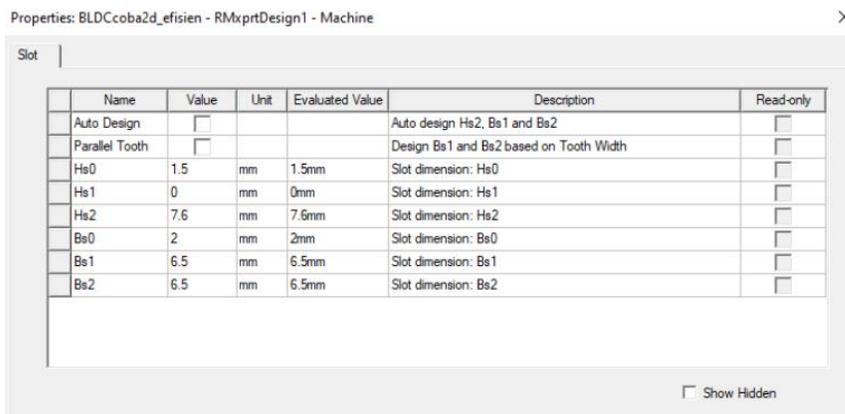


**Gambar 29.** Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi wheel hub motor 1.5 KW terlihat bahwa nilai efisiensi 89,5037%, input Arus sebesar 34,05A, output power 1500 watt, input power 1634 Watt.

### 3.2.1 Parameter Tipe Slot

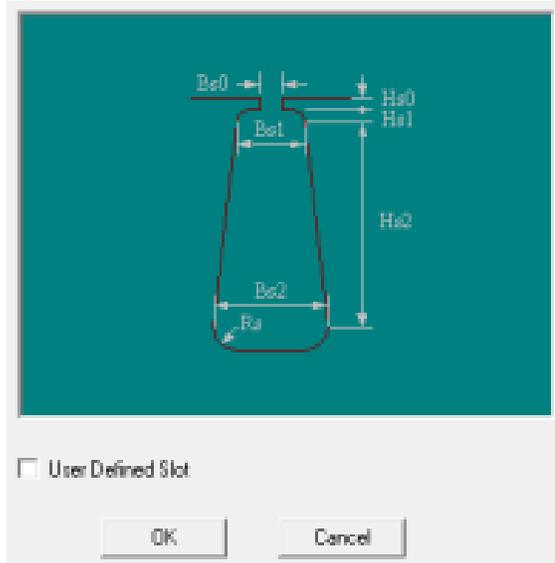
Percobaan dilakukan dengan mengubah tipe slot yang ada pada Ansys Maxwell. Parameter slot ditunjukkan pada Gambar 32. Slot dibentuk dari parameter  $hs_0$ ,  $hs_1$ ,  $hs_2$ ,  $bs_0$ ,  $bs_1$ ,  $bs_2$ . Nilai tersebut didapat dari bentuk slot yang ada pada WHM 1.5KW. Pada ANSYS MAXWELL terdapat 5 tipe slot yang digunakan untuk percobaan. Penelitian ini dilakukan perubahan bentuk slot untuk mengetahui nilai efisiensi terbaik dari kelima tipe slot.



Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Auto Design	<input type="checkbox"/>			Auto design Hs2, Bs1 and Bs2	<input type="checkbox"/>
Parallel Tooth	<input type="checkbox"/>			Design Bs1 and Bs2 based on Tooth Width	<input type="checkbox"/>
Hs0	1.5	mm	1.5mm	Slot dimension: Hs0	<input type="checkbox"/>
Hs1	0	mm	0mm	Slot dimension: Hs1	<input type="checkbox"/>
Hs2	7.6	mm	7.6mm	Slot dimension: Hs2	<input type="checkbox"/>
Bs0	2	mm	2mm	Slot dimension: Bs0	<input type="checkbox"/>
Bs1	6.5	mm	6.5mm	Slot dimension: Bs1	<input type="checkbox"/>
Bs2	6.5	mm	6.5mm	Slot dimension: Bs2	<input type="checkbox"/>

**Gambar 30.** Tabel input data dimensi slot

Tipe slot yang digunakan pada WHM 1.5KW ditunjukkan pada Gambar 32. Dari hasil simulasi didapatkan data rata-rata input arus 34,901 ampere, Output power sebesar 1500 w, Sedangkan input power sebesar 1675 watt. Speed berada pada 435 RPM dan torsi sebesar 32,903 Newton meter. Data terakhir yang didapatkan adalah nilai efisiensi sebesar 89,5 %.



**Gambar 31.** Tipe slot yang digunakan pada WHM 1.5KW existing

### 3.2.2 Wire Diameter

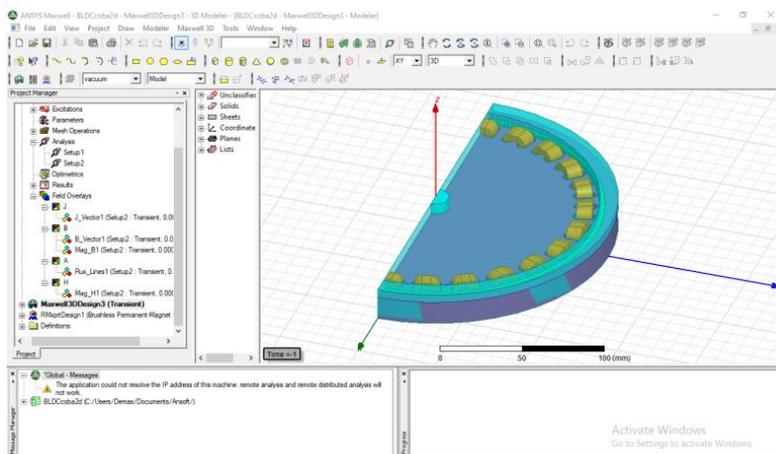
Selanjutnya adalah pengambilan data menggunakan tipe diameter wire dengan Slot Type 2. Untuk awal percobaan digunakan diameter 0,3 mm sesuai dengan wire WHM 1.5KW existing. percobaan dengan diameter 0,3 mm menghasilkan Speed tanpa beban sebesar 576 RPM, rata-rata input Arus sebesar 33,682 a, output power sebesar 1500 watt dan input power sebesar 1616 watt, speed dengan beban sebesar 450,6 RPM, dengan efisiensi sebesar 89,781 %. Hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 32.

Performance	
No-Load Speed (rpm)	576.45
Cogging Torque (N.m)	0.0086213
FULL-LOAD DATA	
Average Input Current (A)	33.682
RMS Mean-Square Amplitude Current (A)	32.1658
Armature Thermal Load (A <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup> )	203.895
Specific Electric Loading (A/mm <sup>2</sup> )	24.5726
Armature Current Density (A/mm <sup>2</sup> )	8.20752
Frictional and Windage Loss (W)	0
Iron Core Loss (W)	0.00760969
Armature Copper Loss (W)	116.702
Transformer Loss (W)	0
Diode Loss (W)	0
Total Loss (W)	116.704
Output Power (W)	1500.03
Input Power (W)	1616.14
Efficiency (%)	92.7815
Rated Speed (rpm)	450.617

**Gambar 32.** Data hasil simulasi WHM 1.5KW

Percobaan dilakukan menggunakan beberapa diameter yang ada di Indonesia. Diameter yang digunakan dari 0.2mm, 0.25mm, 0.35mm, 0.4mm, 0.5mm, 0.55mm sampai 0.8mm. Pengaruh dari diameter tidak merubah dari jumlah lilitan setiap slot, namun mempengaruhi jumlah dari wire untuk memenuhi slot.

Pengujian dengan jumlah slot dan pole dilakukan dengan simulasi. Simulasi ini mendapatkan gambaran secara real motor yang dibuat. Jumlah slot dan jumlah pole mempengaruhi nilai dari parameter torsi, speed dan power pada WHM 1.5KW. Ditunjukkan pada Gambar 35 hasil bentuk 3D setelah pengaturan slot sebanyak 48 dan jumlah magnet sebanyak 46. Pada simulasi ini tidak dilakukan perubahan data slot dan pole.



**Gambar 33.** 3D Simulasi WHM 1.5KW

### 3.3 Optimasi Desain dengan ANN

Optimasi difokuskan pada bentuk slot WHM 1.5KW dengan Mathlab. Bentuk dari slot dibedakan dari type, dengan dimensi input pada Ansys Maxwell tetap sesuai dengan parameter WHM 1.5KW existing. Dari data slot divariasikan dengan diameter winding untuk mencari prediksi nilai power yang terbaik untuk

menghasilkan efisiensi tinggi. Data dibuat pada excel dengan mengambil hasil simulasi pada Ansys Maxwell. Pada tabel di bawah merupakan data real sebelum ditransformasikan untuk proses optimasi menggunakan ANN.

**Tabel 5.** Data WHM diameter 0.2mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	33.7036	33.357	34.5663	34.5663	33.3036	34.4663
Voltage (V)	47.65	47.65	47.65	47.65	47.25	47.55
Speed (RPM)	450.148	449.963	435.007	435.007	449.748	434.907
Power loss (W)	116.816	117.534	175.366	175.565	116.416	175.465
Efisiensi (%)	87.9517	92.3639	89.4537	89.1537	87.5517	89.0537
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1616.816	1617.534	1675.366	1675.565	1616.416	1675.465

Kemudian ditransformasikan untuk range data dari 0 sampai dengan 1. Tujuannya untuk mempermudah prediksi data pada saat menggunakan Matlab. Rumus untuk mencari range data tersebut adalah:

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_2 - X_{min}} (BA - BB) + BB$$

(34)

Transformasi data input (X)

Batas Bawah	Batas Atas	Selisih BA BB
33.3036	1500	1466.696

Transformasi data target (X)

Batas Bawah	Batas Atas	Selisih BA BB
1616.416	1675.84	59.424

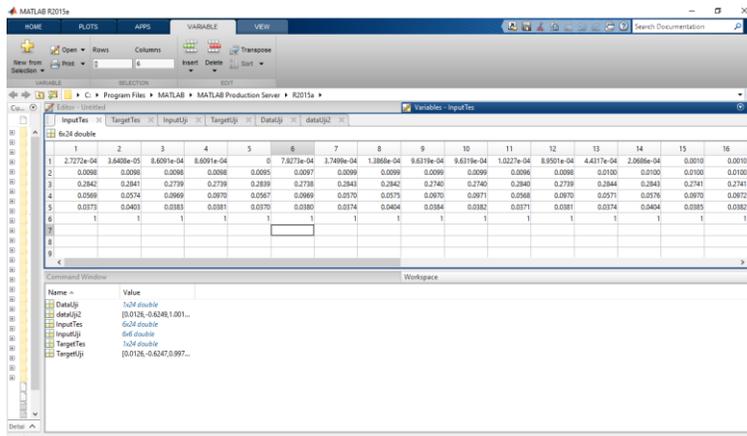
BB	0
BA	1

Sehingga didapatkan data seperti pada tabel 6.

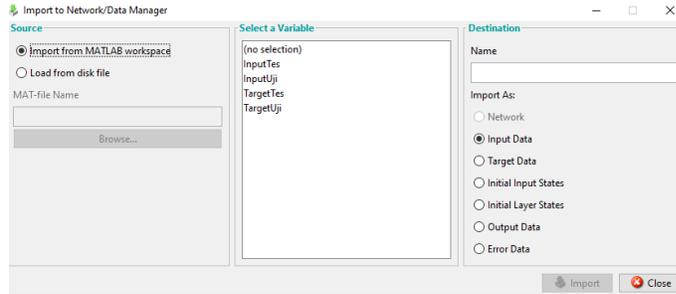
**Tabel 6.** Hasil transformasi data

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	0.000273	3.64084E-05	0.000861	0.000861	0	0.000793
Voltage (V)	0.009781	0.009781438	0.009781	0.009781	0.009509	0.009713
Speed (RPM)	0.284206	0.284080195	0.273883	0.273883	0.283934	0.273815
Power loss (W)	0.056939	0.057428654	0.096859	0.096994	0.056666	0.096926
Efisiensi (%)	0.037259	0.04026757	0.038283	0.038079	0.036987	0.038011
Power out (W)	1	1	1	1	1	1
Power in (W)	0.006731	0.018813947	0.992023	0.995372	0	0.993689

Selanjutnya data ditraining menggunakan Matlab. Data tersebut diproses menggunakan ANNTOOL pada system prediksi nilai. Dapat dilihat pada gambar memasukan data training untuk diproses. Tabel workspace pada gambar 34 dibuat untuk memasukan data dari excel. Data pada tabel 6 erupakan hasil transformasi. Nilai yang tertampil adalah nilai dengan range 0 sampai dengan 1. Parameter yang digunakan adalah bagian cell warna oranye yaitu type slot 1 sampai dengan type slot 6 dan arus, tegangan, kecepatan, power loss, efisiensi power, dan power out. Keluaran yang dihasilkan dari proses optimasi ini adalah power in.

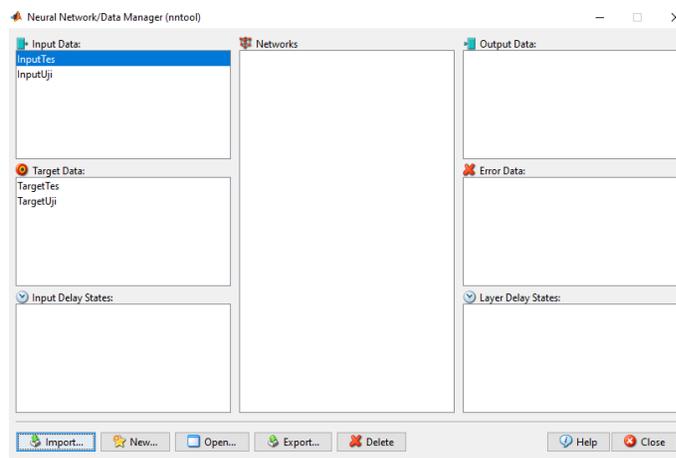


**Gambar 34.** Tabel workspace



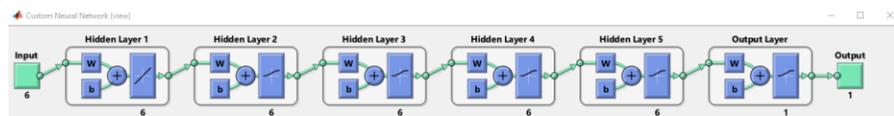
**Gambar 35.** Input data dari workspace

Gambar 35 merupakan NNTOOL untuk memanggil fungsi ANN dan proses import data training. Proses ini digunakan untuk mengecek data yang diproses melalui Matlab dari data input.



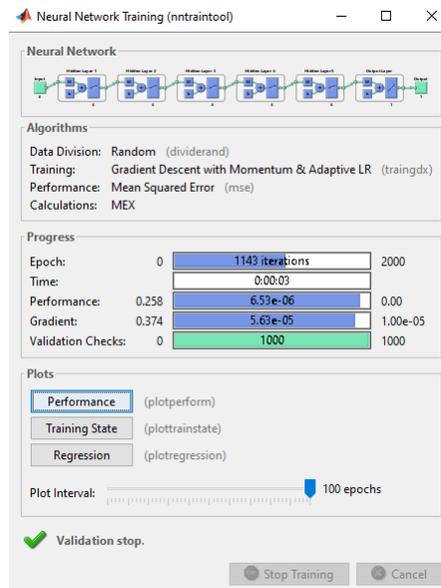
**Gambar 36.** ANN data manager

Pada tampilan ANN data manager Gambar 36 Network telah dimasukkan pada sub menu Input data (Input tes dan Input uji) dan Target Data (Target Tes dan Target Uji).



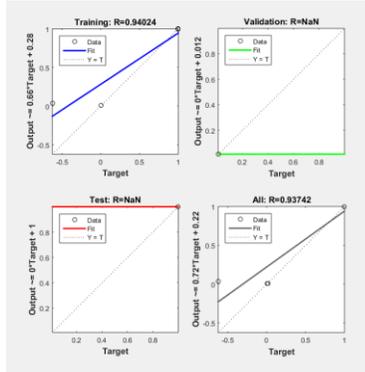
**Gambar 37.** Bagan NN dengan Hiden layer 5, Output layer 1

Bagan Neural Network ditunjukkan pada gambar 39. Hiden layer sebanyak 5 dan output layer 1. Bagan tersebut degenerate secara custom berdasarkan input data yang telah dilakukan pada menu workspace. Proses generate dapat dilakukan setelah data yang dimasukan memenuhi syarat untuk proses ANN.



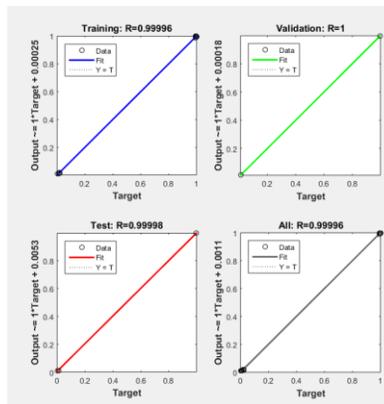
**Gambar 38.** Proses training data

Proses training dilakukan seperti gambar 40. Proses iterasi dari data input sebanyak 2000. Validasi cek untuk proses training sudah ditemukan pada iterasi 1143. Proses tersebut selesai pada 3 menit. Sehingga data ANN sudah dapat divalidasi untuk prediksi selanjutnya.



**Gambar 39.** Hasil regresi dari proses training

Hasil regresi dari proses training dapat dilihat pada gambar 41. Terdapat 4 tabel grafik yang ditunjukkan pada hasil regresi. Dari keempat tersebut (Training, Validation, Test dan All) memiliki nilai yang belum mendekati 1, sehingga data untuk training belum bisa maksimal.



**Gambar 40.** Regresi hasil training ke 10

Hasil regresi dari proses training ke 10 dapat dilihat pada gambar 42. Terdapat 4 tabel grafik yang ditunjukkan pada hasil regresi. Dari keempat tersebut (Training, Validation, Test dan All) memiliki nilai yang sudah mendekati 1, sehingga data untuk prediksi tipe slot bisa maksimal.

**Tabel 7.** Data output perbandingan simulasi dengan ANN

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	0.000273	3.64084E-05	0.000861	0.000861	0	0.000793
Voltage (V)	0.009781	0.009781438	0.009781	0.009781	0.009509	0.009713
Speed (RPM)	0.284206	0.284080195	0.273883	0.273883	0.283934	0.273815
Power loss (W)	0.056939	0.057428654	0.096859	0.096994	0.056666	0.096926
Efisiensi (%)	0.037259	0.04026757	0.038283	0.038079	0.036987	0.038011
Power out (W)	1	1	1	1	1	1
Power in (W)	0.006731	0.018813947	0.992023	0.995372	0.009417	0.993689
ANN	0.009612	0.019574	0.9961	0.99616	0.009517	0.98738

### 3.3 Proses Uji AFPMSG

Metode untuk uji Axial Flux Permanen Magnet Sinkronus Generator menggunakan beberapa alat ukur. Penjelasan secara umum adalah menentukan output generator untuk menghasilkan tegangan sebesar 220 volt. Penentuan ini dihitung secara manual menggunakan rumus yang telah dijelaskan pada tunjangan pustaka. Selain itu untuk lebih mengetahui hasil secara maksimal dilakukan simulasi Dengan menggunakan Solidwork EMS Work. Dimensi pada Axial flux permanent magnet sinkronus generator telah ditentukan dengan diameter 120mm, tebal 60mm. Dimensi ini merupakan space yang tersisa Pada bagian wheel hub motor 1.5 KW sehingga penggunaan axial flux permanent magnet sinkronus generator dapat terintegrasi dengan wilayah motor.

#### 3.3.1 Simulasi AFPMSG EMS Works

Tahap awal dilakukan simulasi menggunakan solidwork EMS. Simulasi ini Dibentuk dari 4 buah coil Dengan magnet N50 sebanyak 4 buah. Tipe magnet yang digunakan diameter 20 mm dengan tebal 10 mm. Untuk bagian coil digunakan tembaga dengan



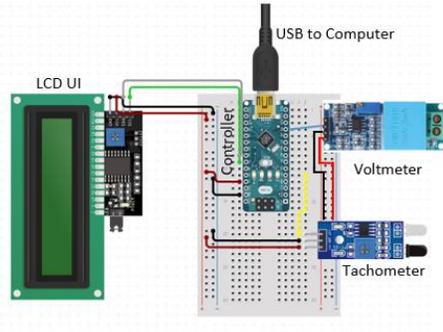
Pada simulasi ini dilakukan perubahan data jumlah coil dan jumlah magnet pada AFPMSG. Pengaruh perubahan jumlah dilakukan simulasi menggunakan EMS Works. Hasil simulasi dikeluarkan dalam bentuk nominal voltage dan putaran maksimal untuk mengetahui nilai maksimum output generator.

**Tabel 8.** Perubahan data jumlah magnet dan coil

<b>Coil</b>	<b>Magnet N50</b>	<b>Volt</b>
4	4	
6	4	
8	4	
4	6	
6	6	
8	6	
4	8	
6	8	
8	8	

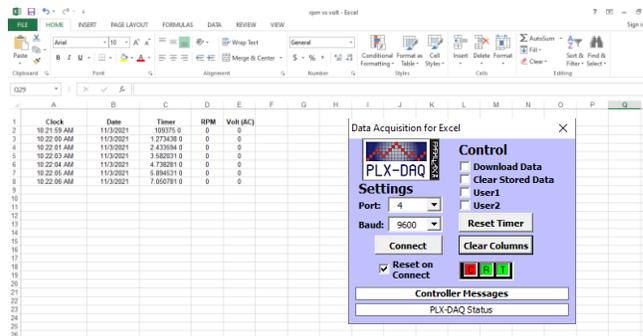
### **3.3.2 Sistem Pengambilan data dengan Tachometer dan Voltmeter**

Proses AFPMSG yang direalisasikan dalam bentuk real diukur menggunakan tachometer dan volt meter. Data dimasukan melalui Arduino dengan dua sensor yaitu IR Sensor (Tachometer) dan ZMPT101B (Voltage AC sensor). Untuk data yang dikeluarkan berdasarkan waktu pengambilan data, rpm vs tegangan AC keluaran dari AFPMSG. Dapat dilihat pada Gambar 46, skema rangkaian pengambilan data.



**Gambar 43.** Skema *hardware* pengambilan data

Data masuk pada computer, komunikasi menggunakan kabel USB yang terpasang antara hardware dan computer. Pengolahan data dilakukan menggunakan Arduino kemudian menuju PLX-DAQ. Secara otomatis timer pengambilan data muncul bersamaan dengan data rpm dan voltage. Dapat dilihat pada gambar 47, tampilan data pada PLX-DAQ.

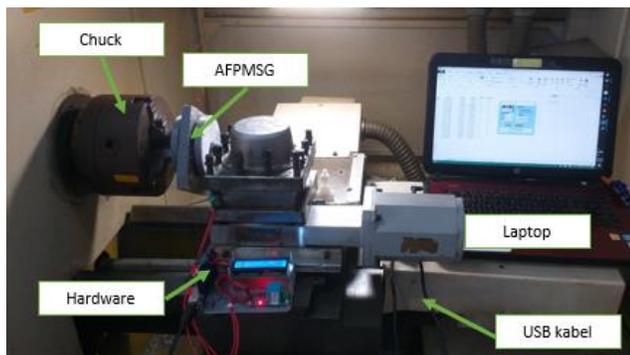


**Gambar 44.** Tampilan Software pengambilan data RPM vs Voltage

Pengambilan data divariasikan pada putaran mesin. Timer yang digunakan adalah 0.5s sampai dengan 1s setiap pengiriman data. Ini dilakukan karena AFPMSG menghasilkan tegangan AC sehingga perubahan data setiap kecepatan diamati. Kalibrasi dari pengukuran ini menggunakan AVOMeter dengan tambahan dimmer. Jadi data yang dikeluarkan AVOMeter harus sama dengan alat ukur pada gambar 47.

### 3.3.3 Proses Pengambilan Data

AFPMSG perlu diputar untuk menghasilkan listrik. Untuk proses ini dibutuhkan mesin CNC Lathe yang terintegrasi dengan tachometer agar pengamatan data dapat dilakukan. Dapat dilihat pada gambar 48, AFPMSG bagian rotor dipasang pada chuck dan sensor terintegrasi dengan mesin CNC.



**Gambar 45.** Pengambilan data AFPMSG dengan CNC Lathe

Kemudian proses pengambilan data dilakukan dengan mengubah RPM CNC Lathe dari 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm sampai dengan 1200 rpm.

**Tabel 9.** Format pengambilan data rpm vs voltage

RPM	Volt AC
100	
200	
300	
400	
500	
600	
700	
800	
900	
1000	
1100	
1200	

### 3.4 Rencana Kerja Tesis

Berikut adalah jadwal kerja tesis dari September 2021 sampai dengan Maret 2021 yang telah dilaksanakan

**Tabel 10.** Rencana kerja Tesis

Kegiatan	Oktober 2021	Nopember 2021	Desember 2021	Januari 2022	Februari 2022	Maret 2022
Pengujian dan pengambilan data WHM 1.5KW existing						
Desain WHM 1.5KW dan AFPMSG baru						
Simulasi Ansys MAXWELL untuk WHM 1.5KW						
Simulasi EMS Works untuk AFPMSG						
Fabrikasi WHM 1.5KW dengan AFPMSG						
Road test WHM baru						
Analisa hasil dan perbaikan						
Pembuatan laporan						

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## **BAB 4**

### **PEMBAHASAN DAN HASIL PENELITIAN**

#### **4.1 Data Karakteristik Penentu WHM 1.5KW**

Data perbandingan untuk target yang dicapai dari WHM 1.5KW baru. Pada power ditetapkan dengan daya 1500 watt. Kecepatan berubah dari 200 RPM menjadi lebih dari 200 RPM. Torsi berubah lebih dari 32.9 N.m. Efisiensi dari motor mengalami peningkatan diatas 89%. Parameter lain seperti type slot dan juga diameter wire dilakukan optimasi. Tegangan kerja pada motor listrik adalah 48 volt dengan menggunakan magnet n52, jumlah slot 48 dan pole 46. Perubahan ini untuk meningkatkan peforma dari wheel hub motor dengan daya 1500 watt.

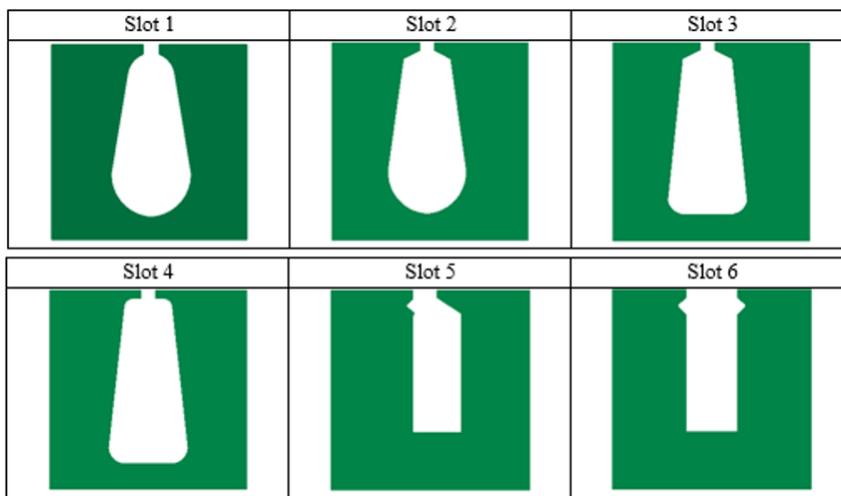
**Tabel 11.** WHM Lama vs WHM Baru

	<b>WHM Lama</b>	<b>WHM Baru</b>
Power	1.5KW	1.5KW
RPM	200RPM	> 200 RPM
Torque	32.9N.m	>32.9N.m
Efisiensi (Power)	89%	>89%
Volt	48V	48V
Rotor	Magnet n52	Magnet n52
Slot	Type 3	Type 1 - 6
Wire Diameter	0.4mm	0.2 - 0.8mm
Slot dan Pole	48s 46p	48s 46p
Implementasi	Skuter	Skuter

## 4.2 Optimasi Desain (Artificial Neural Network)

Data yang diambil adalah sebaran awal menggunakan Ansys Maxwell. Data tersebut berdasarkan nilai yang dikeluarkan pada simulasi. Data diambil dari beberapa parameter yang menjadi layer pada ANN. Tabel di bawah merupakan jenis slot yang dioptimasi. Jenis slot 1 sampai dengan 6 berbeda setiap geometri, namun data dari dimensi parameter Ansys Maxwell tetap. Dapat dilihat pada tabel 15, penerapan slot dapat dilakukan dengan pembuatan simulasi untuk out runner motor dengan parameter plat silicon steel sehingga hasil yang diharapkan untuk WHM 1.5KW mendekati fabrikasi.

**Tabel 12.** Type Slot untuk WHM 1.5KW



Dari tipe slot dilakukan optimasi menggunakan ANN. Parameter yang digunakan adalah Arus (A), Voltage (V), Speed (RPM), Power Loss (W), dan Power Out (W). Data yang ditraining tersebut menghasilkan nilai Power In (W) berdasarkan nilai simulasi. Data training tersebut diambil kemudian dimasukkan pada ANN Tool Matlab. Data yang diambil berdasarkan nilai maksimum setiap slot dengan merubah dari diameter winding.

**Tabel 13.** Winding Diameter 0.2mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	33.7036	33.357	34.5663	34.5663	33.3036	34.4663
Voltage (V)	47.65	47.65	47.65	47.65	47.25	47.55
Speed (RPM)	450.148	449.963	435.007	435.007	449.748	434.907
Power loss (W)	116.816	117.534	175.366	175.565	116.416	175.465
Efisiensi (%)	87.9517	92.3639	89.4537	89.1537	87.5517	89.0537
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1616.816	1617.534	1675.366	1675.565	1616.416	1675.465

Optimasi awal digunakan adalah diameter wire 0.2mm. Parameter dimasukkan pada optimasi ANN menghasilkan data sebagai berikut. Nilai Power In tertinggi didapatkan pada type slot nomor 4 dengan nilai 1675.565 watt. Untuk nilai terendah didapatkan pada tipe slot nomor 5 dengan nilai 1616.416 watt.

**Tabel 14.** Winding Diameter 0.3mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	33.8536	33.507	34.7163	34.7163	33.4536	34.6163
Voltage (V)	47.8	47.8	47.8	47.8	47.4	47.7
Speed (RPM)	450.298	450.113	435.157	435.157	449.898	435.057
Power loss (W)	116.966	117.684	175.516	175.715	116.566	175.615
Efisiensi (%)	88.1017	92.5139	89.6037	89.3037	87.7017	89.2037
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1616.966	1617.684	1675.516	1675.715	1616.566	1675.615

Optimasi kedua digunakan adalah diameter wire 0.3mm. Parameter dimasukkan pada optimasi ANN menghasilkan data sebagai berikut. Nilai Power In tertinggi didapatkan pada type slot nomor 4 dengan nilai 1675.715watt. Untuk nilai terendah didapatkan pada tipe slot nomor 3 dengan nilai 1616.516 watt.

**Tabel 15.** Winding Diameter 0.4mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	33.9536	33.607	34.8163	34.8163	33.5536	34.7163
Voltage (V)	47.9	47.9	47.9	47.9	47.5	47.8
Speed (RPM)	450.398	450.213	435.257	435.257	449.998	435.157
Power loss (W)	117.066	117.784	175.616	175.815	116.666	175.715
Efisiensi (%)	88.2017	92.6139	89.7037	89.4037	87.8017	89.3037
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1617.066	1617.784	1675.616	1675.815	1616.666	1675.715

Optimasi kedua digunakan adalah diameter wire 0.4mm. Parameter dimasukan pada optimasi ANN menghasilkan data sebagai berikut. Nilai Power In tertinggi didapatkan pada type slot nomor 4 dengan nilai 1675.815 watt. Untuk nilai terendah didapatkan pada tipe slot nomor 5 dengan nilai 1616.566 watt.

**Tabel 16.** Winding Diameter 0.5mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	33.9786	33.632	34.8413	34.8413	33.5786	34.7413
Voltage (V)	47.925	47.925	47.925	47.925	47.525	47.825
Speed (RPM)	450.423	450.238	435.282	435.282	450.023	435.182
Power loss (W)	117.091	117.809	175.641	175.84	116.691	175.74
Efisiensi (%)	88.2267	92.6389	89.7287	89.4287	87.8267	89.3287
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1617.091	1617.809	1675.641	1675.84	1616.691	1675.74

Optimasi kedua digunakan adalah diameter wire 0.5mm. Parameter dimasukan pada optimasi ANN menghasilkan data sebagai berikut. Nilai Power In tertinggi didapatkan pada type slot nomor 4 dengan nilai 1675.845watt. Untuk nilai terendah didapatkan pada tipe slot nomor 5 dengan nilai 1616.691 watt.

**Tabel 17. Winding Diameter 0.6mm**

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	34.0536	33.707	34.9163	34.9163	33.6536	34.8163
Voltage (V)	48	48	48	48	47.6	47.9
Speed (RPM)	450.498	450.313	435.357	435.357	450.098	435.257
Power loss (W)	117.166	79.2915	175.716	175.915	116.766	175.815
Efisiensi (%)	88.3017	94.7139	89.8037	89.5037	87.9017	89.4037
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1617.166	1579.2915	1675.716	1675.915	1616.766	1675.815

Optimasi kedua digunakan adalah diameter wire 0.6mm. Parameter dimasukkan pada optimasi ANN menghasilkan data sebagai berikut. Nilai Power In tertinggi didapatkan pada type slot nomor 6 dengan nilai 1675.815 watt. Untuk nilai terendah didapatkan pada tipe slot nomor 2 dengan nilai 1579.2915watt.

**Tabel 18. Winding Diameter 0.7mm**

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	34.1536	33.807	35.0163	35.0163	33.7536	34.9163
Voltage (V)	48.1	48.1	48.1	48.1	47.7	48
Speed (RPM)	450.598	450.413	435.457	435.457	450.198	435.357
Power loss (W)	117.266	62.7915	175.816	176.015	116.866	175.915
Efisiensi (%)	88.4017	95.8139	89.9037	89.6037	88.0017	89.5037
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1617.266	1562.7915	1675.816	1676.015	1616.866	1675.915

Optimasi kedua digunakan adalah diameter wire 0.7mm. Parameter dimasukkan pada optimasi ANN menghasilkan data sebagai berikut. Nilai Power In tertinggi didapatkan pada type slot nomor 4 dengan nilai 1676.015watt. Untuk nilai terendah didapatkan pada tipe slot nomor 2 dengan nilai 1562.7915 watt.

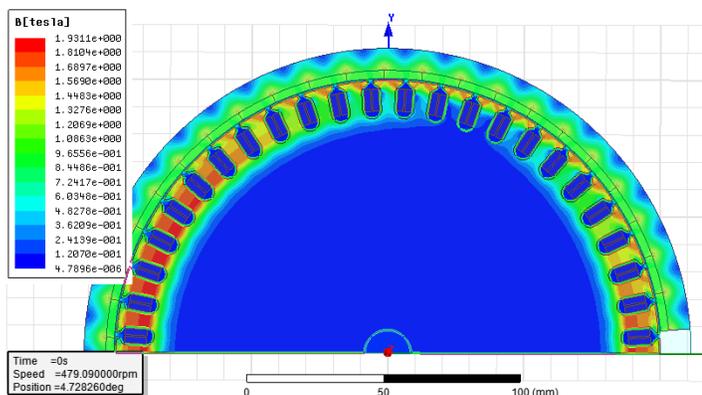
**Tabel 19.** Winding Diameter 0.8mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	34.0536	33.707	34.9163	34.9163	33.6536	34.8163
Voltage (V)	48	48	48	48	47.6	47.9
Speed (RPM)	450.498	450.313	435.357	435.357	450.098	435.257
Power loss (W)	117.166	19.2915	175.716	175.915	116.766	175.815
Efisiensi (%)	88.3017	98.7139	89.8037	89.5037	87.9017	89.4037
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1617.166	1519.2915	1675.716	1675.915	1616.766	1675.815

Optimasi kedua digunakan adalah diameter wire 0.8mm. Parameter dimasukkan pada optimasi ANN menghasilkan data sebagai berikut. Nilai Power In tertinggi didapatkan pada type slot nomor 4 dengan nilai 1675.915watt. Untuk nilai terendah didapatkan pada tipe slot nomor 2 dengan nilai 1519.2912 watt.

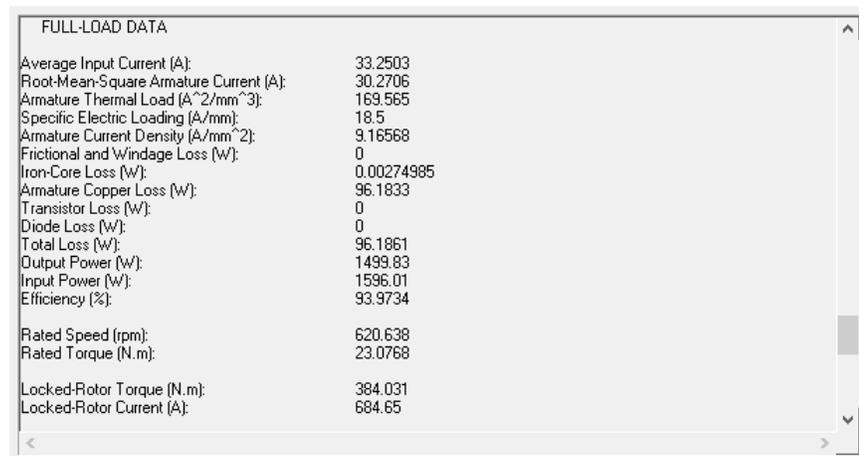
### 4.3 Simulasi WHM 1.5KW

Simulasi untuk mencari hasil power dan efisiensi dari motor WHM 1.5KW dengan menurunkan data dari proses ANN. Dari optimasi didapatkan nilai maksimal pada nilai diameter 0.6mm untuk wire dengan type slot nomor 2. Jumlah slot dan pole dari simulasi ini dibuat sama dengan parameter dari WHM 1.5KW existing.



**Gambar 46.** SImulasi WHM 1.5KW Baru

Pada gambar 46, simulasi dilakukan dengan kecepatan 479 RPM. Posisi capture gambar yang ditunjukkan adalah 4.728deg terhadap posisi awal. Dari hasil simulasi didapatkan nilai mendekati optimasi ANN yang telah dilakukan. Pada bagian stator mengalami lonjakan nilai untuk magnetic field sebesar 1.9311e. Nilai terendah yang ada pada bagian tangan stator dengan nilai magnetic field 4.789e-008.



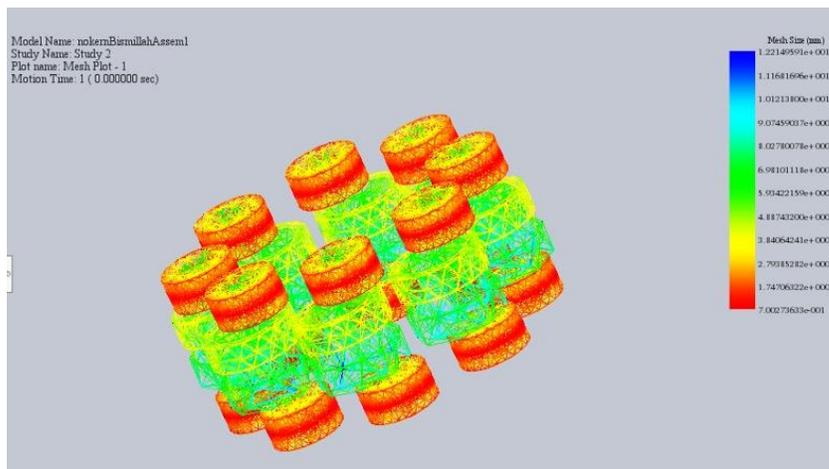
FULL-LOAD DATA	
Average Input Current (A):	33.2503
Root-Mean-Square Armature Current (A):	30.2706
Armature Thermal Load (A <sup>2</sup> /mm <sup>3</sup> ):	169.565
Specific Electric Loading (A/mm):	18.5
Armature Current Density (A/mm <sup>2</sup> ):	9.16568
Frictional and Windage Loss (W):	0
Iron-Core Loss (W):	0.00274985
Armature Copper Loss (W):	96.1833
Transistor Loss (W):	0
Diode Loss (W):	0
Total Loss (W):	96.1861
Output Power (W):	1499.83
Input Power (W):	1596.01
Efficiency (%):	93.9734
Rated Speed (rpm):	620.638
Rated Torque (N.m):	23.0768
Locked-Rotor Torque (N.m):	384.031
Locked-Rotor Current (A):	684.65

**Gambar 47.** Data hasil simulasi setelah proses optimasi

Dari hasil simulasi didapatkan data maksimal setiap parameter. Arus yang dibutuhkan pada WHM 30.2706 Ampere. Output power sebesar 1499.83 Watt, Input power sebesar 1596.01 Watt. Total loss power 96.1861 Watt, Specific electric load 169.565 A<sup>2</sup>/mm<sup>3</sup>, armature current density 9.16568 A/mm<sup>2</sup>. Kecepatan maksimum untuk power yang dihasilkan tercapai pada 620RPM dengan torsi 23.0768 N.m. Efisiensi dari motor didapatkan 93.97%. Nilai tersebut meningkat dibandingkan dengan nilai optimasi.

#### 4.4 Simulasi AFPMSG

Simulasi AFPMSG ini menggunakan software SOLIDWORK dengan tambahan EMSworks. Software ini menghasilkan data berupa nilai maksimum tegangan yang dihasilkan dari pembuatan AFPMSG. Rotasi dilakukan magnet dengan penggantian data dari 4 magnet sampai dengan 8 magnet. Sama dengan coil dilakukan perubahan jumlah dari 4 coil sampai dengan 8 coil. Ditunjukkan pada gambar 51, simulasi akhir yang digunakan untuk AFPMSG dengan 8 pasang magnet dengan 8 coil.



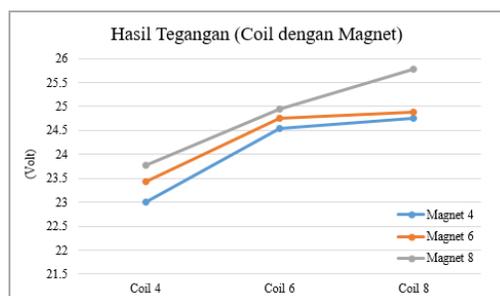
**Gambar 48.** Simulasi AFPMSG

Data output tegangan pada simulasi generator dilihat pada tabel 20. Untuk tegangan terendah dihasilkan pada coil 4 dengan magnet 4 yaitu 23 Volt AC. Kemudian nilai selanjutnya adalah coil 4 dengan magnet 6 menghasilkan 23.43 Volt AC. Apabila diperhatikan dari simulasi, semakin banyak jumlah coil, maka tegangan juga semakin tinggi. Untuk nilai tertinggi dihasilkan pada coil 8 dengan magnet 8 pasang yaitu 25.78 Volt AC.

**Tabel 20.** Data output simulasi AFPMSG

Coil	Magnet N50	Output (VAC)
4	4	23.00
6	4	24.53
8	4	24.76
4	6	23.43
6	6	24.76
8	6	24.88
4	8	23.78
6	8	24.94
8	8	25.78

Grafik hasil tegangan simulasi ditunjukkan pada gambar 49. Magnet berpasangan 4 menggunakan warna biru dimana saat coil berjumlah 4 nilai tegangan 23.00 volt, saat coil berjumlah 6 nilai tegangan 23.43 volt, dan saat coil berjumlah 8 nilai tegangan 23.78 volt sesuai dengan AFPM Micro (Wirtayasa & Hsiao, 2021). Magnet berpasangan 6 menggunakan warna oranye dimana saat coil berjumlah 4 nilai tegangan 24.53 volt, saat coil berjumlah 6 nilai tegangan 24.76 volt, dan saat coil berjumlah 8 nilai tegangan 24.94 volt. Magnet berpasangan 8 menggunakan warna abu-abu dimana saat coil berjumlah 4 nilai tegangan 24.76 volt, saat coil berjumlah 6 nilai tegangan 24.84 volt, dan saat coil berjumlah 8 nilai tegangan 25.78 volt. Sesuai dengan penelitian (Pirzad et al., 2021) jumlah magnet dan coil mempengaruhi tegangan output yang dihasilkan.



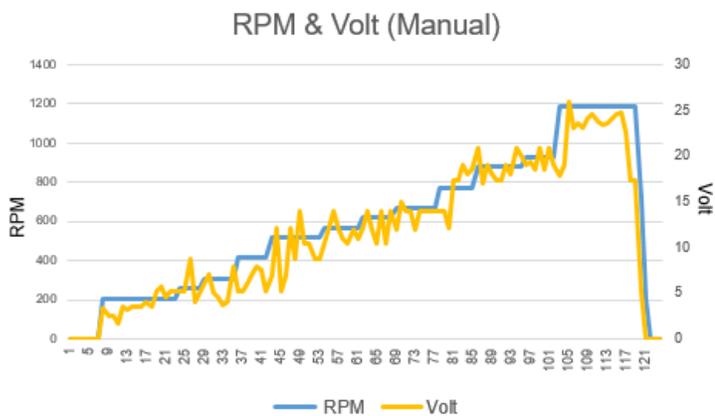
**Gambar 49.** Grafik hasil simulasi

Dari hasil simulasi, dibuat prototype untuk mengetahui hasil secara real dari AFPMSG. Prototype ini dibuat menggunakan cover dari 3D print (Minaz & Çelebi, 2017) sehingga ukuran sesuai dengan bentuk simulasi. Magnet yang digunakan adalah jenis neomidium dan coil menggunakan 0.3mm. Bagian coil disambung satu sama lain secara menyilang untuk menghasilkan tegangan AC. Pada gambar 52 menunjukkan jumlah magnet 8 pasang dengan coil sebanyak 8 buah.



**Gambar 50.** Proses pembuatan coil dan pemasangan magnet

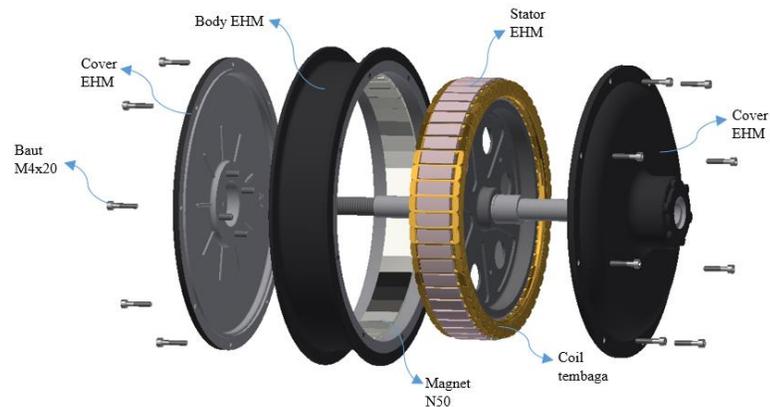
Grafik hasil prototype dilakukan pengambilan data. System yang digunakan adalah merubah kecepatan putaran dari rotor, kemudian data dibaca menggunakan system yang telah dijelaskan pada sub bab 3. Warna biru merukana nilai kecepatan (RPM) pada AFPMSG dan warna oranye merupakan tegangan (Volt AC).



**Gambar 51.** Plot data AFPMSG

Hasil ditunjukkan pada gambar 51, dimana nilai tegangan tidak berubah ketika putaran rotor di RPM 200 (Minaz & Çelebi, 2017). Peningkatan ditunjukkan pada saat RPM 500 mencapai tegangan 12 Volt AC. Nilai maksimal ditunjukkan pada RPM 700 sampai dengan RPM 1000 dengan tegangan output mencapai 24 Volt AC. Penelitian ini berhubungan dengan penelitian (Laxminarayan et al., 2017) dimana nilai kecepatan mempengaruhi tegangan output yang dihasilkan pada generator axial. Tegangan akan stabil saat kecepatan berada pada 1200 RPM.

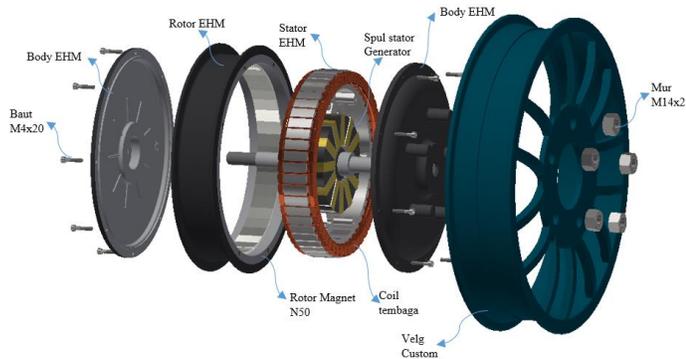
#### 4.5 Proses Drawing



**Gambar 52.** Desain EHM 1.5KW sebagai referensi

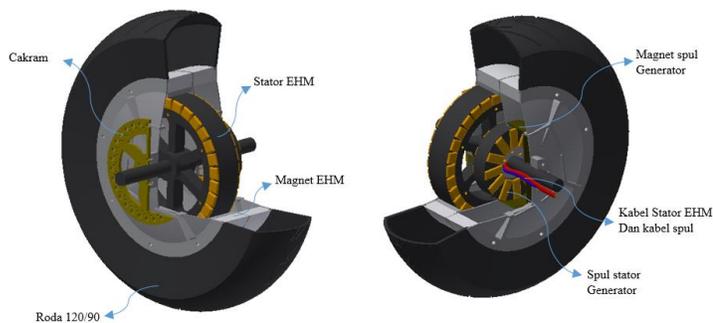
Desain asli didapatkan dari pengukuran setiap komponen dari WHM 1.5KW di pasaran. Proses ini menghasilkan pengetahuan adanya semua komponen untuk merancang sebuah WHM. Komponen utama dari WHM adalah stator, rotor dan juga cover pelindung. Bagian vital tersebut sudah dilakukan simulasi dan menghasilkan nilai efisiensi terbaik. Beberapa perubahan dilakukan pada desain dari WHM 1.5KW yaitu bagian slot menjadi tipe 2, dan juga penambahan AFPMSG untuk system charging dari motor.

Komponen yang berubah dari desain adalah stator, dan cover motor. Untuk bagian dimensi rotor disamakan dengan WHM 1.5KW dipasaran. Desain dibuat dengan beberapa konsep untuk menghasilkan proses fabrikasi paling mudah dengan tujuan menurunkan nilai cost produksi.



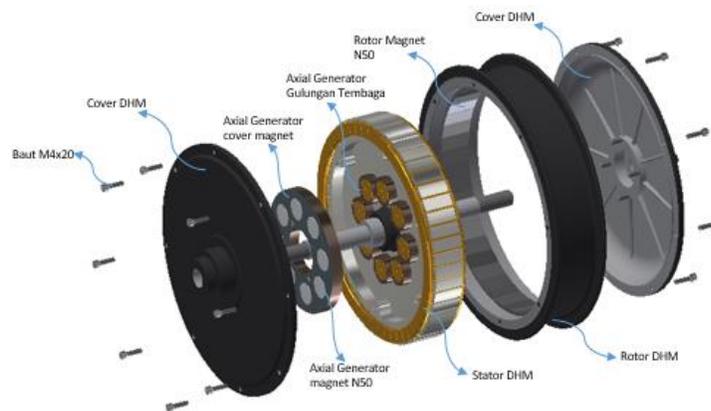
**Gambar 53.** Konsep 1 dengan tambahan velg sistem charging radial

Konsep 1 dijelaskan perubahan desain lebih dari 70% dari desain awal. Bagian cover diubah digunakan sebagai rumah Velg sehingga system velg menjadi plug and play. Selanjutnya dibagian stator ditambah system charging radial untuk menghasilkan tegangan listrik. Bagian tengah stator memiliki bentuk yang rumit untuk proses machining. Diameter dari rotor tetap untuk menghasilkan nilai pengujian yang tidak signifikan berubah.



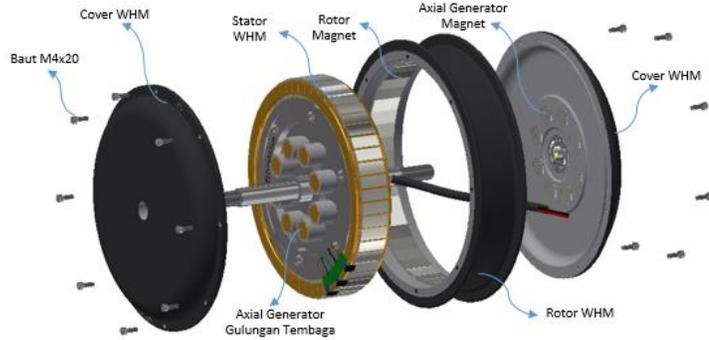
**Gambar 54.** Konsep 2 menggunakan system charging radial, sehingga dimensi lebih besar

Konsep 2 perubahan dibuat sebesar 75%. Perubahan ini meliputi bagian stator, rotor dan juga penambahan system rem cakram. Untuk bagian rotor, digunakan ban sevara langsung untuk menghasilkan WHM yang rigit. Kemudian dimensi dari motor juga bertambah karena rotor mengikuti lebar tapak dari ban. Stator dibuat sesuai dengan desain awal untuk mengurangi proses machining, namun bagian charging yang menggunakan spul dan magnet.



**Gambar 55.** Konsep 3 menggunakan axial generator, dengan merubah bagian body kern (Stator) tanpa mengurangi kekuatan EHM 1.5KW

Konsep 3 memiliki perubahan kurang dari 50%. Perubahan tersebut adalah bagian stator dan juga cover. Bagian stator didesain untuk menambah coil dari AFPMSG. Bahan yang digunakan adalah menjadi satu bagian dari kern WHM. Kekurangan dari penggunaan silicon steel yang full menghasilkan magnetic field ketika rotor berputar dan coil menghasilkan listrik. Untuk bagian cover ditempel dua buah magnet cover untuk AFPMSG. Desain ini sederhana namun semua tercover mejadi satu.



**Gambar 56.** Konsep Terpilih untuk EHM 1.5KW upgrade Axial Flux Generator

Konsep terpilih memiliki perubahan kurang dari 50%. Perubahan tersebut adalah bagian stator dan juga cover. Bagian stator didesain untuk menambah coil dari AFPMSG. Bahan yang digunakan adalah menjadi satu bagian dari kern WHM. Kekurangan dari penggunaan silicon steel yang full menghasilkan magnetic field ketika rotor berputar dan coil menghasilkan listrik. Untuk bagian cover ditempel dua buah magnet cover untuk AFPMSG. Desain ini sederhana namun semua tercover mejadi satu.

**Tabel 4.** Komponen yang diterapkembangkan

Nomor urut melepas komponen	Nama Komponen	Proses Bongkar	Proses Pembuatan
1	Baut M4x20 bawah	Menggunakan kunci L	Menggunakan mesin Bubut
2	Cover bawah EHM 1.5KW	Tarik ke bawah cover	Menggunakan CNC Milling
3	Baut M4x20 atas	Menggunakan kunci L	Menggunakan mesin Bubut
4	Cover atas EHM 1.5KW	Angkat ke atas cover	Menggunakan CNC Milling
5	Rotor Axial Generator atas	Angkat ke atas rotor	Menggunakan CNC Milling
6	Rotor Axial Generator bawah	Tarik ke bawah rotor	Menggunakan CNC Milling
7	Rotor EHM 1.5KW	Gunakan mesin Pon untuk melepas	Menggunakan CNC Turning (Body) dan penempelan magnet N50 manual
8	Coil Axial Generator	Putar bagian cover coil untuk melepas	Menggunakan CNC Turning (cover) dan winding manual
9	Stator EHM 1.5KW	Lepas snap ring pada shaft kemudian didorong dengan mesin Pon	Menggunakan Laser Fiber CNC (Kern) dan winding manual
10	Shaft 17mm EHM 1.5KW	Gunakan mesin Pon untuk melepas dari stator EHM 1.5KW	Menggunakan CNC Turning

#### 4.6 Fabrikasi WHM 1.5KW



**Gambar 57.** Pembuatan Stator menggunakan Laser Fiber

Proses fabrikasi untuk stator dikerjakan dengan laser fiber. Bahan yang digunakan untuk pembuatan stator adalah silicon steel. Bahan ini digunakan karena hasil dari proses magnetic field tinggi. Proses dikerjakan di bengkel SKD untuk mempermudah assembly seluruh komponen. Dapat dilihat pada gambar 59, proses laser dilakukan secara presisi dengan nilai toleransi 0.2mm. Sehingga nilai diameter 235mm dibuat gambar 235.2mm untuk menghasilkan dimensi yang diinginkan.



**Gambar 58.** Stator sebelum diassembly

Hasil proses laser fiber dapat dilihat pada gambar 60. Bagian tengah dari proses laser dibuat lubang sebanyak 6 dengan diameter 5mm, tujuannya untuk menggabungkan semua silicon steel sehingga mudah untuk proses fabrikasi selanjutnya. Bagian tengah dibuat lubang untuk bagian cover AFPMSG dan stator agar tidak mempengaruhi medan magnet pada WHM 1.5KW.



**Gambar 59.** Bagian stator untuk cover AFPMSG gulungan tembaga

Bagian tengah dari stator ditunjukkan pada gambar 59. Bahan yang digunakan adalah aluminium dural dengan proses CNC Milling. Bahan ini penghantar magnet lemah atau isolator yang baik ketika digunakan sebagai cover stator dan coil AFPMSG. Dibentuk menjadi 2 lapis untuk bagian atas dan bagian bawah sehingga mudah untuk proses assembly. Aspek produksi yang dilakukan merujuk pada penelitian (Biček et al., 2019) pemanfaatan ruang dan kehilangan energi karena beberapa bagian yang bergerak.



**Gambar 60.** Winding WHM 1.5KW

Proses winding dilakukan secara manual. Wire yang digunakan adalah diameter 0.6mm dengan jumlah lilitan sebanyak 2x setiap slot. Kegagalan dalam winding terjadi 5 kali, disebabkan ketidakrapatan dalam memasukan didalam slot, penempatan wire pada slot yang salah dan juga winding harus dikerjakan dalam 1 kali

proses agar tidak terjadi kesalahan. Setelah proses selesai, dilakukan proses solder pada bagian ujung sebagai common stator, dan ketiga ujung lainnya disambungkan pada kabel sengan warna merah, hijau dan biru untuk konektor menuju driver BLDC motor.



**Gambar 61.** Pembuatan Cover WHM dengan Magnet AFPMSG

Cover merupakan bagian utama dari WHM untuk melindungi dari air, debu dan sebagai penopang bearing. Proses pembuatan Cover WHM dan magnet AFPMSG menggunakan CNC milling. Proses ini membutuhkan waktu cukup lama untuk menghasilkan komponen yang presisi. Bahan yang dipakai adalah aluminium dural dengan tebal 30mm dan diameter 400mm. bagian cover kanan dan kiri berbeda, sehingga proses drawing untuk bagian cover kanan lebih cekung dibandingkan dengan cover kiri.



**Gambar 62.** Hasil akhir WHM 1.5KW menggunakan Velg

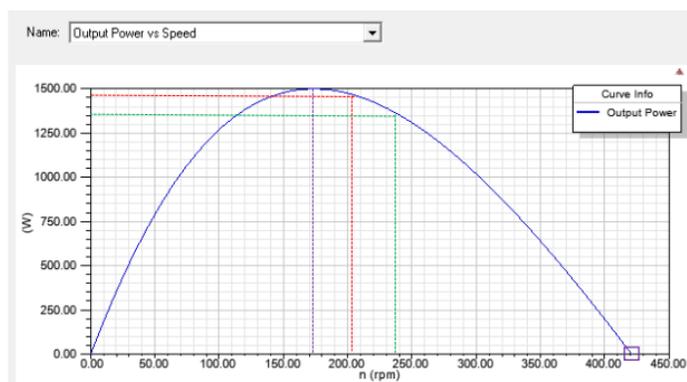
Dapat dilihat pada gambar 62, merupakan WHM yang sudah terakit. Velg terpasang dengan ukuran ring 17 inch dengan ban yang ada di pasaran. WHM ini siap untuk dilakukan ujicoba pada dynotest dan roadtest. Driver motor dan stabilizer tegangan terpasang pada kendaraan sehingga saat pengujian hasil dapat maksimal.

#### 4.7 Uji WHM 1.5KW Baru

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai hasil simulasi dengan pengujian chasis Dyno. Tahap ini merupakan hal yang paling utama dalam mengetahui hasil optimisasi. Langkah awal dalam pengujian ini adalah melihat grafik dari simulasi menggunakan Ansys Maxwell.

##### 4.7.1 Data Simulasi Ansys Maxwell

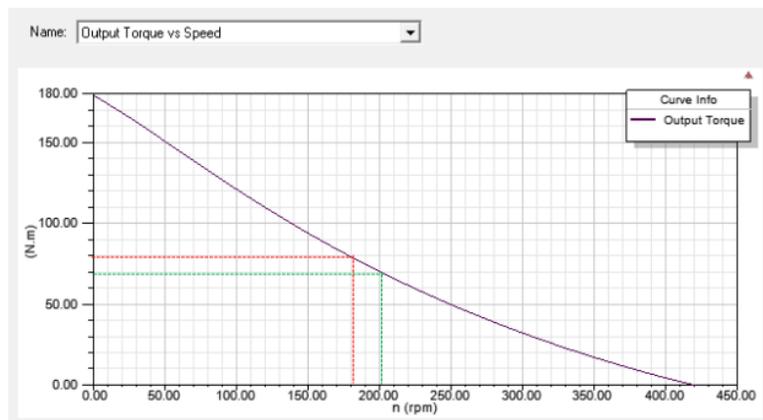
Dapat dilihat pada gambar 63, ditunjukkan grafik power terhadap rpm dari WHM. Nilai maksimal untuk power dari simulasi WHM 1.5KW lama adalah 1500Watt dengan putaran 172 RPM yang ditunjukkan dengan garis warna ungu. Putaran maksimal dari simulasi adalah 420 RPM yang ditunjukkan pada kotak warna ungu.



**Gambar 63.** Grafik Output Power VS RPM simulasi Ansys Maxwell WHM Lama



Perbandingan hasil power untuk speed 1 dan speed 2 ditunjukkan dengan garis warna merah dan hijau. Perbandingan ini dibandingkan dengan melihat nilai power pada pengujian dyno secara real sehingga nilai yang dibandingkan berdasarkan power yang sama, RPM berbeda. Speed 1 untuk warna merah menghasilkan power sebesar 1.45KW pada kecepatan 208 RPM. Speed 2 dengan warna hijau menghasilkan power sebesar 1.36KW pada kecepatan 237 RPM.

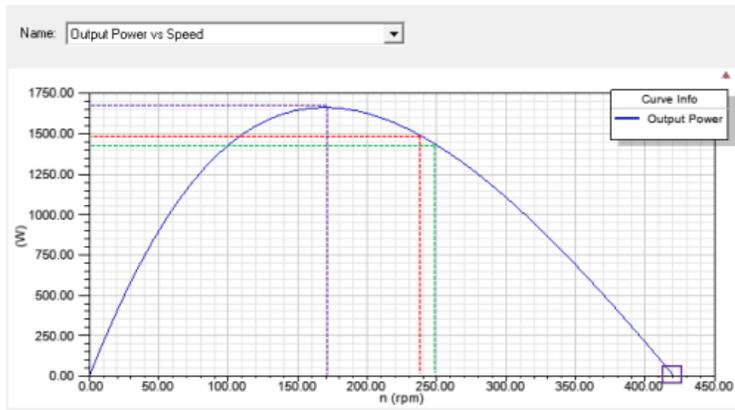


**Gambar 64.** Grafik Output Torque VS RPM simulasi Ansys Maxxwell WHM Lama

Dapat dilihat pada gambar 67 grafik output torsi terhadap kecepatan rpm. Untuk nilai maksimal torsi terjadi pada kecepatan awal yaitu 179 N.m. Nilai tersebut turun seiring dengan bertambahnya kecepatan pada WHM. Nilai torsi terendah berada di kecepatan 420 RPM. Grafik ini dijadikan patokan untuk mengetahui perbedaan torsi WHM baru secara real di lapangan saat diuji Dyno.

Perbandingan hasil untuk torsi speed 1 dan speed 2 ditunjukkan dengan garis warna merah dan hijau. Perbandingan ini dibandingkan dengan melihat nilai torsi pada pengujian dyno secara real sehingga nilai yang dibandingkan berdasarkan torsi yang sama,

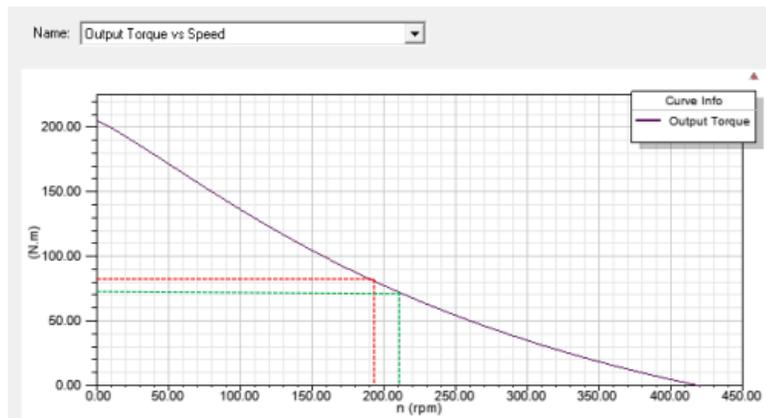
RPM berbeda. Speed 1 untuk warna merah menghasilkan torsi sebesar 79.6N.m pada kecepatan 182 RPM. Speed 2 dengan warna hijau menghasilkan torsi sebesar 68.5 pada kecepatan 201 RPM.



**Gambar 65.** Grafik Output Power VS RPM simulasi Ansys Maxxwell WHM Baru

Setelah dilakukan optimasi, grafik hasil simulasi WHM baru ditunjukkan pada gambar 68. Nilai maksimal untuk power dari simulasi WHM 1.5KW lama adalah 1650Watt dengan putaran 172 RPM yang ditunjukkan dengan garis warna ungu. Putaran maksimal dari simulasi adalah 420 RPM yang ditunjukkan pada kotak warna ungu.

Perbandingan hasil power untuk speed 1 dan speed 2 ditunjukkan dengan gari warna merah dan hijau. Perbandingan ini dibandingkan dengan melihat nilai power pada pengujian dyno secara real sehingga nilai yang dibandingkan bedasarkan power yang sama, RPM berbeda. Speed 1 untuk warna merah menghasilkan power sebesar 1.49KW pada kecepatan 238 RPM. Speed 2 dengan warna hijau menghasilkan power sebesar 1.39KW pada kecepatan 221 RPM.

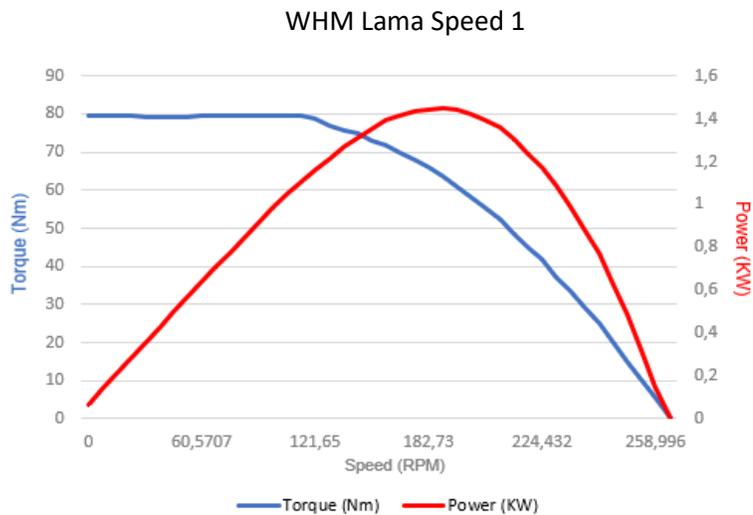


**Gambar 66.** Grafik Output Torque VS RPM simulasi Ansys Maxxwell WHM Baru

Dapat dilihat pada gambar 69 grafik output torsi terhadap kecepatan rpm. Untuk nilai maksimal torsi terjadi pada kecepatan awal yaitu 225 N.m. Nilai tersebut turun seiring dengan bertambahnya kecepatan pada WHM. Nilai torsi terendah berada di kecepatan 420 RPM. Grafik ini dijadikan patokan untuk mengetahui perbedaan torsi WHM baru secara real di lapangan saat diuji Dyno.

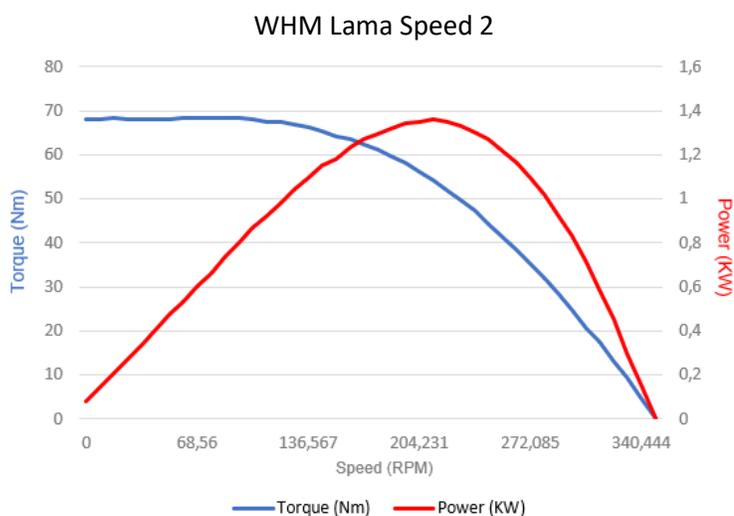
Perbandingan hasil untuk torsi speed 1 dan speed 2 ditunjukkan dengan garis warna merah dan hijau. Perbandingan ini dibandingkan dengan melihat nilai torsi pada pengujian dyno secara real sehingga nilai yang dibandingkan berdasarkan torsi yang sama, RPM berbeda. Speed 1 untuk warna merah menghasilkan torsi sebesar 83.2N.m pada kecepatan 193 RPM. Speed 2 dengan warna hijau menghasilkan torsi sebesar 72.1 pada kecepatan 210 RPM. Sesuai dengan desain dan pemodelan (Meng et al., 2021) mengubah bentuk dan dimensi stator dan rotor dapat meningkatkan kinerja daya dari motor listrik.

#### 4.7.2 Data Uji Dyno



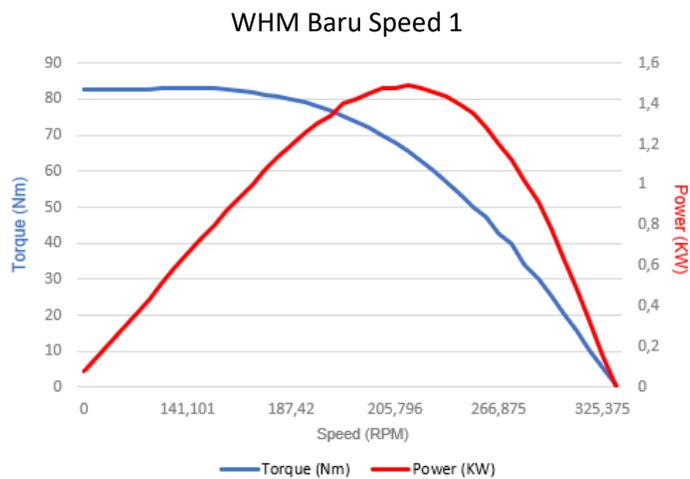
**Gambar 67.** Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW lama speed 1

Pada pengujian dyno didapatkan data untuk speed 1 WHM lama. Data yang dihasilkan adalah nilai torsi dan power output. Dilihat pada gambar 67, speed maksimal bernilai 268 RPM, kemudian untuk torsi grafik berwarna biru didapatkan nilai sebesar 79.6 N.m pada kecepatan 127 RPM, dan nilai Power dengan warna oranye 1.45 KW saat kecepatan 198 RPM.



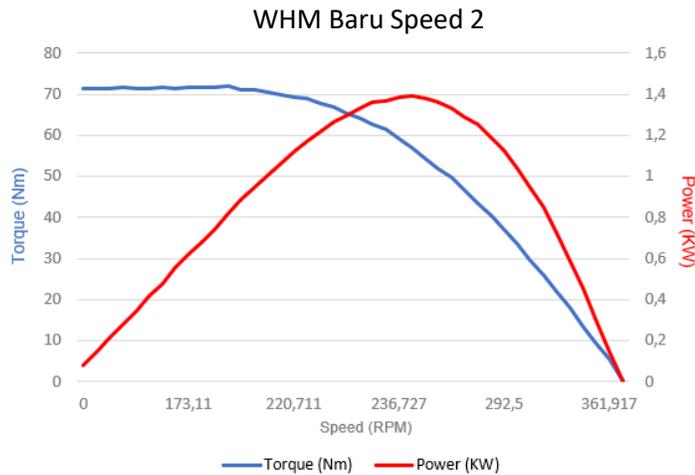
**Gambar 68.** Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW lama speed 2

Pada pengujian dyno didapatkan data untuk speed 2 WHM lama. Data yang dihasilkan adalah nilai torsi dan power output. Dilihat pada gambar 68, speed maksimal bernilai 357 RPM, kemudian untuk torsi grafik berwarna biru didapatkan nilai sebesar 68.5 N.m pada kecepatan 153 RPM, dan nilai Power dengan warna oranye 1.36 KW saat kecepatan 221 RPM.



**Gambar 69.** Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW baru speed 1

Pada pengujian dyno didapatkan data untuk speed 1 WHM baru. Data yang dihasilkan adalah nilai torsi dan power output. Dilihat pada gambar 72, speed maksimal bernilai 340 RPM, kemudian untuk torsi grafik berwarna biru didapatkan nilai sebesar 83.2 N.m pada kecepatan 152 RPM, dan nilai Power dengan warna oranye 1.49 KW saat kecepatan 223 RPM.



**Gambar 70.** Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW baru speed 2

Pada pengujian dyno didapatkan data untuk speed 2 WHM baru. Data yang dihasilkan adalah nilai torsi dan power output. Dilihat pada gambar 70, speed maksimal bernilai 380 RPM, kemudian untuk torsi grafik berwarna biru didapatkan nilai sebesar 72.1 N.m pada kecepatan 203 RPM, dan nilai Power dengan warna oranye 1.39 KW saat kecepatan 240 RPM.

#### 4.8 Perbandingan Hasil

Agar lebih mudah dalam menganalisa hasil, dibuat tabel perbandingan antara WHM lama dan WHM baru. Perbandingan ini meliputi data simulasi dan juga data untuk pengujian dyno. Untuk menambah variabel pembanding, digunakan dua buah speed (kecepatan) pada controller dari WHM 1.5KW sehingga menghasilkan data yang lebih valid. Dijelaskan dari tabel 24 sampai dengan tabel 21.

**Tabel 21.** WHM Lama Simulasi

Speed	RPM max	N.m	kW
1	420	79.6@182RPM	1.45@208RPM
2	420	68.5@201RPM	1.36@237RPM

Dari hasil simulasi didapatkan data untuk speed 1 pada tabel 21 dan speed 1 uji dyno pada tabel 24. Pada speed 1 menghasilkan putaran maksimal 420 RPM. Data dibandingkan dengan uji Dyno WHM lama dengan nilai RPM max 268. Perbandingan selanjutnya adalah torsi dari simulasi menghasilkan 79.6N.m pada 182 RPM, torsi pada WHM pengujian Dyno 79.6N.m pada kecepatan 127RPM. Kemudian untuk nilai power simulasi menghasilkan 1.45KW pada kecepatan 208RPM, power pada WHM pengujian Dyno menghasilkan 1.45KW kecepatan 198RPM.

**Tabel 22.** WHM Lama Uji Dyno

Speed	RPM max	N.m	kW	m/s	Solid
1	268	79.6@127RPM	1.45@198RPM	5.16	1.sdp
2	357	68.5@153RPM	1.36@221RPM	6.04	2.sdp

Hal yang sama terjadi pada hasil simulasi didapatkan data untuk speed 2 pada tabel 25 dan speed 2 uji dyno pada tabel 22. Speed 2 menghasilkan putaran maksimal 420 RPM untuk simulasi. Data dibandingkan dengan uji Dyno WHM lama dengan nilai RPM max 357. Perbandingan selanjutnya adalah torsi dari simulasi menghasilkan 68.5N.m pada 201 RPM, torsi pada WHM pengujian Dyno 68.5N.m pada kecepatan 153RPM. Kemudian untuk nilai power simulasi menghasilkan 1.36KW pada kecepatan 237RPM, power pada WHM pengujian Dyno menghasilkan 1.36KW kecepatan 221RPM. Perbedaan speed ini merupakan perbedaan dari penujian dyno yang mengalami losses akibat gaya gesekan.

**Tabel 23.** WHM Baru Simulasi

Speed	RPM max	N.m	kW
1	420	83.2@193RPM	1.49@238RPM
2	420	72.1@210RPM	1.39@249RPM

Dari hasil simulasi didapatkan data untuk speed 1 pada tabel 24 dan speed 1 uji dyno pada tabel 25. Pada speed 1 menghasilkan putaran maksimal 420 RPM. Data dibandingkan dengan uji Dyno WHM lama dengan nilai RPM max 340. Perbandingan selanjutnya adalah torsi dari simulasi menghasilkan 83.2N.m pada 193 RPM, torsi pada WHM pengujian Dyno 83.2N.m pada kecepatan 152RPM. Kemudian untuk nilai power simulasi menghasilkan 1.49KW pada kecepatan 238RPM, power pada WHM pengujian Dyno menghasilkan 1.49KW kecepatan 223RPM. Desain dan pemodelan untuk wheel hub motor mengalami peningkatan (Meng et al., 2021) dibandingkan dengan desain awal.

**Tabel 24.** WHM Baru Uji Dyno

Speed	RPM max	N.m	kW	m/s	Solid
1	340	83.2@152RPM	1.49@223RPM	5.65	12.sdp
2	380	72.1@203RPM	1.39@240RPM	6.12	13.sdp

Hal yang sama terjadi pada hasil simulasi didapatkan data untuk speed 2 pada tabel 24 dan speed 2 uji dyno pada tabel 27. Speed 2 menghasilkan putaran maksimal 420 RPM untuk simulasi. Data dibandingkan dengan uji Dyno WHM lama dengan nilai RPM max 380. Perbandingan selanjutnya adalah torsi dari simulasi menghasilkan 72.1N.m pada 210 RPM, torsi pada WHM pengujian Dyno 72.1N.m pada kecepatan 203RPM. Kemudian untuk nilai power simulasi menghasilkan 1.39KW pada kecepatan 249RPM, power pada WHM pengujian Dyno menghasilkan 1.39KW kecepatan 240RPM. Perbedaan speed ini merupakan perbedaan dari penujian dyno yang mengalami losses akibat gaya gesekan. Daya keluaran dan efisiensi motor roda dalam dipengaruhi oleh variasi daya masukan (Chanpeng & Hachanont, 2014).

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dalam Tesis yang telah dikerjakan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Menghasilkan desain WHM daya 1.5KW baru dengan optimasi ANN bentuk slot yang digunakan berdasarkan simulasi Ansys Maxwell didapatkan Efisiensi berdasarkan power dengan nilai maksimum pada 94% kecepatan 405rpm
2. Desain WHM 1.5KW baru terintegrasi dengan AFPMSG menghasilkan nilai tegangan 24volt AC saat kecepatan 1000rpm. Namun kecepatan maksimum pada WHM adalah 380RPM sehingga tegangan yang dikeluarkan dibawah 5volt
3. Refabrikasi WHM 1.5KW baru, menghasilkan daya, torsi, dan rpm lebih meningkat dibandingkan dengan hasil uji dyno WHM lama.
4. Pada implementasi elektrik skuter dan menguji di jalan raya menghasilkan kecepatan maksimum 50km/jam dengan catatan baterai dalam keadaan penuh

#### **5.2 Saran**

Pengembangan WHM 1.5KW meliputi beberapa hal yang perlu diperhatikan:

1. Jika ingin melakukan proses simulasi dan fabrikasi, perhatikan diameter wire AWG untuk menghasilkan nilai torsi, power dan speed yang sama antara implementasi dan simulasi

- 
2. Dalam mendesain type slot harus mempertimbangkan jenis plat silicon steel yang digunakan sehingga magnetic field dapat bekerja maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Biček, M., Pepelnjak, T., & Pušavec, F. (2019). Production aspect of direct drive in-wheel motors. *Procedia CIRP*, 81, 1278–1283.  
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.308>
- Bouaziz, O., Jaafar, I., & Ammar, F. B. (2018). *Performance analysis of radial and axial flux PMSM based on 3D FEM modeling*.  
<https://doi.org/10.3906/elk-1708-68>
- Brake and pneumatic wheel performance assessment – A new test rig. (2020).  
*Measurement*, 150, 107042.  
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107042>
- Chanpeng, W., & Hachanont, P. (2014). Design of Efficient In-Wheel Motor for Electric Vehicles. *Energy Procedia*, 56, 525–531.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.188>
- Djebbari, S., Frédéric Charpentier, J., Sculler, F., Benbouzid, M., & Guemard, S. (2012). Rough Design of a Double-Stator Axial Flux Permanent Magnet Generator for a Rim-Driven Marine Current Turbine. *IEEE ISIE 2012*, 1450–1455. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00717470>
- Drljača, P. M., Vincent, F., Besse, P.-A., & Popović, R. S. (2002). Design of planar magnetic concentrators for high sensitivity Hall devices. *Sensors and Actuators A: Physical*, 97–98, 10–14.  
[https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(01\)00866-4](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(01)00866-4)
- Gerlando, A., Foglia, G., Iacchetti, M., & Perini, R. (2011). Axial Flux PM Machines With Concentrated Armature Windings: Design Analysis and

- Test Validation of Wind Energy Generators. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. <https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2081956>
- Hendershot, J. R., & Miller, T. J. E. (1994). *Design of brushless permanent-magnet motors*. Magna Physics Pub. ; Clarendon Press.
- Hsiao, C.-Y., Yeh, S.-N., & Hwang, J.-C. (2014). Design of High Performance Permanent-Magnet Synchronous Wind Generators. *Energies*, 7(11), 7105–7124. <https://doi.org/10.3390/en7117105>
- Huang, S., Luo, J., Leonardi, F., & Lipo, T. A. (1999). A comparison of power density for axial flux machines based on general purpose sizing equations. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 14(2), 185–192. <https://doi.org/10.1109/60.766982>
- Kappatou, J. C., Zalokostas, G. D., & Spyratos, D. A. (2017). 3-D FEM Analysis, Prototyping and Tests of an Axial Flux Permanent-Magnet Wind Generator. *Energies*, 10(9), 1269. <https://doi.org/10.3390/en10091269>
- Laxminarayan, S. S., Singh, M., Saifee, A. H., & Mittal, A. (2017). Design, modeling and simulation of variable speed Axial Flux Permanent Magnet Wind Generator. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 19, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.01.004>
- Luo, X., & Niu, S. (2016). Maximum Power Point Tracking Sensorless Control of an Axial-Flux Permanent Magnet Vernier Wind Power Generator. *Energies*, 9(8), 581. <https://doi.org/10.3390/en9080581>

- Mahmoudi, A., Abd Rahim, N., & Hew, W. (2011). Axial-flux permanent-magnet machine modeling, design, simulation and analysis. *Scientific Research and Essays*, 6, 2525–2549.
- Marignetti, F., Delli Colli, V., & Coia, Y. (2008). Design of Axial Flux PM Synchronous Machines Through 3-D Coupled Electromagnetic Thermal and Fluid-Dynamical Finite-Element Analysis. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(10), 3591–3601.  
<https://doi.org/10.1109/TIE.2008.2005017>
- Meng, D., Tian, M., Miao, L., Wang, Y., Hu, J., & Gao, B. (2021). Design and modeling of an in-wheel two-speed AMT for electric vehicles. *Mechanism and Machine Theory*, 163, 104383.  
<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2021.104383>
- Minaz, M. R., & Çelebi, M. (2017). Design and analysis of a new axial flux coreless PMSG with three rotors and double stators. *Results in Physics*, 7, 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2016.10.026>
- München, D. D., & Veit, H. M. (2017). Neodymium as the main feature of permanent magnets from hard disk drives (HDDs). *Waste Management*, 61, 372–376. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.032>
- Parviainen, A. (2005). *Design of axial-flux permanent-magnet low-speed machines and performance comparison between radial-flux and axial-flux machines*. <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/31185>
- Pirzad, S., Ghadimi, A. A., Abolmasoumi, A. H., Jabbari, A., & Bagheri, S. (2021). Optimal mixed control of Axial Flux Permanent Magnet

- Synchronous generator wind turbines with modular stator structure. *ISA Transactions*, 115, 153–162.  
<https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.01.001>
- Scowby, S. T., Dobson, R. T., & Kamper, M. J. (2004). Thermal modelling of an axial flux permanent magnet machine. *Applied Thermal Engineering*, 24(2), 193–207.  
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2003.09.001>
- Shazly, J., Wahsh, S., & Yassin, A. (2015). Thermal modeling of an AFPMSM: A review. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 2(1), 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.jesit.2015.03.003>
- Shenoy, K. L., & Kumar, M. S. (2016). Design topology and electromagnetic field analysis of Permanent Magnet Brushless DC motor for electric scooter application. *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*.  
<https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7754942>
- Song, S., Sun, C., Zheng, C., & Song, G. (2020). Research on pure electric vehicle driving motor. *Journal of Physics: Conference Series*, 1650, 022108. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1650/2/022108>
- Topaloglu, I., Nakanishi, Y., Korkmaz, F., & Nakashima, Y. (2016). Axial Flux Permanent Magnet Generator with Low Cogging Torque for Maintenance Free Under Water Power Generating System. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 6(2), 510–519.

- Wang, W., Zhou, S., Mi, H., Wen, Y., Liu, H., Zhang, G., & Guo, J. (2019). Sensitivity Analysis and Optimal Design of a Stator Coreless Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator. *Sustainability*, *11*(5), 1414. <https://doi.org/10.3390/su11051414>
- Wirtayasa, K., & Hsiao, C.-Y. (2021). Performances comparison of axial-flux permanent-magnet generators for small-scale vertical-axis wind turbine. *Alexandria Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.06.074>
- Yadav, H. K., Upadhyay, S. H., & Harsha, S. P. (2013). Study of Effect of Unbalanced Forces for High Speed Rotor. *Procedia Engineering*, *64*, 593–602. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.09.134>
- Zhang, L., Yang, Z., Yu, Y., & Wang, W. (2018). Design of Electric Vehicle Motor Drive and Control System Based on PMSM. *Proceedings of the International Symposium on Big Data and Artificial Intelligence*, 191–196. <https://doi.org/10.1145/3305275.3305313>

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## LAMPIRAN

### 1. Data hasil perhitungan Power dan Torsi

<b>Putaran RPM</b>	<b>Power (watt)</b>	<b>Torsi (Nm)</b>
1000	0	0
964.3	72.03	4.92
928.6	142.43	9.66
892.9	212.83	14.4
857.2	283.23	19.14
821.5	353.63	23.88
785.8	424.03	28.62
750.1	494.43	33.36
714.4	564.83	38.1
678.7	635.23	42.84
643	705.63	47.58
607.3	776.03	52.32
571.6	846.43	57.06
535.9	916.83	61.8
500.2	987.23	66.54
464.5	1057.63	71.28
428.8	1128.03	76.02
393.1	1198.43	80.76
357.4	1268.83	85.5
321.7	1339.23	90.24
286	1190.43	94.98
250.3	1041.63	99.72
214.6	892.83	104.46
178.9	744.03	109.2
143.2	595.23	113.94
107.5	446.43	118.68
71.8	297.63	123.42
36.1	148.83	128.16
0	0	132.9

## 2. Data Proses ANN

### 1.1 Data awal

#### Wire 0.2mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	0,000273	3,64E-05	0,000861	0,000861	0	0,000793
Voltage (V)	0,009781	0,009781	0,009781	0,009781	0,009509	0,009713
Speed (RPM)	0,284206	0,28408	0,273883	0,273883	0,283934	0,273815
Power loss (W)	0,056939	0,057429	0,096859	0,096994	0,056666	0,096926
Efisiensi (%)	0,037259	0,040268	0,038283	0,038079	0,036987	0,038011
Power out (W)	1	1	1	1	1	1
Power in (W)	0,006731	0,018814	0,992023	0,995372	0	0,993689
ANN	0,009612	0,019574	0,9961	0,99616	0,009517	0,98738
Invers	1616,987	1617,579	1675,608	1675,612	1616,982	1675,09

#### Wire 0.3mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	0,000375	0,000139	0,000963	0,000963	0,000102	0,000895
Voltage (V)	0,009884	0,009884	0,009884	0,009884	0,009611	0,009816
Speed (RPM)	0,284309	0,284182	0,273985	0,273985	0,284036	0,273917
Power loss (W)	0,057041	0,057531	0,096961	0,097097	0,056769	0,097029
Efisiensi (%)	0,037362	0,04037	0,038386	0,038181	0,037089	0,038113
Power out (W)	1	1	1	1	1	1
Power in (W)	0,009256	0,021338	0,994548	0,997896	0,002524	0,996214
ANN	0,010231	0,017327	0,9986	0,99752	0,009616	0,99767
Invers	1617,024	1617,446	1675,757	1675,693	1616,987	1675,702

### Wire 0.4mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	0,000443	0,000207	0,001031	0,001031	0,00017	0,000963
Voltage (V)	0,009952	0,009952	0,009952	0,009952	0,009679	0,009884
Speed (RPM)	0,284377	0,284251	0,274054	0,274054	0,284104	0,273985
Power loss (W)	0,05711	0,057599	0,097029	0,097165	0,056837	0,097097
Efisiensi (%)	0,03743	0,040438	0,038454	0,038249	0,037157	0,038181
Power out (W)	1	1	1	1	1	1
Power in (W)	0,010938	0,023021	0,99623	0,999579	0,004207	0,997896
ANN	0,011118	0,015813	0,99853	0,99727	0,009593	0,99752
Invers	1617,077	1617,356	1675,753	1675,678	1616,986	1675,693

### Wire 0.5mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	0,00046	0,000224	0,001048	0,001048	0,000187	0,00098
Voltage (V)	0,009969	0,009969	0,009969	0,009969	0,009696	0,009901
Speed (RPM)	0,284394	0,284268	0,274071	0,274071	0,284121	0,274002
Power loss (W)	0,057127	0,057616	0,097046	0,097182	0,056854	0,097114
Efisiensi (%)	0,037447	0,040455	0,038471	0,038266	0,037174	0,038198
Power out (W)	1	1	1	1	1	1
Power in (W)	0,011359	0,023442	0,996651	1	0,004628	0,998317
ANN	0,011334	0,015414	0,99866	0,99739	0,009584	0,99736
Invers	1617,09	1617,332	1675,76	1675,685	1616,985	1675,683

### Wire 0.6mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	0,000511	0,000275	0,0011	0,0011	0,000239	0,001031
Voltage (V)	0,01002	0,01002	0,01002	0,01002	0,009747	0,009952
Speed (RPM)	0,284445	0,284319	0,274122	0,274122	0,284172	0,274054
Power loss (W)	0,057178	0,031355	0,097097	0,097233	0,056905	0,097165
Efisiensi (%)	0,037498	0,04187	0,038522	0,038317	0,037225	0,038249
Power out (W)	1	1	1	1	1	1
Power in (W)	0,012621	-0,624739	0,997913	1,001262	0,00589	0,999579
ANN	0,012597	-0,62491	1,0013	1,0004	0,00591	0,99958
Invers	1617,165	1579,281	1675,917	1675,864	1616,767	1675,815

### Wire 0.7mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	0,00058	0,000343	0,001168	0,001168	0,000307	0,0011
Voltage (V)	0,010088	0,010088	0,010088	0,010088	0,009816	0,01002
Speed (RPM)	0,284513	0,284387	0,27419	0,27419	0,28424	0,274122
Power loss (W)	0,057246	0,020105	0,097166	0,097301	0,056973	0,097233
Efisiensi (%)	0,037566	0,04262	0,03859	0,038386	0,037293	0,038317
Power out (W)	1	1	1	1	1	1
Power in (W)	0,014304	-0,902405	0,999596	1,002945	0,007573	1,001262
ANN	0,014304	-0,902405	0,999596	1,002945	0,007573	1,001262
Invers	1617,266	1562,792	1675,816	1676,015	1616,866	1675,915

### Wire 0.8mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	0,000511	0,000275	0,0011	0,0011	0,000239	0,001031
Voltage (V)	0,01002	0,01002	0,01002	0,01002	0,009747	0,009952
Speed (RPM)	0,284445	0,284319	0,274122	0,274122	0,284172	0,274054
Power loss (W)	0,057178	-0,009554	0,097097	0,097233	0,056905	0,097165
Efisiensi (%)	0,037498	0,044597	0,038522	0,038317	0,037225	0,038249
Power out (W)	1	1	1	1	1	1
Power in (W)	0,012621	-1,634432	0,997913	1,001262	0,00589	0,999579
ANN	0,012621	-1,634432	0,997913	1,001262	0,00589	0,999579
Invers	1617,166	1519,292	1675,716	1675,915	1616,766	1675,815

## 1.2 Data Invers

Diameter winding 0.2mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	33,7036	33,357	34,5663	34,5663	33,3036	34,4663
Voltage (V)	47,65	47,65	47,65	47,65	47,25	47,55
Speed (RPM)	450,148	449,963	435,007	435,007	449,748	434,907
Power loss (W)	116,816	117,534	175,366	175,565	116,416	175,465
Efisiensi (%)	87,9517	92,3639	89,4537	89,1537	87,5517	89,0537
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1616,816	1617,534	1675,366	1675,565	1616,416	1675,465
Power in (W) ANN	1616,987	1617,579	1675,608	1675,612	1616,982	1675,09

Diameter winding 0.3mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	33,8536	33,507	34,7163	34,7163	33,4536	34,6163
Voltage (V)	47,8	47,8	47,8	47,8	47,4	47,7
Speed (RPM)	450,298	450,113	435,157	435,157	449,898	435,057
Power loss (W)	116,966	117,684	175,516	175,715	116,566	175,615
Efisiensi (%)	88,1017	92,5139	89,6037	89,3037	87,7017	89,2037
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1616,966	1617,684	1675,516	1675,715	1616,566	1675,615
Power in (W) ANN	1617,024	1617,446	1675,757	1675,693	1616,987	1675,702

Diameter winding 0.4mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	33,9536	33,607	34,8163	34,8163	33,5536	34,7163
Voltage (V)	47,9	47,9	47,9	47,9	47,5	47,8
Speed (RPM)	450,398	450,213	435,257	435,257	449,998	435,157
Power loss (W)	117,066	117,784	175,616	175,815	116,666	175,715
Efisiensi (%)	88,2017	92,6139	89,7037	89,4037	87,8017	89,3037
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1617,066	1617,784	1675,616	1675,815	1616,666	1675,715
Power in (W) ANN	1617,077	1617,356	1675,753	1675,678	1616,986	1675,693

Diameter winding 0.5mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	33,9786	33,632	34,8413	34,8413	33,5786	34,7413
Voltage (V)	47,925	47,925	47,925	47,925	47,525	47,825
Speed (RPM)	450,423	450,238	435,282	435,282	450,023	435,182
Power loss (W)	117,091	117,809	175,641	175,84	116,691	175,74
Efisiensi (%)	88,2267	92,6389	89,7287	89,4287	87,8267	89,3287
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1617,091	1617,809	1675,641	1675,84	1616,691	1675,74
Power in (W) ANN	1617,09	1617,332	1675,76	1675,685	1616,985	1675,683

Diameter winding 0.6mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	34,0536	33,707	34,9163	34,9163	33,6536	34,8163
Voltage (V)	48	48	48	48	47,6	47,9
Speed (RPM)	450,498	450,313	435,357	435,357	450,098	435,257
Power loss (W)	117,166	79,2915	175,716	175,915	116,766	175,815
Efisiensi (%)	88,3017	94,7139	89,8037	89,5037	87,9017	89,4037
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1617,166	1579,292	1675,716	1675,915	1616,766	1675,815
Power in (W) ANN	1617,165	1579,281	1675,917	1675,864	1616,767	1675,815

Diameter winding 0.7mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	34,1536	33,807	35,0163	35,0163	33,7536	34,9163
Voltage (V)	48,1	48,1	48,1	48,1	47,7	48
Speed (RPM)	450,598	450,413	435,457	435,457	450,198	435,357
Power loss (W)	117,266	62,7915	175,816	176,015	116,866	175,915
Efisiensi (%)	88,4017	95,8139	89,9037	89,6037	88,0017	89,5037
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1617,266	1562,792	1675,816	1676,015	1616,866	1675,915
Power in (W) ANN	1617,266	1562,792	1675,816	1676,015	1616,866	1675,915

Diameter winding 0.8mm

Parameter	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
Arus (A)	34,0536	33,707	34,9163	34,9163	33,6536	34,8163
Voltage (V)	48	48	48	48	47,6	47,9
Speed (RPM)	450,498	450,313	435,357	435,357	450,098	435,257
Power loss (W)	117,166	19,2915	175,716	175,915	116,766	175,815
Efisiensi (%)	88,3017	98,7139	89,8037	89,5037	87,9017	89,4037
Power out (W)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Power in (W)	1617,166	1519,292	1675,716	1675,915	1616,766	1675,815
Power in (W) ANN	1617,166	1519,292	1675,716	1675,915	1616,766	1675,815

### 3. Program sensor RPM vs Volt ATmega328

```

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
//////////////////////////////////////////////////////////////////
double sensorValue1 = 0;
double sensorValue2 = 0;
int crosscount = 0;
int climb_flag = 0;
int val[100];
int max_v = 0;
double VmaxD = 0;
double VeffD = 0;
double Veff = 0;
//////////////////////////////////////////////////////////////////

// Create the lcd object address 0x27(get it from i2cscanner)
LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 16,2); //
float value=0;
float rev=0;
int rpm;
int oldtime=0;
int time;
void isr() //interrupt service routine
{
rev++;
}

```

```

void setup()
{
  lcd.init (); //initialize LCD
  // Turn on the backlight on LCD.
  lcd.backlight ();
  attachInterrupt(0,isr,RISING); //attaching the interrupt
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL, Clock, Date, Timer, RPM, Volt (AC)");
  Serial.println("RESETTIMER");
}
void loop()
{
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////
  for ( int i = 0; i < 100; i++ ) {
    sensorValue1 = analogRead(A0);
    if (analogRead(A0) > 511) {
      val[i] = sensorValue1;
    }
    else {
      val[i] = 0;
    }
    delay(1);
  }

  max_v = 0;

  for ( int i = 0; i < 100; i++ )
  {
    if ( val[i] > max_v )
    {
      max_v = val[i];
    }
    val[i] = 0;
  }
  if (max_v != 0) {

    VmaxD = max_v;
    VeffD = VmaxD / sqrt(2);
    Veff = (((((VeffD - 420.76) / -90.24) * -210.2) + 210.2)-75)*10.5;

  }
  else {
    Veff = 0;
  }
  //Serial.print("Voltage: ");
  //Serial.println(Veff);
  VmaxD = 0;

  // delay(100);
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```

detachInterrupt(0); //detaches the interrupt
time=millis()-oldtime; //finds the time

rpm=(rev/time)*60000;           //calculates rpm
oldtime=millis();              //saves the current time
rev=0;

int Veffi=(Veff);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
//lcd.print("___TACHOMETER___");
lcd.print( Veffi);
lcd.print(" Volt (AC)");
lcd.print(" ");

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print( rpm);
lcd.print(" RPM");
lcd.print(" ");
attachInterrupt (digitalPinToInterrupt(2), isr, RISING);

Serial.print("DATA, TIME, DATE, TIMER ");
Serial.print(rpm);
Serial.print(" ,");
Serial.print(rpm);
Serial.print(" ,");
Serial.print(Veffi);
Serial.println(" ,");

delay(1000);

```

#### 4. Program Fuzzy Input Time

```
1 //Fuzzy-input-Time
2
3 //Time:
4 //S=-Short
5 //RM=-Rather-Medium
6 //M=-Medium
7 //L=-Long
8 //Fuzzy-Input-RPM
9
10 clf();
11 clear;
12 //xgrid
13
14 xlabel("Input-Variabel-S","fontsize",3,"color","black");
15 //title("Fuzzy-Logic","color","Black","fontsize",4);
16
17
18 //s1
19 x=[0:0.01:205];
20 plot2d(x,(0.0048780487804878*x),2);
21
22 //s1
23 y=[205:0.01:434];
24 plot2d(y,(-0.0043668122270742*y+1.8951965065502),2);
25
26 //rs1
27 a=[205:0.01:434];
28 plot2d(a,(0.0043668122270742*a-0.89519650655022),3);
29 b=[434:0.01:604];
30 plot2d(b,(-0.0058823529411765*b+3.5529411764706),3);
31
32 //me
33 c=[434:0.01:604];
34 plot2d(c,0.0058823529411765*c-2.5529411764706,4);
35
36 //me
37 d=[604:0.01:1000];
38 plot2d(d,(-0.0025252525252525*d+2.5252525252525),4);
39
40 //f
41 dl=[604:0.01:1000];
42 plot2d(dl,(0.0025252525252525*dl-1.5252525252525),6);
43
44 //f
45 f=[1000:0.01:1100];
46 plot2d(f,(0*f+1),6);
47
48 plot(480,0.0058823529411765*480-2.5529411764706,'ro-.')
49 plot(480,-0.0058823529411765*480+3.5529411764706,'ro-.')
50 legends(['Short';'Rather-Short';'Medium';'Long';'Fuzzy-Mbr'],
51 [2,3,4,6-'ro-.'],opt="")
52
```

## 5. Program Fuzzy Input RPM

```
1 //Fuzzy-Input-RPM
2
3 //Speed:-
4 //SL=-Slow
5 //RSL=-Rather-Slow
6 //ME=-Medium
7 //F=-Fast
8
9 //scf(1);-
10 clf();
11 clear;
12 //xgrid
13
14 xlabel("Input-Variabel-R","fontsize",3,"color","black");-
15 //title("Fuzzy-Logic","color","Black","fontsize",4);
16
17
18 //s1
19 x=[0:0.01:205];
20 plot2d(x,(0.0048780487804878*x),2);
21
22 //s1
23 y=[205:0.01:434];
24 plot2d(y,(-0.0043668122270742*y+1.8951965065502),2);
25
26 //rs1
27 a=[205:0.01:434];
28 plot2d(a,(0.0043668122270742*a-0.89519650655022),3);
29 b=[434:0.01:604];
30 plot2d(b,(-0.0058823529411765*b+3.5529411764706),3);
31
32 //me
33 c=[434:0.01:604];
34 plot2d(c,0.0058823529411765*c-2.5529411764706,4);
35
36 //me
37 d=[604:0.01:1000];
38 plot2d(d,(-0.0025252525252525*d+2.5252525252525),4);
39
40 //f
41 dl=[604:0.01:1000];
42 plot2d(dl,(0.0025252525252525*dl-1.5252525252525),6);
43
44 //f
45 f=[1000:0.01:1100];
46 plot2d(f,(0*f+1),6);
47
48 plot(220,0.0043668122270742*220-0.89519650655022,'ro-.')
49 plot(220,-0.0043668122270742*220+1.8951965065502,'ro-.')
50 //legends(['Slow';'Rather-Slow';'Medium';'Fast'],[2,3,4-6],opt="?")
```

## 6. Program Fuzzy Output Charging

```

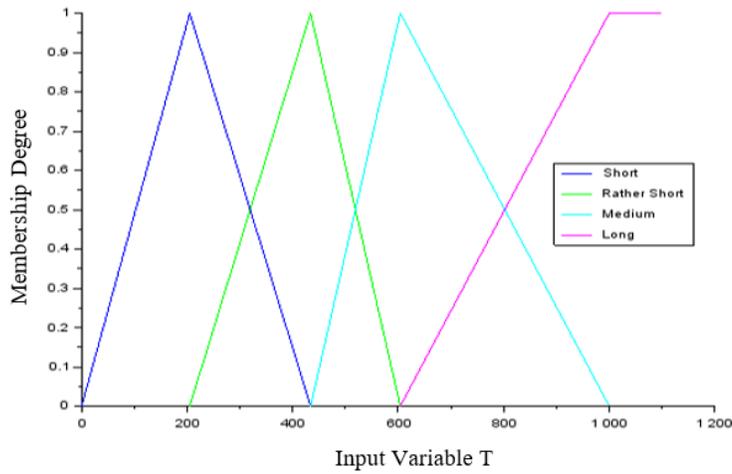
1 //Fuzzy-output-charging
2
3
4
5 clf();
6 clear;
7 //xgrid
8
9 xlabel("Output-Variabel-C","fontsize",3,"color","black");
10 //title("Fuzzy-Logic","color","Black","fontsize",4);
11
12 //SC
13 e=[0:0.01:1];
14 plot2d(e,0*e+1,11);
15 //SC
16 f=[1:0.01:2];
17 plot2d(f,(-1*f+2),11);
18
19 //FC
20 g=[1.5:0.01:2.5];
21 plot2d(g,1*g-1.5,15);
22 //FC
23 h=[2.5:0.01:5];
24 plot2d(h,(0*h+1),15);
25
26 plot(1.3,-1*1.3+2,'ro-.')
27 legends(['Slow-Charging';'Fast-Charging'],[11:15-'ro-.'],opt="?")

```

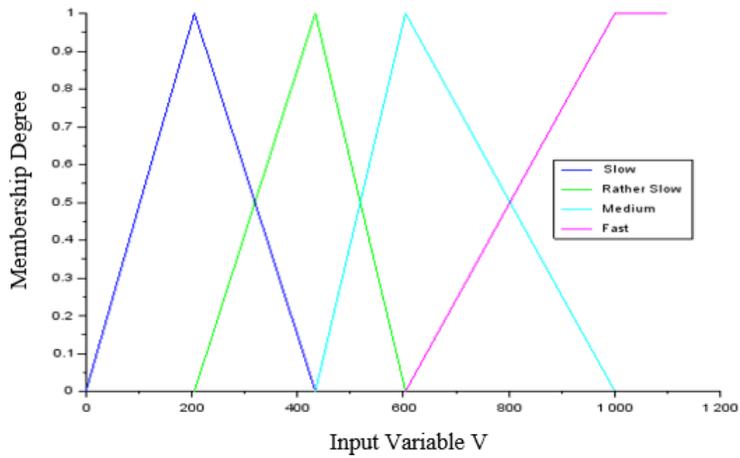
## 7. Fuzzy Rule

Rule		Speed "V"		Time "T"		Output
1		SL		S		SC
2		SL		RM		SC
3		SL		M		SC
4		SL		L		SC
5		RSL		S		SC
6		RSL		RM		SC
7		RSL		M		FC
8	If	RSL	And	L	Then	FC
9		ME		S		SC
10		ME		RM		SC
11		ME		M		FC
12		ME		L		FC
13		F		S		SC
14		F		RM		FC
15		F		M		FC
16		F		L		FC

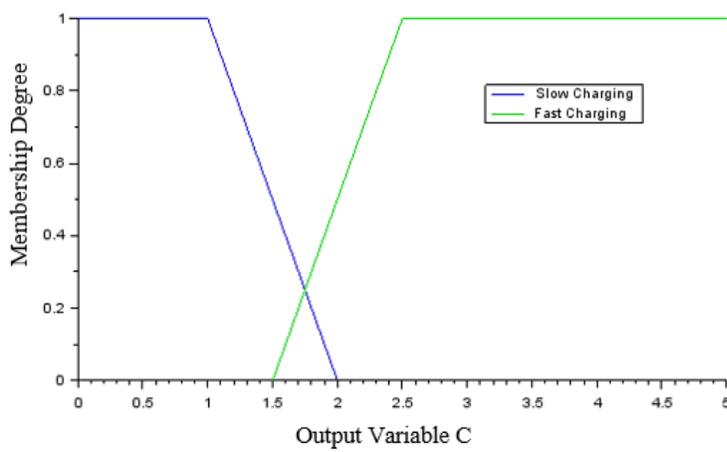
### 6.1 Time (T) input membership function



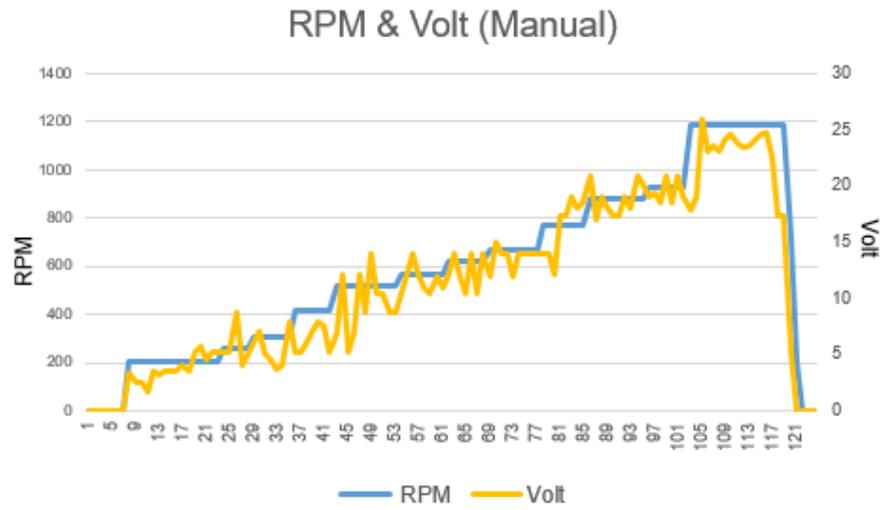
### 6.2 Speed (V) input membership function



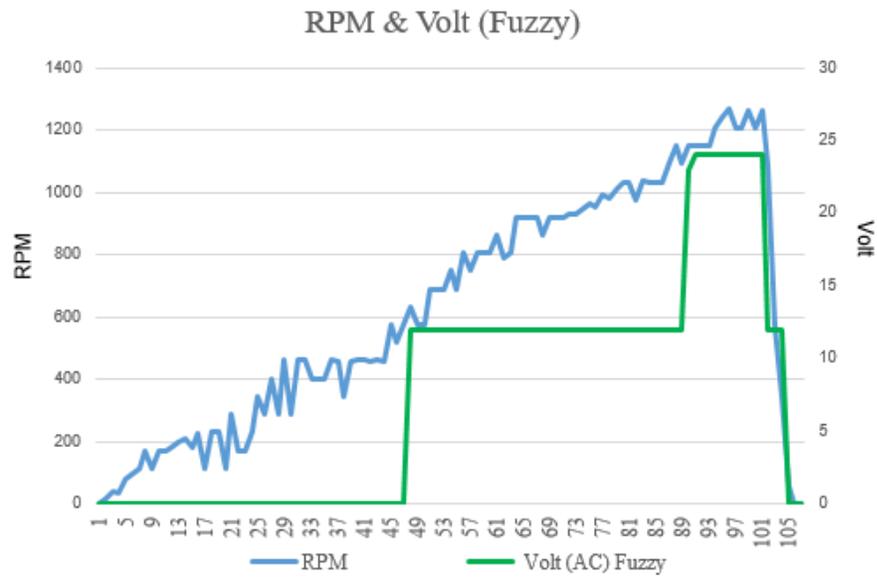
### 6.3 Output (C) membership function



### 6.4 Output Voltage Manual

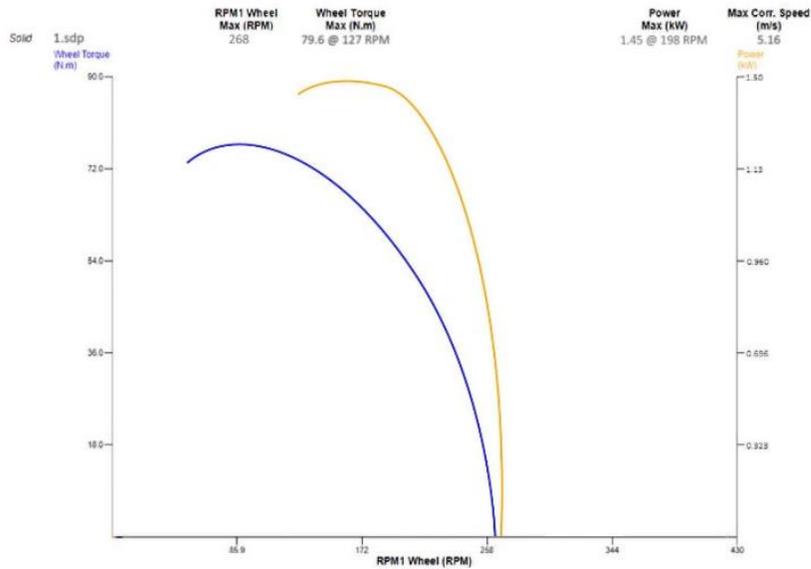


### 6.5 Output Voltage using Fuzzy



## 8. Data Uji Dyno

### 7.1 Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW lama speed 1

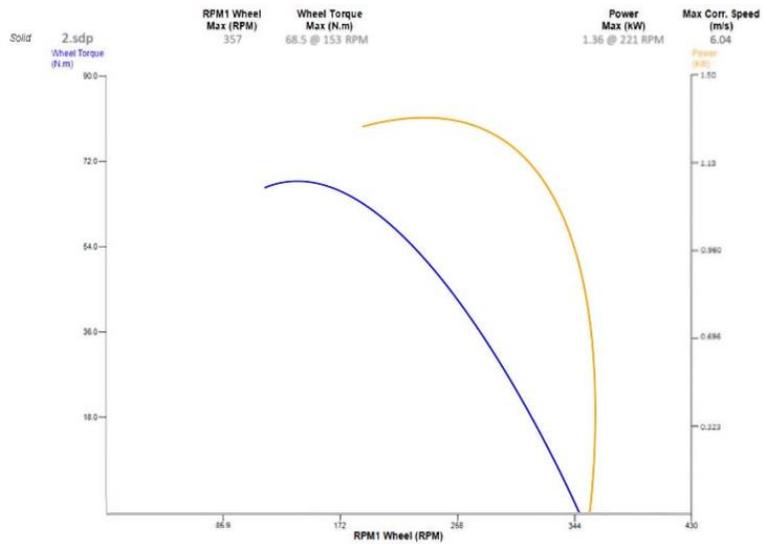


Tabel Uji Dyno WHM 1.5KW lama speed 1

RPM	Power (KW)	Torque (Nm)
0	-0,00517857	79,6
7,12596	0,0675078	79,6096
14,7609	0,140207	79,6192
22,3959	0,212907	79,6288
30,0308	0,280428	79,6383
37,6658	0,353128	79,3686
45,3008	0,425828	79,3782
52,9357	0,498527	79,3878
60,5707	0,571227	79,3974
68,2057	0,638748	79,6863
75,8406	0,706269	79,4166
83,4756	0,778969	79,4262
91,1105	0,84649	79,4357
98,7455	0,91919	79,7246
106,38	0,986711	79,7342
114,524	1,04907	79,4645
121,65	1,10622	79,6362
128,776	1,15819	78,8079
136,92	1,21537	76,9796
144,555	1,26735	75,872
152,19	1,31416	74,7644
159,825	1,35579	73,0988

RPM	Power (KW)	Torque (Nm)
167,46	1,39224	71,7113
175,095	1,41833	69,7658
182,73	1,43406	68,0996
190,365	1,44462	66,1534
198	1,45	63,6506
202,357	1,44482	60,8666
207,004	1,42411	58,3625
211,071	1,39304	55,5791
215,427	1,35679	52,5164
219,784	1,305	48,6158
224,432	1,23768	44,9951
228,207	1,17554	41,6525
232,855	1,09268	37,194
237,502	0,994286	33,572
241,859	0,875179	29,1128
245,635	0,771607	24,933
250,282	0,626607	19,9152
254,929	0,486786	14,8974
258,996	0,321071	10,4382
263,353	0,150179	5,69973
268	0	0,123991

## 7.2 Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW lama speed 2

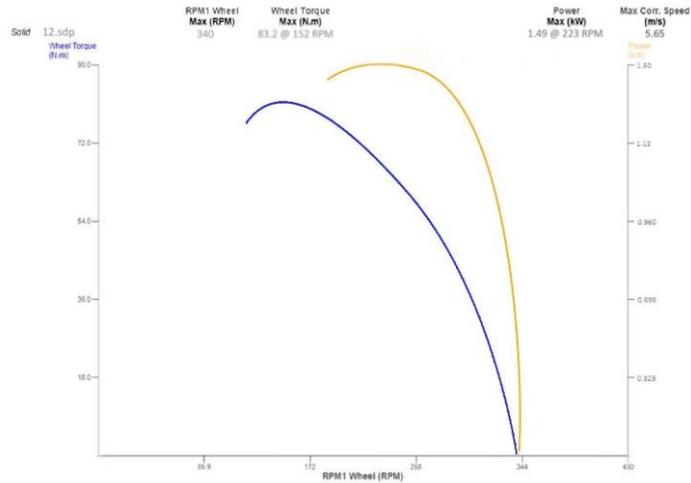


Tabel Uji Dyno WHM 1.5KW lama speed 2

RPM	Power (KW)	Torque (Nm)
0	-0,00485714	68,0725
9,06667	0,0773158	68,0884
17	0,144967	68,1033
26,0667	0,207711	68,3589
34	0,270505	68,1372
41,9333	0,338157	68,151
51	0,405758	68,1669
59,5	0,478242	68,1839
68,56	0,531297	68,4374
132,6	0,603755	68,4523
139,4	0,666574	68,4682
147,105	0,734151	68,2475
153,453	0,801802	68,5011
160,704	0,869404	68,0407
167,047	0,922459	67,5782
173,846	0,985253	67,3554
136,567	1,04314	66,894
145,067	1,09619	66,1949
153	1,14927	65,4937
161,5	1,1829	64,3162
169,433	1,23598	63,6161
179,067	1,26956	62,4397

RPM	Power (KW)	Torque (Nm)
187	1,29835	61,0224
196,067	1,32224	59,6063
204,231	1,34618	58,1901
212,5	1,35066	56,0579
221	1,36	54,1644
228,372	1,35084	51,7935
237,447	1,33213	49,6623
245,959	1,3037	47,2904
254,473	1,27042	44,4422
262,995	1,21779	41,3542
272,085	1,16036	38,2683
280,045	1,09801	35,4201
288,577	1,02118	31,8558
297,115	0,92983	28,5302
305,655	0,833641	24,7272
314,205	0,713253	20,6856
322,757	0,588025	17,5986
331,313	0,453118	13,0796
340,444	0,298893	9,27668
348,44	0,149426	4,52006
357	0,00483971	0

### 7.3 Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW baru speed 1

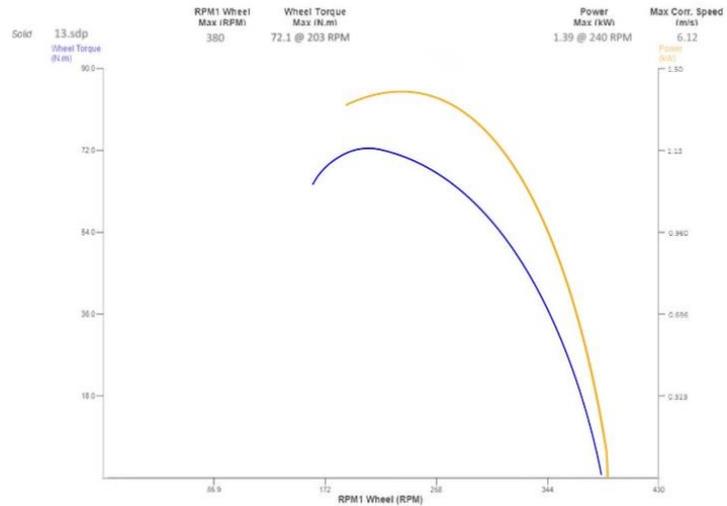


Tabel Uji Dyno WHM 1.5KW baru speed 1

RPM	Power (KW)	Torque (Nm)
0	0	82,8226
6,90982	0,0796565	82,831
16,6819	0,148602	82,8399
24,7341	0,217588	82,8483
33,3596	0,286561	82,8585
122,807	0,366177	82,8663
129,424	0,435149	82,8764
134,874	0,514779	83,1737
141,101	0,589059	83,1833
146,551	0,658032	83,1916
152	0,727004	83,2
158,617	0,795963	82,9213
164,455	0,875606	82,6414
169,905	0,939258	82,3608
175,743	1,0029	81,792
181,971	1,07719	81,2238
187,42	1,14083	80,6544
145,495	1,19385	79,7973
154,692	1,25749	79,2279
163,309	1,30517	78,0813
171,349	1,34223	76,9348
180,544	1,40055	75,4999

RPM	Power (KW)	Torque (Nm)
189,151	1,42163	73,7749
196,614	1,44806	72,3395
205,796	1,47445	70,0373
213,824	1,47958	68,0235
223	1,49	65,7225
230,313	1,4747	62,8426
238,113	1,45945	60,251
245,425	1,4335	57,0828
252,738	1,39692	53,6245
259,563	1,34965	50,1668
266,875	1,28113	47,2869
273,7	1,20193	42,673
281,5	1,12282	39,7937
288,813	1,02238	34,0255
296,125	0,916616	29,9894
303,925	0,78429	25,3762
310,75	0,630589	20,474
318,063	0,487576	15,5719
325,375	0,328598	10,3803
333,175	0,164343	5,76761
340	0	0,577778

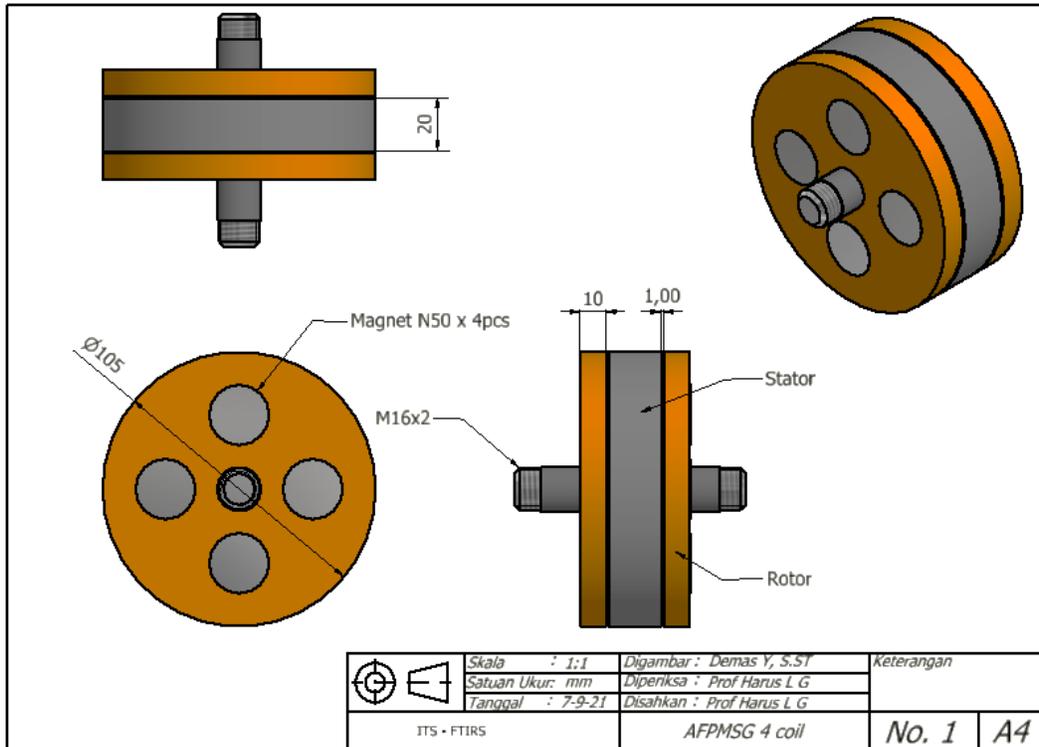
### 7.4 Grafik Uji Dyno WHM 1.5KW baru speed 2



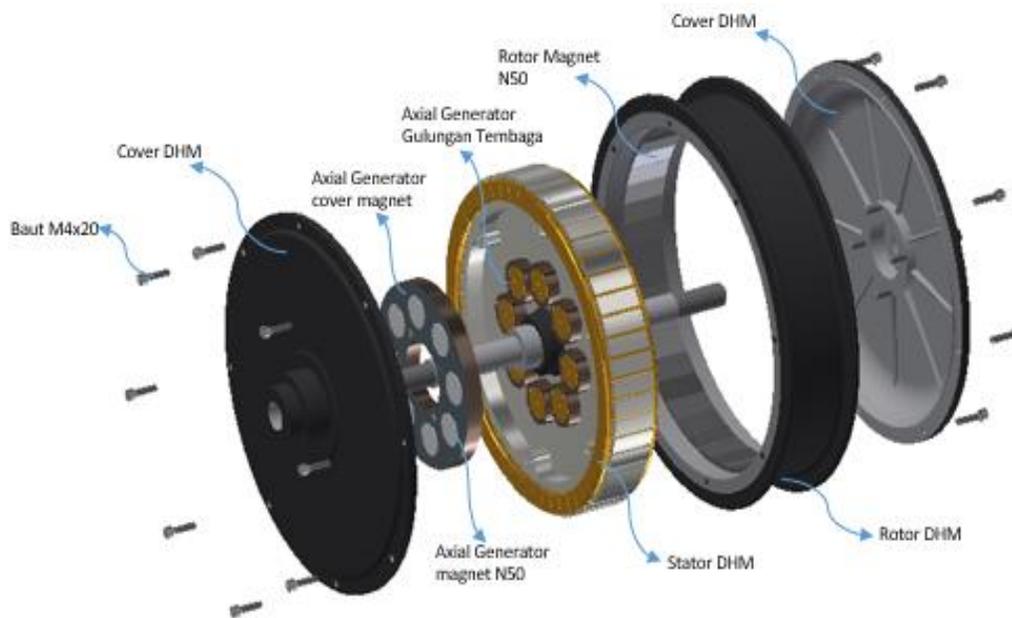
Tabel Uji Dyno WHM 1.5KW baru speed 2

RPM	Power (KW)	Torque (Nm)
0	0	71,4004
8,61538	0,0792504	71,417
18,4615	0,143582	71,4325
27,6923	0,212891	71,4514
149,905	0,277236	71,7164
155,41	0,346545	71,4846
161,705	0,415854	71,5001
167,211	0,480199	71,7663
173,11	0,554473	71,5334
179,011	0,623782	71,55
184,911	0,683162	71,5667
190,811	0,742543	71,5844
197,104	0,82178	72,1
203,001	0,886125	71,1176
208,513	0,945505	71,1342
214,413	1,00489	70,4036
220,711	1,0593	69,9212
221,713	1,11868	69,4378
222,715	1,16813	68,9555
224,717	1,21759	67,7247
226,719	1,26704	66,7434
228,721	1,29663	65,2632

RPM	Power (KW)	Torque (Nm)
230,723	1,33119	64,0325
233,725	1,36079	62,5522
236,727	1,37051	61,3215
238,829	1,38523	59,0939
240	1,39	56,8642
248,167	1,38036	54,386
258,083	1,36086	51,9079
266,25	1,33136	49,6803
274,417	1,29193	46,7021
283,75	1,25255	43,4755
292,5	1,18833	40,4985
301,25	1,1241	37,0224
309,417	1,03503	33,5464
318,75	0,946007	29,5725
327,5	0,851996	25,8458
336,833	0,718291	21,6214
345	0,594473	18,1453
353,75	0,455783	13,4219
361,917	0,30218	9,44687
371,833	0,148639	5,47076
380	0	0,249477



Drawing AFMSG tes



Desain final WHM 1.5KW



**Demas Yangindrajat** is a student master degree at Department Of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia. Graduate from PENS Surabaya (Mechatronic engineering) 2018 and National Institute Technology of Anan College (NIT) Mechanical Engineering - Tokushima, Japan 2017 . Focuse riset Vision, Electric Hub Motor with AFPMSG.