

**ANALISA DAN PERANCANGAN *PERMANENT MAGNET*
SYNCHRONOUS GENERATOR 12 SLOT 8 POLE DENGAN
MENGUNAKAN FEM**

Salah satu syarat untuk memenuhi gelar sarjana

SKRIPSI

Oleh

DANIEL LUMBANTORUAN

17.182.0053



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2022**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 13/12/22

Access From (repository.uma.ac.id)13/12/22

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan sarjana Teknik

ANALISA PERANCANGAN *PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS* GENERATOR 12 SLOT 8 POLE DENGAN MENGGUNAKAN FEM

Diajukan oleh:

DANIEL LUMBANTORUAN

NPM:178120053

Disetujui oleh:

Pembimbing I



Ir. Zulkifli Bahri, MT

Pembimbing II



Habib Satria, S.Pd., MT

mengetahui

Dekan



Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom

studi



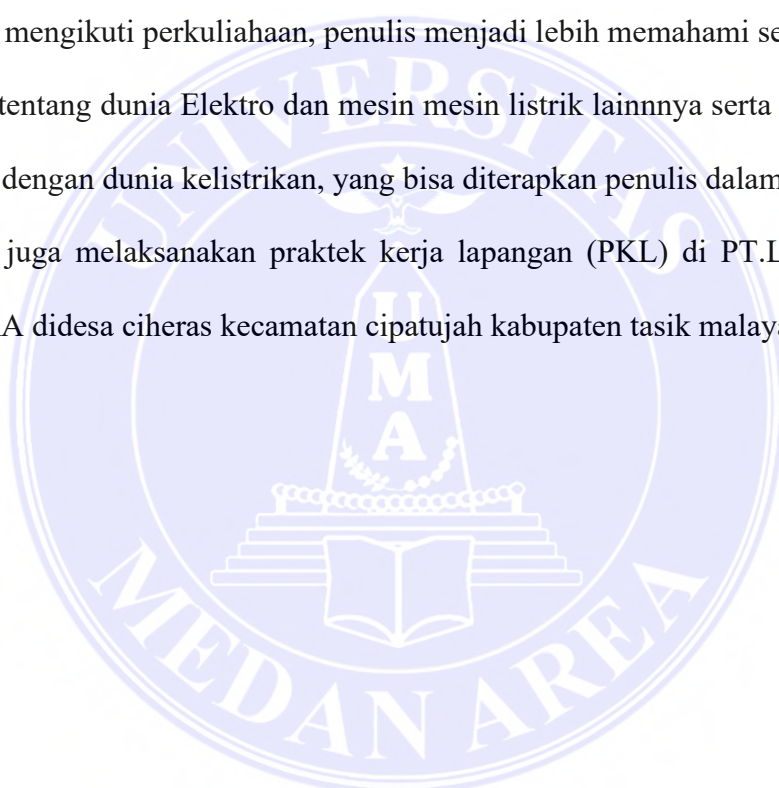
Habib Satria, S.Pd., MT M.Kom

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di desa sipultak dolok kecamatan pagaran kabupaten tapanuli utara 01 maret 1997 dari ayah Baringin lumbantoruan dan ibu Risma simamora penulis merupakan anak ke enam dari enam bersaudara.

Tahun 2016 penulis lulus dari SMK NEGERI 1 SIBORONG BORONG dan pada tahun 2017 penulis mendaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area jurusan Teknik Elektro.

Selama mengikuti perkuliahaan, penulis menjadi lebih memahami serta memperdalam pengetahuan tentang dunia Elektro dan mesin mesin listrik lainnya serta berbagai hal yang berhubungan dengan dunia kelistrikan, yang bisa diterapkan penulis dalam kehidupan sehari-hari. Penulis juga melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PT.LENTERA BUMI NUSANTARA didesa ciheras kecamatan cipatujah kabupaten tasik malaya



HALAMAN PERNYATAAN

saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian bagian tertentu dalam skripsi ini yang saya kutip dari karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sangki-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari dipertemuukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



Medan 20 oktober 2022



Daniel lumbantoruan
178120053

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik universitas Medan area, saya bertanda tangan dibawah ini :

Nama : DANIEL LUMBANTORUAN

NPM : 178120053

Program studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada universitas Medan Area **Hak bebas Royalty Nonenklusif (Non-exclusiv royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya dengan judul :

“Analisa dan Perancangan Permanent Magnet Synchronous Generator 12 slot 8 pole Dengan Menggunakan FEM”.

Dengan Hak Bebas Royalty Noneksklusif ini, Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihkan media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan 20 oktober 2022



Daniel lumbantoruan

Abstrak

Negara Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi angin yang cukup memadai untuk pemanfaatan energi baru terbarukan salah satu nya adalah pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB). Permanent magnet Synchronous generator (PMSG) salah satu komponen utama untuk pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) skala micro Di PT.LENTERA BUMI NUSANTARA, Jalan raya Ciheras, dusun lembur tengah kampung Sindang Asih, desa Ciheras, Kecamatan Cipatujah, kabupaten Tasikmalaya. Pada penelitian kali ini akan dilakukan analisa perancangan Permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole dengan menggunakan software berbasis Finite element method (FEM). Perancangan dengan menggunakan software berbasis FEM digunakan untuk memodelkan geometri generator secara 2 dimensi maupun 3 dimensi dengan material yang sudah ditentukan dan mengatur jumlah lilitan serta susunan winding-nya. Pada software ini juga dilakukan pengujian generator dengan memutarnya pada kecepatan tertentu kemudian didapat 6 kurva karakteristik PMSG yang akan dianalisis pada penelitian ini.

Kata kunci: PMSG.PLTB.FEM.12 slot 8 pole

Abstract

Indonesia is a country that has sufficient wind potential for the use of new and renewable energy, one of which is wind power plants (PLTB). Permanent magnet Synchronous generator (PMSG) one of the main component for micro scale wind power plants (PLTB) At PT. LENTERA BUMI NUSANTARA, jalan raya ciheras, overtime hamlet in the middle of sindang Asih village, Ciheras village, Cipatujah district, Tasikmalaya district, In this study, an analysis of the design of a 12 slot 8 pole permanent magnet Synchronous generator will be carried out using software based on the Finite element method (FEM). The design using FEM-based software is used to model the generator geometry in 2 dimensions and 3 dimensions with predetermined materials and adjust the number of turns and the arrangement of the windings. In this software, generator testing is also carried out by rotating it at a certain speed and then 6 PMSG characteristic curves are obtained which will be analyzed in this study.

Keywords: PMSG, PLTB, FEM, 12 slot 8 pole

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang senantiasa melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat melaksanakan penulisan skripsi dengan judul “Analisa dan Perancangan *Permanent Magnet Synchronous Generator* 12 slot 8 pole Dengan menggunakan FEM.

Penulisan skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana pada program studi Teknik Elektro.

Pada kesempatan kali ini juga penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis dalam menyusun dan menyelesaikan penulisan skripsi ini, terutama kepada :

1. Teruntuk kedua orang tua yang saya cintai dan saya sayangi, Bapak Baringin lumbantoruan(+) dan Ibu Risma simamora yang telah dengan sabar dan penuh kasih sayang merawat, menjaga, membesarkan dan mendidik penulis. Serta tak henti-hentinya mendoakan dan mendukung penulis, baik dalam bentuk motivasi maupun materi, dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Habib Satria, S.Pd.,MT selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area.
4. Bapak Ir Zulkifli Bahri, MT, selaku dosen pembimbing I skripsi dan bapak Habib Satria, S.Pd.,MT selaku dosen pembimbing II skripsi yang telah dengan penuh kesabaran membimbing dan mengarahkan penulis

UNIVERSITAS MEDAN AREA

dalam menyelesaikan skripsi ini.

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/12/22

5. Seluruh dosen staf pengajar jurusan Teknik elektro fakultas Teknik universitas medan area
6. Bapak Ricky Elson, B.Eng.,M.Eng terimakasih atas motivasi dan pengalaman Hidup nya.
7. Bang Shady, ST terimakasih buat ilmunya karena tidak bosan-bosannya mengajari saya terkait mesin listrik di PT.Lentera Bumi Nusantara.
8. Kawan-kawan di PT.Lentera Bumi Nusantara terkhusus team Rap-Rap terimakasih atas diskusi dan motifasinya.
9. Untuk kakak cahaya bintang libra dan seluruh saudara saya terimakasih atas segala doa dan motivasinya.
10. Pihak-pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuan kepada penulis.

Penulis tidaklah sempurna, apabila nantinya terdapat kekeliruan dalam penulisan skripsi ini penulis mengharapkan kritik dan sarannya. Akhir kata semoga penulisan skripsi ini dapat memberikan banyak manfaat untuk kita semua.

Medan,20 januari 2022

Penulis,



Daniel Lumbantoruan

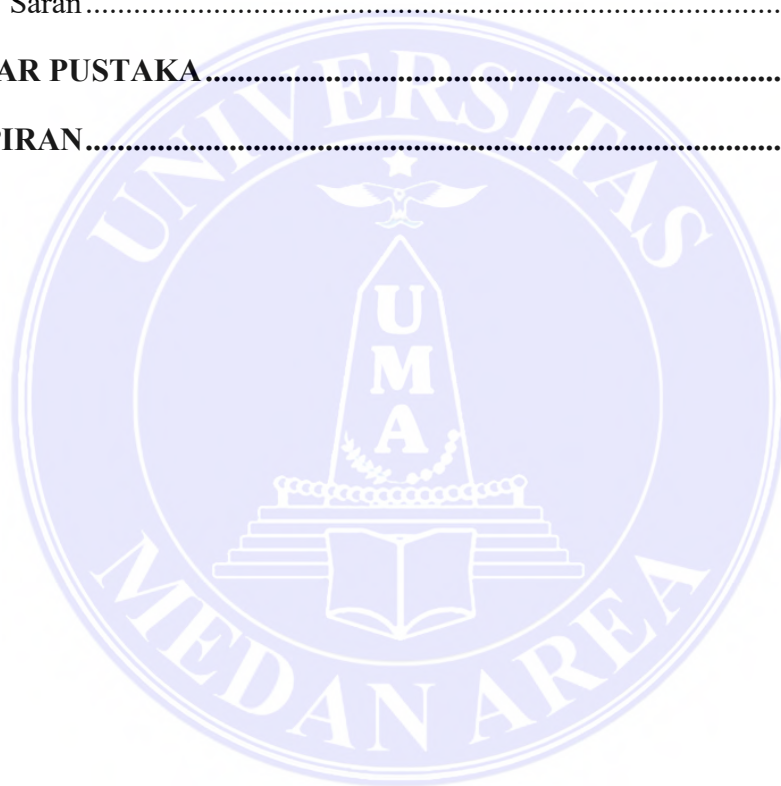
NIM 178120053

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	1
Abstrak 2	
Kata Pengantar	7
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)	5
2.2 Komponen pada generator PMSG.....	6
2.1.1 Permanen Magnet.....	6
2.1.2 Jenis-Jenis Magnet Permanen.....	6
2.1.3 Rotor pada permanent magnet sychronous generator (pmsg)	9
2.1.4 Stator pada permanent magnet synchronous generator(pmsg).....	10
2.1.5 Celah Udara (<i>Air Gap</i>)	11
2.2 Prinsip kerja Generator PMSG.....	11
2.2.1 Perhitungan simulasi Desain Generator	12

2.2.2	Menghitung Lilitan Generator.....	12
2.2.3	Menghitung Tegangan Induksi Generator.....	12
2.3	Daya Generator	13
2.3.1	Kaidah tangan kanan fleming.....	13
2.3.2	Fluks magnetik	14
2.3.3	Kerapatan fluks.....	14
2.3.4	Kecepatan putar rotor	15
2.3.5	Daya input	16
2.3.6	Daya Output.....	16
2.3.7	Efisiensi	17
2.3.8	Back EMF (<i>Electromotive Force</i>) dan KE.....	17
2.4	Software FEM	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Tempat dan waktu penelitian	21
3.1.1	Waktu dan Tempat penelitian.....	21
3.2	Kerangka Berfikir.....	21
3.2.1	Metode.....	22
3.3	Studi Literatur	22
3.3.1	Desain generator.....	22
3.3.2	Perhitungan dan Analisa data	27
3.3.3	Analisa output.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Saturasi Material	32
4.2	Pengujian Generator Tanpa Beban.....	34
4.3	Pengujian Generator Pembebanan	35
4.3.1	Tegangan	36

4.3.2	Arus	37
4.3.3	Torsi.....	38
4.3.4	Daya <i>Input</i>	39
4.3.5	Daya Output.....	40
4.3.6	Efisiensi	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN.....		47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kurva histerisis magnetik.....	7
Gambar 2. 2 gaya garis magnet bergerak dari utara menuju selatan	9
Gambar 2. 3 rotor dengan permanent magnet.....	10
Gambar 2. 4 stator pada generator dengan permanent magnet	10
Gambar 2. 5 air Gap pada generator	11
Gambar 2. 6 kaidah tangan kanan fleming.....	13
Gambar 3. 1 Desain 2D Software FEM	23
Gambar 3. 2 Desain PMSG	25
Gambar 3. 3 Susunan Winding	26
Gambar 3.4 Pengaturan Mesh pada PMSG.....	27
Gambar 3. 5 Setting Kecepatan pada Software FEM	28
Gambar 3. 6 Setting Data Sampling.....	29
Gambar 3. 7 Flowchart Penelitian.....	31
Gambar 4. 1 Kurva B-H.....	33
Gambar 4.2 Solve Aliran Flux	34
Gambar 4.3 <i>Back</i> EMF.....	35
Gambar 4.4 Rangkaian Penyearah	36
Gambar 4.5 Tegangan Terhadap Putaran Rotor.....	37
Gambar 4.6 Arus Terhadap Putaran Rotor.....	38
Gambar 4.7 Torsi Terhadap Putaran Rotor	39
Gambar 4.8 Daya Input Terhadap Putaran Rotor.....	40

Gambar 4.9 Daya Output Terhadap Putaran Rotor 41

Gambar 4.10 Efisiensi Terhadap Putaran Rotor 42



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Tabel kelebihan serta kelemahan generator PMSG	5
Tabel 3 1 Dimensi Perancangan PMSG	23
Tabel 3.2 Jenis Material pada PMSG	24



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Energi listrik merupakan salah satu energi yang terus meningkat dan sangat dibutuhkan saat ini. Pemerintah terus berusaha untuk mengembangkan dan terus melakukan penelitian. Kebutuhan akan sumber energi pada saat ini sangatlah mendesak, dibutuhkan berbagai produk yang mendukung kinerja dari manusia. Pada dewasa ini sebagian besar energi listrik yang di gunakan di Indonesia berasal dari energi fosil, yaitu bahan bakar minyak (BBM), gas dan batu bara. Energi fosil merupakan jenis energi tak terbarukan (*non-renewable*) yang ketersediaannya mulai terbatas. Kementerian energi dan sumber daya mineral (ESDM) mencatat energi fosil menjadi penyumbang utama pembangkit listrik di indonesia. sumbangan energi fosil dari seluruh pembangkit listrik di indonesia mencapai 60.485 MW setara 85,31 persen total dari kapasitas nasional yang terpasang, maka dari itu Pemanfaatan energi baru terbarukan (*renewable*) bisa menjadi salah satu solusi pemecah keterbatasan energi fosil.

Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya energi yang sangat melimpah, salah satunya adalah energi angin. Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak dia daerah khatulistiwa, hal ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi energi angin yang melimpah. Melimpahnya sumber energi di wilayah Indonesia tidak dibarengi dengan pemanfaatan sumber energi secara maksimal. Pantai selatan Jawa merupakan wilayah Indonesia yang mempunyai potensi energi angin yang cukup melimpah, walaupun potensi anginya cukup rendah yaitu antara 3- 6 m/s (BPPT, 2015). Energi baru terbarukan merupakan salah satu energi yang bersifat berkelanjutan, seperti contoh nya adalah

Energi panas bumi, energi gelombang, radiasi matahari dan energi angin. Permen ESDM NO 4 Tahun 2020 dibuat untuk menunjang perkembangan energi baru terbarukan di Indonesia. salah satu poinnya adalah mengenai penjelasan tentang proses pembelian listrik melalui mekanisme penunjuk langsung oleh PT. PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA.

Generator adalah salah satu mesin listrik yang bisa mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik dengan bantuan medan magnet. Terdapat beberapa bagian penting, diantaranya adalah stator dan Rotor. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). FEM merupakan sofwer paling baru yang saat ini tersedia untuk mensimulasikan perangkat elektromagnetik di komputer. ini menyediakan “laboratorium virtual” dimana pengguna dapat membuat model dari bahan magnetic dan gulungan., tampilan dalam bentuk data dan grafik, dan mendapatkan nilai numeric untuk jumlah seperti hubungan dan gaya. Pengguna sofwer FEM hanya membutuhkan pengetahuan dasar tentang konsep magnetic untuk memodelkan perangkat yang ada, memodifikasi desain dan menguji gagasan baru. Sofwer FEM dirancang sebagai alat pemodelan 3D lengkap untuk memecahkan masalah. Karena itu dalam penelitian Tugas akhir ini penulis merasa tertarik untuk mengadakan penelitian lapangan ataupun dengan judul “ANALISA PERANCANGAN PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR 12 SLOT 8 POLE DENGAN MENGGUNAKAN FEM”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar belakang yang telah dipaparkan maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah diantaranya yaitu:

1. Bagaimana perancangan *Permanent Magnet Synchronous Generator* untuk aplikasi *wind* turbin dengan menggunakan FEM.

2. Bagaimana mengetahui kurva karakteristik *permanent magnet synchoronus generator* dengan menggunakan *software FEM*.

1.3 Batasan Masalah

Ada beberapa Batasan masalah dari skripsi ini antara lain

1. data hasil simulasi dikelola di excel.
2. simulasi PMSG digunakan untuk wind turbin skala micro.
3. Rugi rugi mekanik dianggap nol.
4. Simulasi karakteristik hanya membahas tentang elektro magnetic sirkuit pada generator.
5. Target penelitian berupa desain model simulasi untuk pemodelan *permanent magnet synchronous generator*.

1.4 Tujuan Masalah

Ada pun tujuan dari penulisan skripsi antara lain yaitu

1. Merancang *Permanent Magnet Synchronous Generator* untuk aplikasi *wind turbin* dengan menggunakan *FEM*.
2. Mengetahui kurva karakteristik *permanent magnet synchronous generator* dengan menggunakan *software FEM*

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan referensi untuk adik adik tingkat selanjutnya apabila ingin mengembangkan lebih dalam lagi tentang perancangan dan simulasi tentang permanent magnet singkron generator.
2. Memberi kontribusi terhadap pengembangan generator khususnya pada permanent magnet synchronous generator.

3. Memanfaatkan energi angin sebagai energi listrik demi memenuhi kebutuhan listrik dimasyarakat sebagai mana pada umumnya.

1.6 Sistematika penulisan

Adapun sistematika laporan yang digunakan dalam penulisan skripsi ini sebagai berikut.

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan pendahuluan, memaparkan beberapa hal yang melatarbelakangi kegiatan penelitian tersebut, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang penelitian yang sudah dilakukan dan beberapa data yang dapat mendukung penelitian yang akan dilakukan. Selanjutnya menggunakan dasar teori yang melandasi kegiatan penelitian yang dilaksanakan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang metode yang digunakan dalam melakukan penelitian untuk penulisan skripsi yang meliputi objek penelitian, alur penelitian dan metode penelitian dan metode pengumpulan data penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil dan pembahasan yang menguraikan tentang ANALISA DAN PERANCANGA PERMANENT MAGNET SYNCHORONOUS GENERATOR 12 SLOT 8 POLE.

BAB V : Kesimpulan dan saran, bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Generator sinkron magnet permanen (PMSG), generator yang medan eksitasinya dihasilkan oleh magnet permanen bukan kumparan sehingga fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnet permanen. Istilah sinkron disini merujuk pada fakta bahwa rotor dan medan magnet berputar dengan kecepatan yang sama karena medan magnet dihasilkan melalui magnet permanen yang terpasang pada permukaan ataupun tertanam pada rotornya (Teitelbaum,1984).

Diantara rotor dan stator terdapat ruang sempit yang dinamakan air gap (celah udara). Pada celah udara ini terjadi fluks induksi antara kumparan stator dengan rotor sehingga menghasilkan gaya gerak listrik (LBN,2015). Pada generator sinkron jarak celah udara yang semakin sempit akan menghasilkan tegangan yang semakin besar karena medan induksi yang dihasilkannya juga semakin besar.

Tabel 2. 1. Tabel kelebihan serta kelemahan generator PMSG

	Kelebihan generator PMSG	Kekurangan generator PMSG
1	Desain sederhana	Tidak efisien jika menggunakan magnet permanen dengan produksi fluks magnet rendah
2	Umur generator lebih awet	Pembangkit daya listrik terbatas sejauh kemampuan magnet dalam membentuk fluks sehingga tidak cocok digunakan dengan skala besar
3	Tidak membutuhkan sumber arus listrik DC dari luar untuk membentuk medan magnet	

2.2 Komponen pada generator PMSG

Pada generator PMSG memiliki komponen-komponen yang terdiri dari beberapa bagian diantaranya yakni (Ayu,2018) :

2.1.1 Permanen Magnet

Magnet adalah benda yang mampu menarik benda tertentu disekitarnya. Setiap magnet memiliki sifat kemagnetan. Kemagnetan adalah kemampuan benda tersebut untuk menarik benda-benda di sekitarnya. Kata magnet (magnet) berasal dari bahasa Yunani “magnítis líthos” yang berarti batu magnesian.

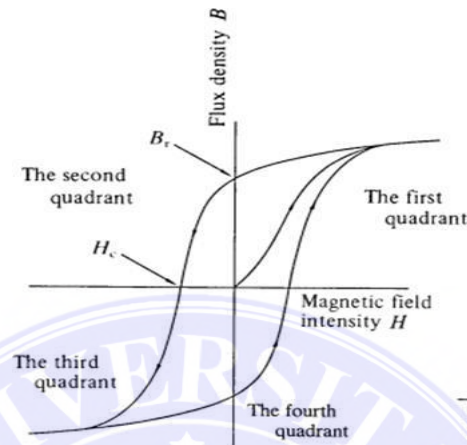
Magnet memiliki sifat – sifat diantara lain . (J.R. Handershot,1994):

- 1 Magnet hanya dapat menarik benda-benda tertentu dalam jangkauannya, artinya tidak semua benda dapat ditarik.
- 2 Magnet memiliki dua kutub, yaitu kutub utara dan kutub selatan.
- 3 Gaya magnet dapat menembus benda, semakin kuat gaya magnet yang dimiliki sebuah magnet maka semakin tebal benda yang dapat ditembusnya.
- 4 Garis – garis medan magnet bergerak dari utara menuju selatan

2.1.2 Jenis-Jenis Magnet Permanen

Magnet permanen merupakan material yang memiliki banyak manfaat terutama dalam bidang konversi energi, yaitu digunakan untuk mengubah energi kinetik menjadi energi listrik maupun sebaliknya (Hancselman,2006). Sehingga pengembangan material magnet permanen menjadi perhatian penting para peneliti dan akademisi untuk menghasilkan magnet dengan kualitas terbaik dan efisiensi yang tinggi dalam aplikasinya. Sebagai penghasil medan magnet utama, medan magnet pada rotor

merupakan medan magnet permanent yang kuat. Magnet permanen tidak memiliki kumparan penguat dan tidak menghasilkan disipasi daya elektrik (hilangnya daya elektrik).



Gambar 2. 1 Kurva histeresis magnetik

Magnet permanen merupakan material feromagnetik yang memiliki *hysteresis loop* yang lebar. *Hysteresis loop* yang lebar menunjukkan sedikitnya pengaruh induksi dari luar terhadap magnet tersebut (Kenjo,1985).

Bahan awal magnet yang diproduksi adalah baja. Magnet yang terbuat dari baja mudah dimagnetisasi, tetapi bahan tersebut dapat menyimpan energi yang rendah sehingga mudah didemagnetisasi. Sehingga dikembangkanlah material lain agar mampu menyimpan energi yang lebih besar untuk menghasilkan peralatan yang lebih baik. Ada tiga jenis pembagian magnet permanen yang digunakan untuk mesin elektrik, diantaranya yaitu (Hancselman,2006):

a. Magnet *Alnico*

Magnet jenis ini memiliki kerapatan fluks yang tinggi dengan gaya koersif yang rendah. Ketika koersifitasnya rendah dan dua kutub magnet

saling berlawanan berada pada jarak dekat, maka kutub-kutub tersebut dapat saling melemahkan.

b. Magnet *Ceramic* atau Magnet Keramik

Tidak seperti magnet *Alnico*, magnet *Ceramic* memiliki kerapatan fluks yang rendah namun memiliki gaya koersif yang tinggi. Magnet *Ceramic* banyak digunakan karena memiliki biaya produksi yang rendah.

c. Magnet *Rare-Earth*

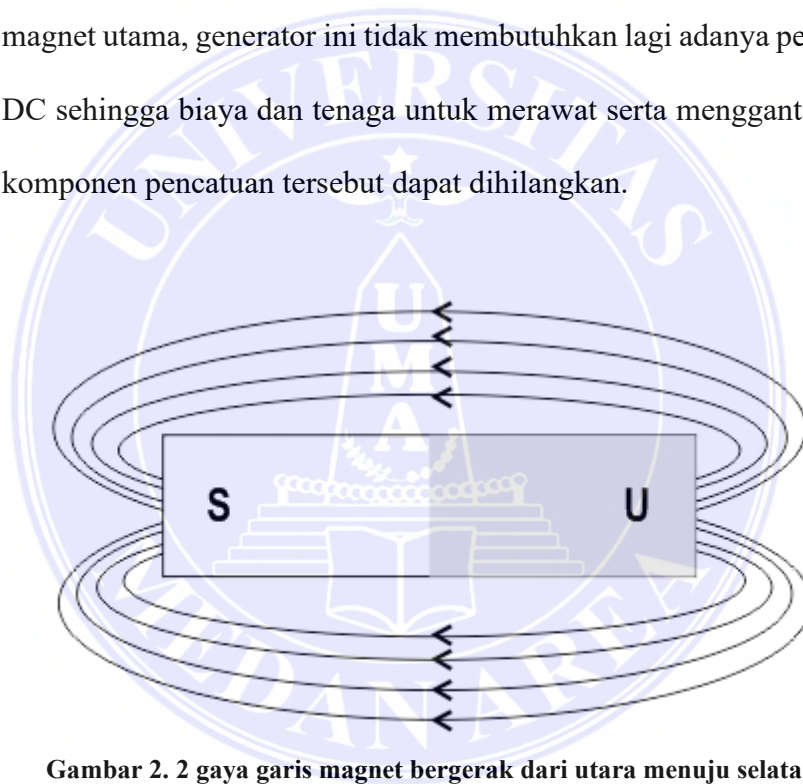
Terdapat dua tipe dari magnet langka yang masih ada di bumi, yaitu magnet SmCo (*Samarium-Cobalt*), dan magnet NdFeB (*Neodymium-Iron-Boron*). Penggunaan magnet NdFeB magnet dapat memberikan *power density* yang tinggi dalam volume material yang kecil sehingga mampu menghasilkan mesin berkualitas terbaik dengan sedikit rugi-rugi daya dengan material yang lebih ringan (Rifqi,2019).

Berdasarkan pada kurva karkarakteristik dibawah, magnet permanen jenis *Neodymium Iron Boron* menjadi bahan yang paling baik dari bahan-bahan magnet permanen lainnya. *Neodymium Iron Boron* mempunyai nilai fluks remanen yang paling besar dibandingkan bahan feromagnetik yang lain. Dimana untuk magnet permanen jenis *Neodymium Iron Boron* memiliki fluks remanen senilai 1,2 T magnet permanen jenis *Samarium Cobalt* memiliki fluks remanen senilai 1,0 T, dan magnet permanen jenis *Ceramic* memiliki fluks remanen senilai 0,4 T.

Generator dengan magnet permanen memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan generator dengan sistem eksitasi sumber DC, karena tidak ada rugi-rugi eksitasi yang dihasilkan sehingga banyak

digunakan terutama untuk turbin angin. Bentuknya yang lebih sederhana membuat generator magnet permanen menjadi lebih rapi, ringan, dan tersusun padat. Akan tetapi, generator magnet permanen tidak dapat diatur seberapa besar eksitasi yang diberikan kepada generator, karena fluks magnetik yang dihasilkan magnet ini tetap sehingga arus eksitasi yang dihasilkan pun tidak dapat diubah sesuai kebutuhan (Hamdi,1996).

Dengan menggunakan magnet permanen sebagai penghasil medan magnet utama, generator ini tidak membutuhkan lagi adanya pencatutan arus DC sehingga biaya dan tenaga untuk merawat serta mengganti komponen-komponen pencatutan tersebut dapat dihilangkan.



Gambar 2. 2 gaya garis magnet bergerak dari utara menuju selatan

2.1.3 Rotor pada permanent magnet synchronous generator (pmsg)

Rotor merupakan salah satu komponen yang terdapat pada generator, dan rotor tersebut merupakan bagian dari generator yang berputar (Kholis,2020). Pada jenis PMSG, rotor ini sendiri juga sebagai tempat menempelnya magnet permanen dimana hal ini bisa di asumsikan sebagai penghasil medan magnet yang diperlukan dalam pembangkitan

tegangan. Rotor akan dihubungkan dengan poros turbin agar dapat berputar.

Berikut ini merupakan dari gambar Rotor:



Gambar 2. 3 rotor dengan permanent magnet

2.1.4 Stator pada permanent magnet synchronous generator(pmsg)

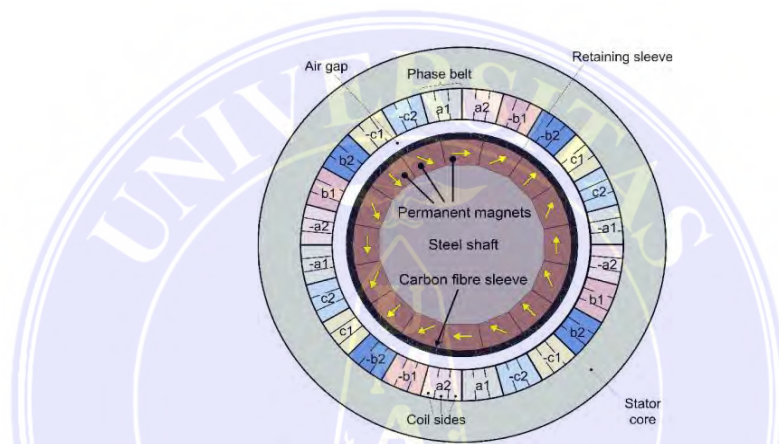
Stator adalah satu bagian terpenting dari komponen permanent magnet. Dimana stator ini adalah bagian yang tidak bergerak atau diam pada generator. Pada stator terdapat coil atau lilitan atau kumparan dimana kumparan ini dikenal sebagai salah satu komponen untuk terbentuknya suatu tegangan atau arus yang mengalir. Kumparan di stator berfungsi sebagai tempat terjadinya gaya gerak listrik atau (GGL) induksi (LBN, 2014).



Gambar 2. 4 stator pada generator dengan permanent magnet

2.1.5 Celah Udara (Air Gap)

Celah udara (Air gap) bisa diartikan sebagai jarak antara stator dan rotor. Pada celah udara ini lah nanti terjadi fluks induksi antara kumparan stator yang memotong magnet permanent yang terdapat pada rotor sehingga dapat tercipta gaya gerak listrik (GGL). Pada jarak tersebut tentunya harus diperhitungkan agar dapat hasil kinerja generator yang optimum. Secara tidak langsung akan membuat tegangan pada generator akan semakin besar.



Gambar 2. 5 air Gap pada generator

2.2 Prinsip kerja Generator PMSG

Prinsip kerja generator adalah mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik yang mengacu pada hukum Faraday yang bentuk matematisnya dapat ditulis sebagai berikut.

$$\varepsilon = -N \frac{d\varphi}{dt} \quad (1)$$

Dimana: ε = Gaya gerak listrik (V)

N = Banyaknya lilitan

φ = Fluks magnet (Wb)

T = satuan waktu (s)

Hukum faraday menunjukkan jika kawat atau kumparan konduktor berada pada medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, maka pada ujung-ujung kawat atau kumparan konduktor akan timbul tegangan atau gaya gerak listrik (GGL) induksi.

2.2.1 Perhitungan simulasi Desain Generator

Rumus matematis desain generator merupakan rumus dasar untuk menentukan nilai dari beberapa parameter yang akan di ketahui pada Generator.

2.2.2 Menghitung Lilitan Generator

Tegangan yang dihasilkan generator sangat berpengaruh dari banyaknya jumlah lilitan pada suatu kumparan. Melilit sebuah generatorpun harus ada perhitungan dan teknik melilit yang benar sehingga tegangan yang dihasilkan merupakan hasil yang paling tinggi.

Banyak teknik pelilitan yang dipakai pada generator untuk memperoleh nilai tegangan yang sesuai dengan kebutuhan. Tegangan yang dihasilkan haruslah paling tinggi dan harus mendekati gelombang sinusoidal sempurna (LBN,2015).

2.2.3 Menghitung Tegangan Induksi Generator

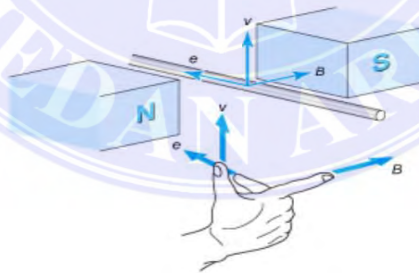
Prinsip kerja dari generator sinkron magnet permanen ini yaitu berdasarkan hukum faraday. Jika suatu kumparan dilewati oleh fluks magnet yang berubah-ubah terhadap waktu maka timbulah tegangan induksi pada kumparan tersebut. Selain fluks magnet, faktor lain penentu tegangan induksi yaitu lilitan, frekuensi, jumlah slot, dan jumlah fasa. Perhitungan tegangan induksi juga harus disesuaikan konstruksi yang akan dirancang.

2.3 Daya Generator

Daya merupakan jumlah usaha yang dilakukan tiap satu satuan waktu. Dalam hal ini generator memiliki daya input berupa daya mekanik dan output berupa daya listrik. Daya mekanik berupa energi angin yang ditangkap bilah sehingga dapat memutar generator. Komponen daya mekanik ini berupa torsi dan kecepatan putar dari rotor. Torsi pada generator disebabkan oleh momen inersia dari rotor, pengaruh interaksi magnet dengan logam dan efek adanya induksi yang ditimbulkan arus ketika generator berbeban. Berikut merupakan variabel yang akan mempengaruhi nilai daya generator.

2.3.1 Kaidah tangan kanan fleming

Kaidah tangan kanan fleming adalah sebuah metode mnemonik untuk memudahkan menentukan arah vektor dari ketiga komponen hukum faraday, yakni arah gaya gerak kumparan kawat, arah medan magnet, serta arah arus listrik (Chapman, 2012).



Gambar 2. 6 kaidah tangan kanan fleming

Berikut merupakan persamaan matematis dari nilai tegangan yang dibangkitkan pada sebuah kumparan yang bergerak.

$$\varepsilon = BLv \quad (2)$$

Dimana: ε : Gaya gerak listrik (V)

B : rapat fluks magnet (T)

L : Panjang kawat tembaga (m)

v : Kecepatan putar rotor (m/s)

Persamaan (2) merupakan turunan dari persamaan (1) dengan media yang berbeda. Pada persamaan (2) media terhadapnya gaya gerak listrik berupa kumparan sehingga persamaan ini digunakan dalam mencari nilai tegangan pada generator.

2.3.2 Fluks magnetik

Fluks magnetik adalah ukuran atau jumlah garis gaya magnet yang melewati luas penampang tertentu. Satuan fluks magnetik adalah weber (Wb). Fluks magnet yang melalui bidang tertentu melewati bidang tertentu sebanding dengan jumlah medan magnet yang melalui bidang tersebut. Rumus fluks magnetik adalah sebagai berikut.

$$\phi_{max} = B_{max} \cdot A \quad (3)$$

Dimana: ϕ_{max} : fluks magnet (Wb)

B_{max} : densitas fluks maksimum (T)

A : luas magnet (m²)

2.3.3 Kerapatan fluks

Rumus kerapatan fluks maksimum.

$$B_{max} = B_r L_m + \delta \quad (4)$$

Dimana: B_r : densitas fluks magnet (Tesla)

L_m : Tebal Magnet (cm)

δ : Air Gap (cm)

2.3.4 Kecepatan putar rotor

Generator untuk dapat menghasilkan tegangan dan arus harus dapat berputar dengan kecepatan tertentu. Kecepatan putar generator mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan. Kecepatan dan arah putar pada generator diperlukan untuk menghasilkan listrik, kecepatan arah putar yang dihasilkan tentu saja berasal dari SDA yang secara tidak langsung berguna untuk memutar generator yaitu bilah pada PLTB atau Pembangkit Listrik Tenaga Bayu atau tenaga Angin. Hal inilah yang membuat bilah berputar sehingga dapat memutar turbin generator PMSG 12 Slot 8 Pole, kecepatan serta diikuti arah putar yang benar maka hal ini sangat mempengaruhi kinerja dari generator PMSG tersebut baik nilai tegangan serta arus yang dihasilkan, nilai *Back-EMF* dan K_e yang dihasilkan per satuan waktu yang disimulasikan dengan menggunakan software MagNet. Dan tentu saja pada akhirnya didapatkan nilai efisiensi generator yang dihasilkan terhadap kecepatan putar yang telah ditentukan sebagai beberapa nilai variasi guna menentukan rating kecepatan yang paling baik dalam efisiensi generator yang dihasilkan. Jika kita berbicara tentang mesin listrik maka generator juga termasuk didalamnya, dan pada mesin listrik itu sendiri kita mengetahui banyak hal mengenai tenaga, kecepatan, serta daya yang dihasilkan, kecepatan dalam generator PMSG yang digunakan, singkatnya Generator untuk dapat menghasilkan tegangan dan arus harus dapat berputar dengan kecepatan tertentu. Kecepatan putar generator mempengaruhi tegangan dan arus yang

dihasilkan. Rumus kecepatan putar rotor pada generator 3-phase adalah sebagai berikut.

$$n = \frac{120f}{p} \quad (5)$$

Dimana: n : kecepatan putar (rpm)

f : frekuensi (Hz)

p : jumlah pole

Nilai kecepatan putar (rpm) bukan merupakan satuan SI. Berikut merupakan rumus untuk merubah rpm menjadi satuan SI.

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \times n \quad (6)$$

Dimana: ω : angular (rad/s)

2.3.5 Daya input

Daya input pada generator dihasilkan dari torsi dan kecepatan putar pada rotor dapat dirumuskan:

$$P_{in} = T \cdot \omega \quad (7)$$

Dimana: P : Daya input (Watt)

T : Torsi (Nm)

ω : Putaran (rad/s)

2.3.6 Daya Output

Rumus Daya output1 pada generator ini adalah:

$$P_{out} = V \cdot I \quad (8)$$

Dimana: P : Daya output

V : Tegangan

I : Arus

2.3.7 Efisiensi

Mutu sebuah generator sangat ditentukan oleh besarnya efisiensi generator tersebut. Makin besar efisiensi sebuah generator maka generator tersebut makin bagus. Efisiensi ini dihitung berdasarkan perbandingan antara daya keluaran generator terhadap daya masukan awal generator yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% \quad (9)$$

2.3.8 Back EMF (*Electromotive Force*) dan KE

Back EMF atau *self-induced EMF* atau GGL induksi adalah *Electromotive Force (EMF)* atau Gaya Gerak Listrik (GGL) yang diakibatkan oleh induksi *magnet back EMF* bisa terjadi akibat adanya perubahan *fluks magnet* dalam suatu waktu tertentu. Tegangan yang dihasilkan akibat adanya perubahan fluks medan magnet (Kenjo, 1985).

Faktor yang dapat menaikkan tegangan yang diakibatkan fluks medan magnet yang dapat meningkatkan GGL yang dihasilkan melalui induksi magnet, yaitu :

1. Meningkatkan medan magnet
2. Memperbanyak lilitan pada stator
3. Meningkatkan kecepatan putar

Nilai KE adalah konstanta electricity. Nilai KE digunakan untuk mendapatkan nilai BMF tanpa perlu melakukan simulasi. Pada generator yang sudah di manufaktur nilai fluks magnet dan jumlah lilitan akan selalu tetap jika tidak terjadi kerusakan pada generator. Hasil kali dari fluks magnet dan panjang lilitan ini adalah nilai KE.

$$\varepsilon = K_E \omega \quad (10)$$

Jika dalam simulasi, nilai KE dapat diperoleh dari.

$$K_E = \frac{\varepsilon}{\omega} \quad (11)$$

Dimana : K_E = Konstanta elektrik (Vs/rad)

ε = tegangan induksi

ω = kecepatan angular

2.4 Software FEM

Software FEM elektromagnetik juga merupakan paket paling canggih yang saat ini tersedia untuk memodelkan perangkat elektromagnetik di komputer pribadi. Software ini menyediakan "laboratorium virtual" di mana pengguna dapat membuat model dari bahan magnetik dan gulungan, tampilan tampilan dalam bentuk plot lapangan dan grafik, dan mendapatkan nilai numerik untuk jumlah seperti hubungan fluks dan gaya. Seorang pengguna software fem elektromagnetik hanya membutuhkan pengetahuan dasar tentang konsep magnetik untuk memodelkan perangkat yang ada, memodifikasi desain, dan menguji gagasan baru (Rifqi,2019).

Software fem elektromagnetik dirancang sebagai alat pemodelan 3D lengkap untuk memecahkan masalah elektromagnetik yang dapat melibatkan medan magnet statik, medan varising dan arus eddy, dan kondisi sementara dengan gerakan bagian perangkat. Banyak perangkat dapat diwakili dengan sangat baik oleh model 2D, jadi MagNet menawarkan pilihan pemodelan 2D, dengan penghematan besar dalam sumber daya komputasi dan waktu penyelesaian.

Sebuah fitur yang terdapat di *software* fem elektromagnetik adalah penggunaan metode terbaru untuk memecahkan persamaan medan dan menghitung jumlah seperti gaya dan torsi. Untuk mendapatkan hasil yang dapat diandalkan, pengguna tidak perlu menjadi ahli dalam teori elektromagnetik atau analisis

numerik. Meski demikian pengguna memang perlu menyadari faktor-faktor yang mengatur ketepatan software.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan waktu penelitian

Ada pun tempat dan waktu penelitian dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan sebagai mana berikut.

3.1.1 Waktu dan Tempat penelitian

Tempat simulasi penelitian tugas akhir ini akan dilaksanakan di PT.LENTERA BUMI NUSANTARA, Jalan raya Ciheras, dusun lembur tengah kampung Sindang Asih, desa Ciheras, Kecamatan Cipatujah, kabupaten Tasikmalaya. Alat dan bahan

Adapun alat dan bahan dalam penulisan dan penelitian ini adalah sebagaiberikut:

1. Satu unit laptop sebagai media simulasi ini
2. Perangkat lunak magnet Infolyca 64 bit sebagai perangkat lunak utama dalam simulasi penelitian ini yang telah terinstal di laptop
3. Data data dari berbagai referensi jurnal yang digunakan sebagai penunjang dari penelitian ini
4. Microsoft office EXCEL sebagai pengolah dan perhitungan data serta pembuatan laporan dari hasil simulasi dan perhitungan.

3.2 Kerangka Berfikir

Pelaksanaan penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahapan untuk mempermudah dan memperjelas arah penelitian.berikut adalah flowchart kerangka berfikir dalam melakukan penelitian ,dimana menunjukkkan tahapan tahapan peneliti dalam melakukan proses simulasi generator sinkron permanen magnet berdasarkan FEM.

3.2.1 Metode

Dalam penelitian ini penulis menggunakan penelitian pengolahan dan analisis data yang terdiri dari data keluaran dari penelitian. peneliti mengambil data dengan cara simulasi dalam sofwer magnet berbasis *FEM*. berikut adalah tahapan dalam tugas akhir ini

3.3 Studi Literatur

Studi literatur digunakan oleh penulis sebagai awal dalam penelitian ini baik dalam pencarian materi atau pun data untuk pendukung dalam simulasi karakteristik permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole untuk wind turbin skala micro menggunakan *FEM*.

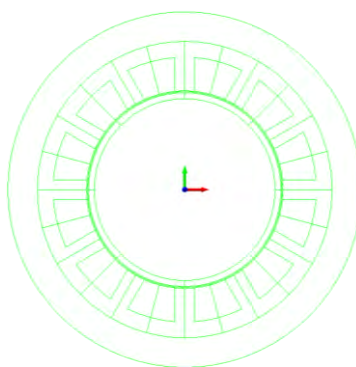
3.3.1 Desain generator

Desain generator dirancang menggunakan sofwer magnet berbasis *FEM*. generator yang digunakan yaitu *permanent magnet Synchronous generator* 12 slot 8 pole. Perancangan PMSG ini dilakukan untuk dapat merepresentasikan bentuk sesuai yang diinginkan. Spesifikasi dari PMSG yang didesain pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 3 1 Dimensi Perancangan PMSG

No.	Dimensi	Nilai
1	Jumlah <i>slot</i> (mm)	12
2	Jumlah <i>pole</i> (mm)	8
3	Diameter dalam stator (mm)	100
4	Diameter luar stator (mm)	150
5	Diameter luar rotor (mm)	96
6	Tebal generator (mm)	40
7	Tebal magnet (mm)	3
8	Lebar Teeth (mm)	10
9	Tebal <i>air gap</i> (mm)	1

Dapat dilihat pada Tabel di atas, PMSG didisain dengan diameter luar 150mm dan ketebalan 40mm. Nilai-nilai diatas didapat dari literatur dan *trial and error* menggunakan *software* FEM. Selanjutnya nilai-nilai tersebut menjadi parameter geometri yang digunakan untuk membuat PMSG pada *software* FEM. Berikut desain geometri dari PMSG pada penelitian ini.



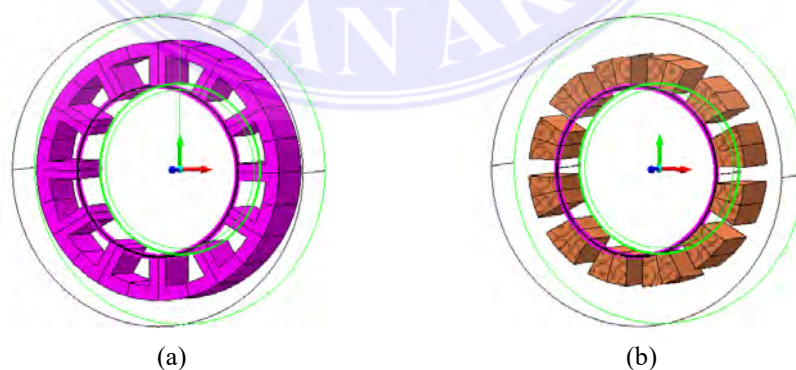
Gambar 3. 1 Desain 2D Software FEM

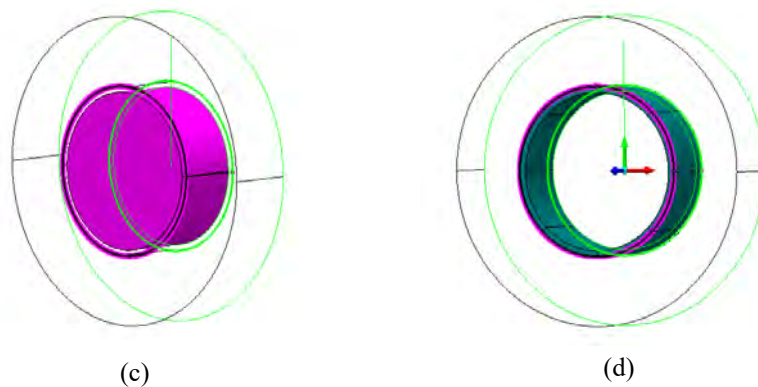
Gambar di atas adalah desain geometri PMSG yang telah disesuaikan dengan parameter di atas. Garis terluar pada gambar di atas merupakan *air box* yang berfungsi untuk membatasi daerah yang disimulasikan aliran *flux* magnetnya. Selanjutnya dilakukan *input* pada gambar di atas untuk membuat desain menjadi 3 dimensi. Material-material yang digunakan pada perancangan ini dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 3.2 Jenis Material pada PMSG

No.	Komponen	Material
1	Inti besi stator dan rotor	Capenter Silicon Steel
2	Magnet	PM12: Br 1.2
3	Lilitan	Copper: $5.77e7$ Siemens/meter

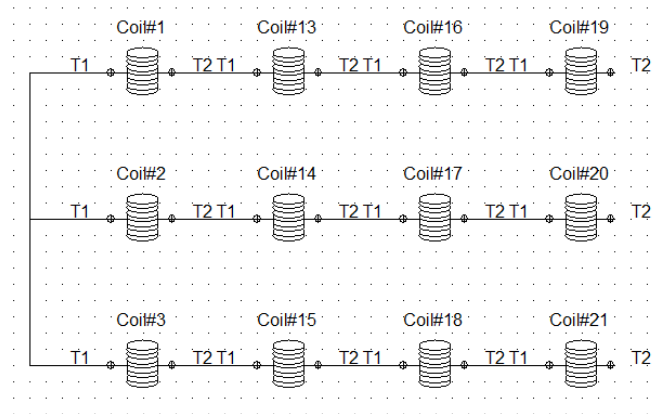
Material yang ada pada Tabel di atas, di *input*-kan pada desain Geometri pada Gambar 3.1 Dengan di *input*-kan material sekaligus memberi nilai ketebalan dari tiap material dan membuat desain menjadi 3 dimensi seperti gambar di bawah ini.





Gambar 3. 2 Desain PMSG (a) Teeth (b) Coil (c) Inti Besi Rotor (d) Magnet

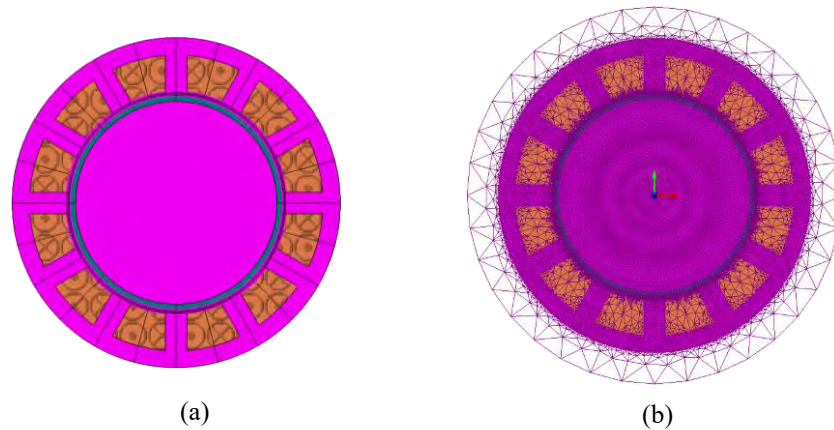
Gambar di atas menunjukkan desain 3 dimensi yang sesuai dengan Tabel 3.1. Stator PMSG ini dirancang dengan jenis *umbrellaless*. Jenis *umbrellaless* memiliki keuntungan untuk kemudahan dalam manufaktur, karena proses melilit dapat dilakukan diluar generator kemudian dapat dimasukkan dalam *slot*. Hal ini dapat memudahkan manufaktur dan menghemat biaya jika proses melilit menggunakan mesin. Susunan permanen magnet pada desain ini menggunakan topologi jenis SPM (*Surface Mounter Permanent Magnet*). Penggunaan topologi ini bertujuan untuk dapat memaksimalkan hasil *back EMF*. Pada Gambar 3.2 (b) kumpulan coil tersebut dilakukan penyusunan winding agar dapat menghasilkan tegangan keluaran 3-Phase yang seimbang. Berikut susunan winding pada PMSG ini.



Gambar 3. 3 Susunan Winding

Winding PMSG pada penelitian ini disusun dengan koneksi Y dengan hubungan 4-seri. Tujuan dari hubungan seri ini agar dapat memperoleh nilai tegangan *output* sebesar-besarnya. Pada tiap *slot* memiliki 100 lilitan dengan luas area tembaga 1 mm^2 .

Penggunaan *software* FEM membantu perhitungan menjadi lebih mudah dan lebih cepat dibandingkan perhitungan secara manual. Pada *software* FEM solving simulasi dilakukan dengan luasan volume yang dibagi menjadi elemen-elemen kecil atau sering disebut dengan mesh yang memiliki nilai batasan dan nilai awal sebagai trial dan error pada perhitungan yang ada, kemudian dilakukan secara berulang untuk memperoleh nilai yang mendekati tepat. Berikut merupakan pengaturan mesh yang dilakukan pada perancangan PMSG ini.



Gambar 3.4 Pengaturan Mesh pada PMSG

Gambar di atas merupakan hasil pengaturan *mesh* dari model yang telah dibuat. Dapat dilihat pada di atas, terdapat perbedaan nilai *mesh* pada setiap bagian. Pada bagian *air gap* terlihat bahwa bagian tersebut paling halus dibandingkan yang lainnya. Bagian *air gap* ini diatur dengan nilai *mesh* yang paling halus atau dibagi dengan paling banyak titik yaitu sebesar 360 titik. Keadaan ini dilakukan agar tidak terjadi *error* pada saat *running* karena bagian ini adalah bagian yang bersinggungan dalam putaran dan sering terjadi *error* bila *mesh* terlalu kasar atau terlalu besar. Nilai *mesh* yang berbeda-beda pada komponen bertujuan untuk mempercepat simulasi, pada model ini dibutuhkan waktu 3 jam setiap simulasinya. Jika seluruh komponen menggunakan *mesh* halus atau besar akan membutuhkan waktu yang lebih lama dalam *running* simulasinya.

3.3.2 Perhitungan dan Analisa data

1. Perhitungan

Perhitungan ini merupakan setting pada software FEM sebelum digunakan akan hasil keluarannya sesuai perencanaan.

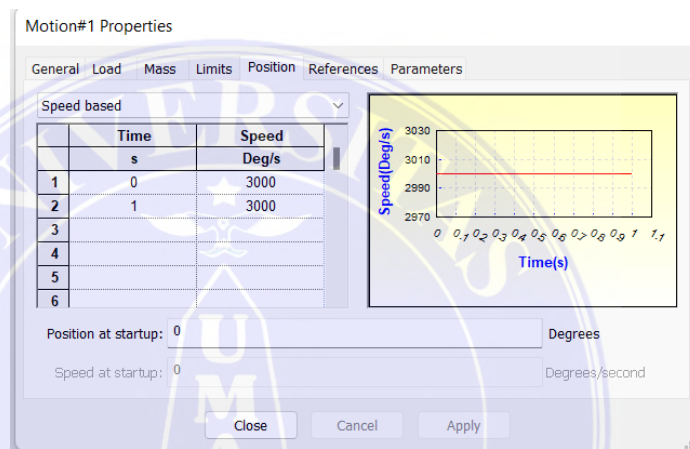
a. Setting Kecepatan Sudut pada Software FEM

Pengaturan kecepatan sudut dalam software FEM dilakukan dengan menggunakan satuan deg/s. Jika nilai rpm yang diketahui maka persamaan deg/s adalah sebagai berikut.

$$\omega = rpm. \left(\frac{360}{60} \right)$$

360 didapat dari konversi nilai 1 rotasi/putaran kedalam derajat.

Nilai 60 didapat dari konversi menit ke second.



Gambar 3. 5 Setting Kecepatan pada Software FEM

Dapat dilihat pada Gambar di atas, 3000 deg/s merupakan konversi dari 500 rpm. Kemudian nilai 0 dan 1 adalah waktu maksimum dari simulasi, yang artinya motor akan diputar selama 1 detik dengan kecepatan yang sama.

b. Setting Sampling Point

Sampling point pada software FEM merupakan range data yang diambil untuk di analisa. Dalam penelitian ini diambil sebanyak 2 gelombang sinus atau 180°.

Transient Options

Time step method:
Fixed Interval

	Time
Start:	0
Stop:	0.06
Step:	0.001

Seconds

Adaption tolerance: 1 %

Gambar 3. 6 Setting Data Sampling

Dapat dilihat pada gambar di atas, nilai tersebut dalam satuan second. Nilai start adalah waktu mulainya simulasi, nilai stop adalah waktu berakhirnya simulasi dan step adalah waktu ketika data diambil/muncul.

a) Start

Pada penelitian ini semua nilai start diberi nilai 0, sehingga dalam penelitian ini dapat melihat respon transiennya juga.

b) Stop

Stop merupakan batas sampling waktu dari data yang diambil. Dalam derajat batas yang ditentukan adalah 180° . Sehingga perlu diubah ke satuan second dengan nilai kecepatan sudut yang telah diketahui.

$$T = \omega \cdot 180^\circ.$$

Dengan nilai ω dalam satuan deg/s. Penetapan data sampling sebesar 180° dikarenakan untuk mengefisiensikan waktu. Karena jika mengambil nilai waktu maksimum (1s) akan mengakibatkan lamanya simulasi dan datanya pun merupakan data periodik nilainya akan tetap sama jika dilanjutkan.

c) Step

Step merupakan selang waktu ketika data diambil. diartikan dengan banyaknya data yang muncul dalam sekali Atau dapat sampling data. Jumlah banyaknya data yang ditentukan dalam penelitian ini adalah 60 pada tiap variabel. Perhitungannya sebagai berikut.

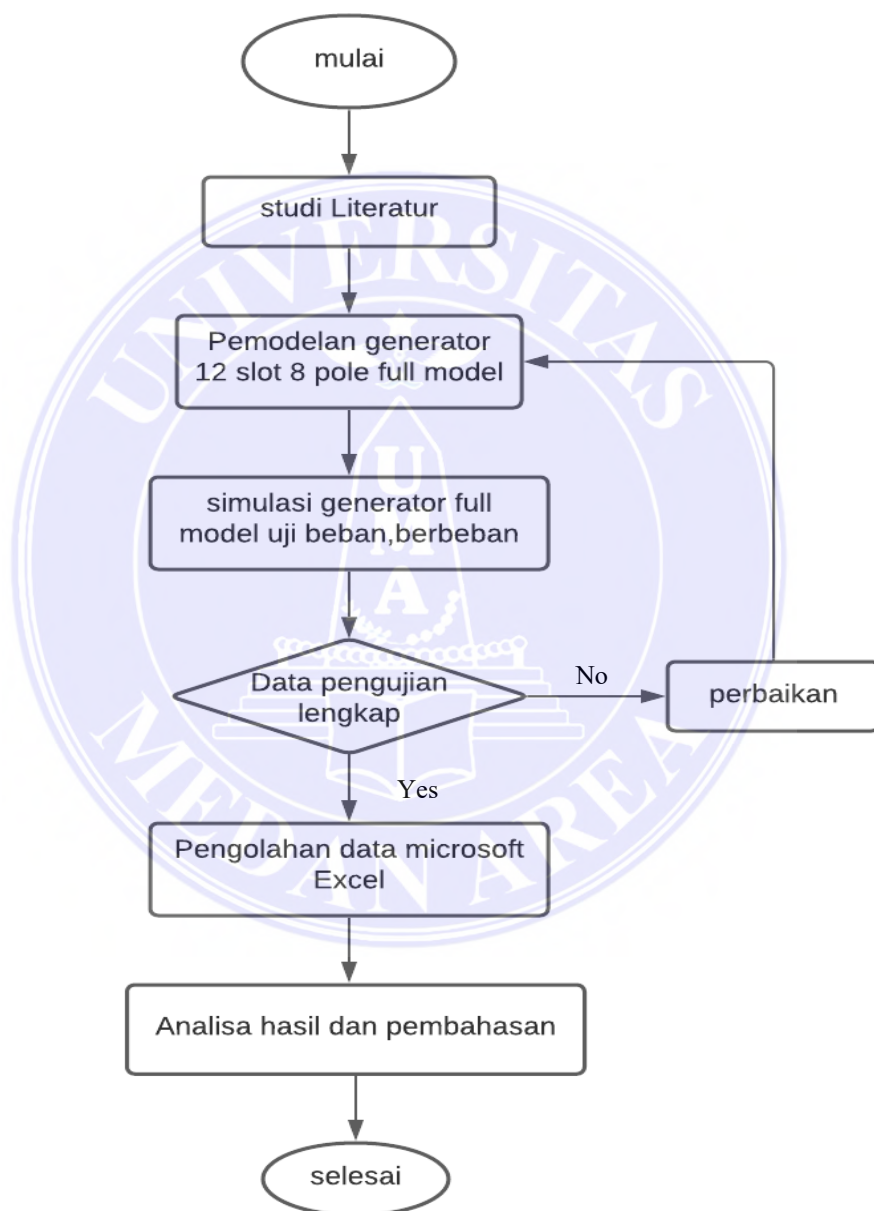
$$Step = \frac{stop}{60}$$

2. Analisa

Analisa pada penelitian ini didapat dari keluaran software FEM berupa arus, tegangan, torsi daya input, daya output dan efisiensi pada generator.

3.3.3 Analisa output

Analisa output dilakukan dengan melihat hasil dan mencatat hasil yang dikeluarkan oleh *Software* dan mengambil kesimpulan dan hasil yang sudah dianalisa tersebut.



Gambar 3. 7 flowchart penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas pada Bab IV, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada perancangan dari hasil pemodelan PMSG yang dilakukan mempunyai spesifikasi 12S8P, dengan jumlah lilitan tiap *coil* pada stator yaitu 100 lilitan dan luas permukaan kawat tembaga 1mm^2 , pole dengan jumlah 8 buah magnet dengan jenis PM12: Br 1.2, serta bahan dari stator dan rotor menggunakan material *Capenter Silicon Steel* dengan ketebalan bahan rotor dan stator yaitu 40mm .
2. Pada perancangan PMSG ini respon tahanan terbaik pada kecepatan 1000rpm didapat oleh tahanan 20Ω dengan daya keluaran sebesar 1,0771 kw dan efisiensi 82,71 %

5.2 Saran

Penulis memiliki saran dari beberapa pihak yang telah membantu dalam perancangan Analisa dan perancangan permanent magnet synchronous generator ini,yaitu:

1. Penggunaan *flux barrier* pada rootor untuk mendapatkan nilai *back EMF* yang lebih tinggi dan massa motor yang lebih ringan.
2. Perancangan sistem kontrol dari PMSG ke baterai agar dapat dilakukan *wind turbine* sistem *off grid* secara keseluruhan.
3. Penelitian selanjutnya dapat menentukan diameter kumparan ataupun kawat dan banyaknya lilitan guna lebih mendapatkan daya yang lebih.

4. Penelitian selanjutnya hendaknya memperhatikan Analisa ekonomi apabila ingin membuat kebentuk alat aslinya.



DAFTAR PUSTAKA

1. Reps, T., & Teitelbaum, T. (1984). The synthesizer generator. *ACM Sigplan Notices*, 19(5), 42-48.
2. Ayu Martha Lestari. 2018. "Analisa Harmonisa Pada Generator 12 Slot 8 Pole Dengan Software MagNet". Universitas Jember
3. Lentera Bumi Nusantara (LBN). (2014). Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin. Tasikmalaya, Jawa Barat.
4. Lentera Bumi Nusantara (LBN). (2015). Perancangan Motor Dengan Software Magnet. Tasikmalaya, Jawa Barat.
5. J.R. Handershot and THE Miller. 1994. "Design of Brushless Permanent-Magnet Motor". Oxford : Magna Physic Publishing and Clarendon Press.
6. Mario Sumantri, Satyo Nurhadi. 2017. "Analisa Pengaruh Variasi Slot dan Pole Terhadap Tegangan Dan Efisiensi Daya Pada Perancangan Generator Magnet Permanen Menggunakan Software MagNet. Universitas Teknologi Yogyakarta.
7. Kholis, M. N. (2020). Rancangan Permanent Magnet Synchronous Generator (Pmsg) 12 Slot 8 Pole Dengan Menggunakan Software Magnet Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
8. Chapman, S. (2012). Electric Machinery Fundamentals. Edisi 5. New York: The MacGraw-Hill Companies
9. D. Hanselman. 2006. "Brushless Permanent Magnet Motor Design". University of Maine.
10. T. Kenjo and S. Nagamori. 1985. "Permanent Magnet and Brushless DC motor". Oxford University
11. M. Rifqi Faqih, Sutedjo dan Endro Wahjono. 2019. "Design and Fabrication of a Radial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator". Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.

12. Hamdi E.S. 1996. "*Design of Small Electrical Machine*". Willey.
13. Meggi O.S dan Indra Yasri. 2018. "Aspek Rancangan Generator Magnet Permanen Fluks Radial Kecepatan Rendah". Universitas Riau.



LAMPIRAN

1. Back EMF

NO	Time (s)	M deg	E deg	Tegangan Phase (V)			Tegangan Lane (V)			Vdc (V)	BMF (V)
				U	V	W	UV	VW	WU		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	184.74
2	0.0005	3	12	116.919	-28.863	-70.957	-145.782	-42.094	187.876	187.876	KE
3	0.0010	6	24	106.794	-8.541	-91.604	-115.334	-83.063	198.397	198.397	
4	0.0015	9	36	73.198	24.186	-112.018	-49.012	-136.204	185.216	185.216	
5	0.0020	12	48	58.667	41.846	-122.040	-16.821	-163.886	180.707	180.707	1.7651
6	0.0025	15	60	42.507	54.370	-118.546	11.863	-172.916	161.053	172.916	
7	0.0030	18	72	28.863	70.957	-116.919	42.094	-187.876	145.782	187.876	
8	0.0035	21	84	8.541	91.604	-106.794	83.063	-198.397	115.334	198.397	1.7651
9	0.0040	24	96	-24.186	112.018	-73.198	136.204	-185.216	49.012	185.216	
10	0.0045	27	108	-41.846	122.040	-58.667	163.886	-180.707	16.821	180.707	
11	0.0050	30	120	-54.370	118.546	-42.507	172.916	-161.053	-11.863	172.916	1.7651
12	0.0055	33	132	-70.957	116.919	-28.863	187.876	-145.782	-42.094	187.876	
13	0.0060	36	144	-91.604	106.794	-8.541	198.397	-115.334	-83.063	198.397	
14	0.0065	39	156	-112.018	73.198	24.186	185.216	-49.012	-136.204	185.216	1.7651
15	0.0070	42	168	-122.040	58.667	41.846	180.707	-16.821	-163.886	180.707	
16	0.0075	45	180	-118.546	42.507	54.370	161.053	11.863	-172.916	172.916	
17	0.0080	48	192	-116.919	28.863	70.957	145.782	42.094	-187.876	187.876	1.7651
18	0.0085	51	204	-106.794	8.541	91.604	115.334	83.063	-198.397	198.397	
19	0.0090	54	216	-73.198	-24.186	112.018	49.012	136.204	-185.216	185.216	
20	0.0095	57	228	-58.667	-41.846	122.040	16.821	163.886	-180.707	180.707	1.7651
21	0.0100	60	240	-42.507	-54.370	118.546	-11.863	172.916	-161.053	172.916	
22	0.0105	63	252	-28.863	-70.957	116.919	-42.094	187.876	-145.782	187.876	
23	0.0110	66	264	-8.541	-91.604	106.794	-83.063	198.397	-115.334	198.397	1.7651
24	0.0115	69	276	24.186	-112.018	73.198	-136.204	185.216	-49.012	185.216	
25	0.0120	72	288	41.846	-122.040	58.667	-163.886	180.707	-16.821	180.707	
26	0.0125	75	300	54.370	-118.546	42.507	-172.916	161.053	11.863	172.916	1.7651
27	0.0130	78	312	70.957	-116.919	28.863	-187.876	145.782	42.094	187.876	
28	0.0135	81	324	91.604	-106.794	8.541	-198.397	115.334	83.063	198.397	
29	0.0140	84	336	112.018	-73.198	-24.186	-185.216	49.012	136.204	185.216	1.7651
30	0.0145	87	348	122.040	-58.667	-41.846	-180.707	16.821	163.886	180.707	
31	0.0150	90	360	118.546	-42.507	-54.370	-161.053	-11.863	172.916	172.916	
32	0.0155	93	372	116.919	-28.863	-70.957	-145.782	-42.094	187.876	187.876	1.7651
33	0.0160	96	384	106.794	-8.541	-91.604	-115.334	-83.063	198.397	198.397	
34	0.0165	99	396	73.198	24.186	-112.018	-49.012	-136.204	185.216	185.216	
35	0.0170	102	408	58.667	41.846	-122.040	-16.821	-163.886	180.707	180.707	1.7651
36	0.0175	105	420	42.507	54.370	-118.546	11.863	-172.916	161.053	172.916	

37	0.0180	108	432	28.863	70.957	-116.919	42.094	-187.876	145.782	187.876
38	0.0185	111	444	8.541	91.604	-106.794	83.063	-198.397	115.334	198.397
39	0.0190	114	456	-24.186	112.018	-73.198	136.204	-185.216	49.012	185.216
40	0.0195	117	468	-41.846	122.040	-58.667	163.886	-180.707	16.821	180.707
41	0.0200	120	480	-54.370	118.546	-42.507	172.916	-161.053	-11.863	172.916
42	0.0205	123	492	-70.957	116.919	-28.863	187.876	-145.782	-42.094	187.876
43	0.0210	126	504	-91.604	106.794	-8.541	198.397	-115.334	-83.063	198.397
44	0.0215	129	516	-112.018	73.198	24.186	185.216	-49.012	-136.204	185.216
45	0.0220	132	528	-122.040	58.667	41.846	180.707	-16.821	-163.886	180.707
46	0.0225	135	540	-118.546	42.507	54.370	161.053	11.863	-172.916	172.916
47	0.0230	138	552	-116.919	28.863	70.957	145.782	42.094	-187.876	187.876
48	0.0235	141	564	-106.794	8.541	91.604	115.334	83.063	-198.397	198.397
49	0.0240	144	576	-73.198	-24.186	112.018	49.012	136.204	-185.216	185.216
50	0.0245	147	588	-58.667	-41.846	122.040	16.821	163.886	-180.707	180.707
51	0.0250	150	600	-42.507	-54.370	118.546	-11.863	172.916	-161.053	172.916
52	0.0255	153	612	-28.863	-70.957	116.919	-42.094	187.876	-145.782	187.876
53	0.0260	156	624	-8.541	-91.604	106.794	-83.063	198.397	-115.334	198.397
54	0.0265	159	636	24.186	-112.018	73.198	-136.204	185.216	-49.012	185.216
55	0.0270	162	648	41.846	-122.040	58.667	-163.886	180.707	-16.821	180.707
56	0.0275	165	660	54.370	-118.546	42.507	-172.916	161.053	11.863	172.916
57	0.0280	168	672	70.957	-116.919	28.863	-187.876	145.782	42.094	187.876
58	0.0285	171	684	91.604	-106.794	8.541	-198.397	115.334	83.063	198.397
59	0.0290	174	696	112.018	-73.198	-24.186	-185.216	49.012	136.204	185.216
60	0.0295	177	708	122.040	-58.667	-41.846	-180.707	16.821	163.886	180.707
61	0.0300	180	720	118.546	-42.507	-54.370	-161.053	-11.863	172.916	172.916

2. Pengujian pada 500rpm

a. 20 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	104.461	0	0
2	0.0005	3	12	81.325	4.066	-10.924	1143.998	330.684	28.906
3	0.001	6	24	118.309	5.915	-13.275	1390.169	699.846	50.343
4	0.0015	9	36	130.714	6.536	-11.158	1168.502	854.313	73.112
5	0.002	12	48	150.531	7.527	-11.466	1200.699	1132.976	94.360
6	0.0025	15	60	156.883	7.844	-14.092	1475.758	1230.607	83.388
7	0.003	18	72	157.541	7.877	-16.197	1696.114	1240.960	73.165
8	0.0035	21	84	155.095	7.755	-13.847	1450.027	1202.724	82.945
9	0.004	24	96	142.208	7.110	-8.339	873.235	1011.160	115.795
10	0.0045	27	108	133.129	6.656	-9.826	1028.997	886.173	86.120
11	0.005	30	120	148.197	7.410	-13.385	1401.631	1098.114	78.345
12	0.0055	33	132	153.357	7.668	-15.952	1670.538	1175.913	70.391
13	0.006	36	144	153.087	7.654	-13.877	1453.154	1171.787	80.637
14	0.0065	39	156	141.186	7.059	-8.674	908.309	996.672	109.728

15	0.007	42	168	135.665	6.783	-10.075	1055.034	920.255	87.225
16	0.0075	45	180	149.157	7.458	-13.445	1407.912	1112.387	79.010
17	0.008	48	192	153.822	7.691	-15.969	1672.282	1183.061	70.745
18	0.0085	51	204	153.312	7.666	-13.886	1454.137	1175.229	80.820
19	0.009	54	216	141.304	7.065	-8.612	901.826	998.339	110.702
20	0.0095	57	228	135.075	6.754	-10.028	1050.103	912.262	86.874
21	0.01	60	240	148.924	7.446	-13.446	1408.037	1108.919	78.756
22	0.0105	63	252	153.709	7.685	-15.964	1671.786	1181.328	70.663
23	0.011	66	264	153.258	7.663	-13.851	1450.520	1174.396	80.964
24	0.0115	69	276	141.275	7.064	-8.608	901.465	997.938	110.702
25	0.012	72	288	135.206	6.760	-10.028	1050.115	914.030	87.041
26	0.0125	75	300	148.975	7.449	-13.429	1406.317	1109.685	78.907
27	0.013	78	312	153.734	7.687	-15.966	1671.925	1181.711	70.680
28	0.0135	81	324	153.270	7.663	-13.891	1454.689	1174.580	80.744
29	0.014	84	336	141.282	7.064	-8.626	903.339	998.027	110.482
30	0.0145	87	348	135.177	6.759	-10.038	1051.192	913.636	86.914
31	0.015	90	360	148.964	7.448	-13.449	1408.388	1109.514	78.779
32	0.0155	93	372	153.729	7.686	-15.965	1671.863	1181.625	70.677
33	0.016	96	384	153.267	7.663	-13.850	1450.396	1174.539	80.981
34	0.0165	99	396	141.280	7.064	-8.605	901.128	998.007	110.751
35	0.017	102	408	135.183	6.759	-10.026	1049.873	913.724	87.032
36	0.0175	105	420	148.967	7.448	-13.429	1406.238	1109.552	78.902
37	0.018	108	432	153.730	7.686	-15.966	1671.907	1181.644	70.676
38	0.0185	111	444	153.268	7.663	-13.892	1454.716	1174.548	80.741
39	0.019	114	456	141.281	7.064	-8.627	903.414	998.011	110.471
40	0.0195	117	468	135.182	6.759	-10.039	1051.246	913.704	86.916
41	0.02	120	480	148.966	7.448	-13.449	1408.406	1109.544	78.780
42	0.0205	123	492	153.730	7.686	-15.965	1671.867	1181.640	70.678
43	0.021	126	504	153.267	7.663	-13.850	1450.390	1174.546	80.981
44	0.0215	129	516	141.281	7.064	-8.605	901.111	998.010	110.753
45	0.022	132	528	135.182	6.759	-10.025	1049.861	913.708	87.031
46	0.0225	135	540	148.966	7.448	-13.429	1406.234	1109.546	78.902
47	0.023	138	552	153.730	7.686	-15.966	1671.907	1181.641	70.676
48	0.0235	141	564	153.268	7.663	-13.892	1454.718	1174.547	80.741
49	0.024	144	576	141.281	7.064	-8.627	903.418	998.011	110.471
50	0.0245	147	588	135.182	6.759	-10.039	1051.249	913.708	86.916
51	0.025	150	600	148.966	7.448	-13.449	1408.407	1109.545	78.780
52	0.0255	153	612	153.730	7.686	-15.965	1671.867	1181.641	70.678
53	0.026	156	624	153.268	7.663	-13.850	1450.390	1174.546	80.981
54	0.0265	159	636	141.281	7.064	-8.605	901.111	998.010	110.753
55	0.027	162	648	135.182	6.759	-10.025	1049.860	913.708	87.031
56	0.0275	165	660	148.966	7.448	-13.429	1406.234	1109.545	78.902
57	0.028	168	672	153.730	7.686	-15.966	1671.906	1181.641	70.676
58	0.0285	171	684	153.268	7.663	-13.892	1454.718	1174.547	80.740
59	0.029	174	696	141.281	7.064	-8.627	903.418	998.011	110.470

b. 30 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	104.461	0	0
2	0.0005	3	12	106.299	3.543	-10.119	1059.607	376.649	35.546
3	0.001	6	24	138.754	4.625	-11.357	1189.311	641.752	53.960
4	0.0015	9	36	154.750	5.158	-8.626	903.359	798.252	88.365
5	0.002	12	48	168.548	5.618	-8.047	842.683	946.946	112.373
6	0.0025	15	60	167.994	5.600	-10.433	1092.574	940.732	86.102
7	0.003	18	72	163.142	5.438	-12.537	1312.884	887.174	67.574
8	0.0035	21	84	158.555	5.285	-10.710	1121.550	837.987	74.717
9	0.004	24	96	139.664	4.655	-6.531	683.961	650.203	95.064
10	0.0045	27	108	169.535	5.651	-7.784	815.153	958.070	117.533
11	0.005	30	120	163.218	5.441	-10.182	1066.227	888.004	83.285
12	0.0055	33	132	161.456	5.382	-12.617	1321.200	868.933	65.768
13	0.006	36	144	157.932	5.264	-11.023	1154.357	831.414	72.024
14	0.0065	39	156	138.951	4.632	-7.207	754.756	643.583	85.270
15	0.007	42	168	164.704	5.490	-7.704	806.774	904.249	112.082
16	0.0075	45	180	162.111	5.404	-10.101	1057.808	876.000	82.813
17	0.008	48	192	161.166	5.372	-12.446	1303.304	865.820	66.433
18	0.0085	51	204	157.890	5.263	-10.718	1122.334	830.972	74.040
19	0.009	54	216	139.388	4.646	-6.600	691.173	647.634	93.701
20	0.0095	57	228	168.853	5.628	-7.771	813.760	950.378	116.788
21	0.01	60	240	163.064	5.435	-10.174	1065.371	886.332	83.195
22	0.0105	63	252	161.415	5.381	-12.597	1319.121	868.496	65.839
23	0.011	66	264	157.925	5.264	-10.984	1150.238	831.348	72.276
24	0.0115	69	276	139.011	4.634	-7.135	747.189	644.134	86.208
25	0.012	72	288	165.159	5.505	-7.710	807.406	909.250	112.614
26	0.0125	75	300	162.224	5.407	-10.107	1058.453	877.216	82.877
27	0.013	78	312	161.197	5.373	-12.463	1305.113	866.151	66.366
28	0.0135	81	324	157.895	5.263	-10.752	1125.967	831.030	73.806
29	0.014	84	336	139.353	4.645	-6.664	697.818	647.305	92.761
30	0.0145	87	348	168.415	5.614	-7.765	813.201	945.459	116.264
31	0.015	90	360	162.972	5.432	-10.169	1064.862	885.328	83.140
32	0.0155	93	372	161.393	5.380	-12.582	1317.543	868.252	65.899
33	0.016	96	384	157.923	5.264	-10.953	1147.025	831.325	72.477
34	0.0165	99	396	139.057	4.635	-7.079	741.265	644.558	86.954
35	0.017	102	408	165.519	5.517	-7.715	807.906	913.223	113.036
36	0.0175	105	420	162.311	5.410	-10.112	1058.955	878.167	82.928
38	0.0185	111	444	157.899	5.263	-10.779	1128.818	831.073	73.623
39	0.019	114	456	139.324	4.644	-6.713	703.036	647.036	92.035
40	0.0195	117	468	168.075	5.603	-7.761	812.761	941.643	115.857
41	0.02	120	480	162.899	5.430	-10.165	1064.457	884.533	83.097
42	0.0205	123	492	161.374	5.379	-12.570	1316.303	868.055	65.946
43	0.021	126	504	157.921	5.264	-10.929	1144.503	831.305	72.635

44	0.0215	129	516	139.091	4.636	-7.034	736.620	644.878	87.546
45	0.022	132	528	165.804	5.527	-7.719	808.298	916.367	113.370
46	0.0225	135	540	162.380	5.413	-10.116	1059.346	878.909	82.967
47	0.023	138	552	161.239	5.375	-12.487	1307.642	866.605	66.272
48	0.0235	141	564	157.902	5.263	-10.801	1131.055	831.106	73.481
49	0.024	144	576	139.300	4.643	-6.753	707.132	646.817	91.470
50	0.0245	147	588	167.810	5.594	-7.758	812.416	938.674	115.541
51	0.025	150	600	162.841	5.428	-10.162	1064.135	883.905	83.063
52	0.0255	153	612	161.360	5.379	-12.560	1315.328	867.898	65.983
53	0.026	156	624	157.920	5.264	-10.910	1142.524	831.287	72.759
54	0.0265	159	636	139.117	4.637	-6.999	732.978	645.122	88.014
55	0.027	162	648	166.029	5.534	-7.722	808.606	918.851	113.634
56	0.0275	165	660	162.434	5.414	-10.119	1059.650	879.489	82.998
57	0.028	168	672	161.254	5.375	-12.495	1308.513	866.759	66.240
58	0.0285	171	684	157.905	5.263	-10.818	1132.810	831.130	73.369
59	0.029	174	696	139.281	4.643	-6.783	710.347	646.640	91.032
60	0.0295	177	708	167.603	5.587	-7.755	812.144	936.361	115.295
61	0.03	180	720	162.795	5.427	-10.159	1063.881	883.409	83.036

c. 40 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	104.461	0	0
2	0.0005	3	12	125.208	3.130	-9.471	991.807	391.926	39.516
3	0.001	6	24	149.021	3.726	-10.016	1048.831	555.185	52.934
4	0.0015	9	36	165.872	4.147	-6.843	716.595	687.835	95.987
5	0.002	12	48	176.783	4.420	-5.902	618.106	781.308	126.403
6	0.0025	15	60	171.070	4.277	-8.259	864.863	731.622	84.594
7	0.003	18	72	163.913	4.098	-10.518	1101.410	671.689	60.984
8	0.0035	21	84	159.075	3.977	-9.080	950.838	632.624	66.533
9	0.004	24	96	139.674	3.492	-5.590	585.400	487.721	83.314
10	0.0045	27	108	167.805	4.195	-5.508	576.848	703.964	122.036
11	0.005	30	120	168.035	4.201	-8.150	853.505	705.896	82.706
12	0.0055	33	132	163.229	4.081	-10.501	1099.674	666.090	60.572
13	0.006	36	144	158.912	3.973	-9.063	949.097	631.328	66.519
14	0.0065	39	156	140.208	3.505	-5.594	585.774	491.460	83.899
15	0.007	42	168	167.988	4.200	-5.503	576.253	705.502	122.429
16	0.0075	45	180	168.099	4.202	-8.132	851.582	706.434	82.956
17	0.008	48	192	163.243	4.081	-10.500	1099.574	666.208	60.588
18	0.0085	51	204	158.916	3.973	-9.098	952.726	631.355	66.268
19	0.009	54	216	140.199	3.505	-5.616	588.111	491.395	83.555
20	0.0095	57	228	167.985	4.200	-5.517	577.696	705.475	122.119

21	0.01	60	240	168.098	4.202	-8.153	853.787	706.425	82.740
22	0.0105	63	252	163.243	4.081	-10.502	1099.717	666.206	60.580
23	0.011	66	264	158.916	3.973	-9.063	949.066	631.355	66.524
24	0.0115	69	276	140.199	3.505	-5.593	585.726	491.396	83.895
25	0.012	72	288	167.985	4.200	-5.503	576.238	705.476	122.428
26	0.0125	75	300	168.098	4.202	-8.132	851.577	706.425	82.955
27	0.013	78	312	163.243	4.081	-10.500	1099.573	666.206	60.588
28	0.0135	81	324	158.916	3.973	-9.098	952.727	631.355	66.268
29	0.014	84	336	140.199	3.505	-5.616	588.112	491.396	83.555
30	0.0145	87	348	167.985	4.200	-5.517	577.696	705.476	122.119
31	0.015	90	360	168.098	4.202	-8.153	853.787	706.425	82.740
32	0.0155	93	372	163.243	4.081	-10.502	1099.717	666.206	60.580
33	0.016	96	384	158.916	3.973	-9.063	949.066	631.355	66.524
34	0.0165	99	396	140.199	3.505	-5.593	585.726	491.396	83.895
35	0.017	102	408	167.985	4.200	-5.503	576.238	705.476	122.428
36	0.0175	105	420	168.098	4.202	-8.132	851.577	706.425	82.955
37	0.018	108	432	163.243	4.081	-10.500	1099.573	666.206	60.588
38	0.0185	111	444	158.916	3.973	-9.098	952.727	631.355	66.268
39	0.019	114	456	140.199	3.505	-5.616	588.112	491.396	83.555
40	0.0195	117	468	167.985	4.200	-5.517	577.696	705.476	122.119
41	0.02	120	480	168.098	4.202	-8.153	853.787	706.425	82.740
42	0.0205	123	492	163.243	4.081	-10.502	1099.717	666.206	60.580
43	0.021	126	504	158.916	3.973	-9.063	949.066	631.355	66.524
44	0.0215	129	516	140.199	3.505	-5.593	585.726	491.396	83.895
45	0.022	132	528	167.985	4.200	-5.503	576.238	705.476	122.428
46	0.0225	135	540	168.098	4.202	-8.132	851.577	706.425	82.955
47	0.023	138	552	163.243	4.081	-10.500	1099.573	666.206	60.588
48	0.0235	141	564	158.916	3.973	-9.098	952.727	631.355	66.268
49	0.024	144	576	140.199	3.505	-5.616	588.112	491.396	83.555
50	0.0245	147	588	167.985	4.200	-5.517	577.696	705.476	122.119
51	0.025	150	600	168.098	4.202	-8.153	853.787	706.425	82.740
52	0.0255	153	612	163.243	4.081	-10.502	1099.717	666.206	60.580
53	0.026	156	624	158.916	3.973	-9.063	949.066	631.355	66.524
54	0.0265	159	636	140.199	3.505	-5.593	585.726	491.396	83.895
55	0.027	162	648	167.985	4.200	-5.503	576.238	705.476	122.428
56	0.0275	165	660	168.098	4.202	-8.132	851.577	706.425	82.955
57	0.028	168	672	163.243	4.081	-10.500	1099.573	666.206	60.588
58	0.0285	171	684	158.916	3.973	-9.098	952.727	631.355	66.268
59	0.029	174	696	140.199	3.505	-5.616	588.112	491.396	83.555
60	0.0295	177	708	167.985	4.200	-5.517	577.696	705.476	122.119
61	0.03	180	720	168.098	4.202	-8.153	853.787	706.425	82.740

d. 50 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	104.461	0	0
2	0.0005	3	12	139.791	2.796	-8.941	936.264	390.832	41.744
3	0.001	6	24	155.359	3.107	-9.044	947.119	482.727	50.968
4	0.0015	9	36	172.359	3.447	-5.550	581.238	594.149	102.221
5	0.002	12	48	180.516	3.610	-4.443	465.304	651.724	140.064
6	0.0025	15	60	171.655	3.433	-6.865	718.886	589.310	81.975
7	0.003	18	72	163.806	3.276	-9.279	971.745	536.650	55.225
8	0.0035	21	84	158.997	3.180	-8.112	849.436	505.603	59.522
9	0.004	24	96	151.259	3.025	-4.763	498.744	457.588	91.748
10	0.0045	27	108	175.119	3.502	-4.257	445.806	613.333	137.578
11	0.005	30	120	170.373	3.407	-6.842	716.487	580.542	81.026
12	0.0055	33	132	163.627	3.273	-9.280	971.805	535.473	55.101
13	0.006	36	144	158.963	3.179	-8.088	847.002	505.382	59.667
14	0.0065	39	156	151.564	3.031	-4.752	497.613	459.434	92.328
15	0.007	42	168	175.197	3.504	-4.246	444.623	613.879	138.067
16	0.0075	45	180	170.394	3.408	-6.821	714.344	580.685	81.289
17	0.008	48	192	163.630	3.273	-9.278	971.637	535.492	55.112
18	0.0085	51	204	158.963	3.179	-8.122	850.515	505.385	59.421
19	0.009	54	216	151.562	3.031	-4.775	499.994	459.418	91.885
20	0.0095	57	228	175.196	3.504	-4.260	446.098	613.874	137.610
21	0.01	60	240	170.394	3.408	-6.843	716.562	580.683	81.037
22	0.0105	63	252	163.629	3.273	-9.280	971.810	535.492	55.103
23	0.011	66	264	158.963	3.179	-8.088	846.993	505.385	59.668
24	0.0115	69	276	151.562	3.031	-4.752	497.603	459.419	92.326
25	0.012	72	288	175.196	3.504	-4.246	444.621	613.874	138.067
26	0.0125	75	300	170.394	3.408	-6.821	714.343	580.684	81.289
27	0.013	78	312	163.629	3.273	-9.278	971.637	535.492	55.112
28	0.0135	81	324	158.963	3.179	-8.122	850.515	505.385	59.421
29	0.014	84	336	151.562	3.031	-4.775	499.994	459.419	91.885
30	0.0145	87	348	175.196	3.504	-4.260	446.098	613.874	137.610
31	0.015	90	360	170.394	3.408	-6.843	716.562	580.683	81.037
32	0.0155	93	372	163.629	3.273	-9.280	971.810	535.492	55.103
33	0.016	96	384	158.963	3.179	-8.088	846.993	505.385	59.668
34	0.0165	99	396	151.562	3.031	-4.752	497.603	459.419	92.326
35	0.017	102	408	175.196	3.504	-4.246	444.621	613.874	138.067
36	0.0175	105	420	170.394	3.408	-6.821	714.343	580.684	81.289
37	0.018	108	432	163.629	3.273	-9.278	971.637	535.492	55.112
38	0.0185	111	444	158.963	3.179	-8.122	850.515	505.385	59.421
39	0.019	114	456	151.562	3.031	-4.775	499.994	459.419	91.885
40	0.0195	117	468	175.196	3.504	-4.260	446.098	613.874	137.610
41	0.02	120	480	170.394	3.408	-6.843	716.562	580.683	81.037
42	0.0205	123	492	163.629	3.273	-9.280	971.810	535.492	55.103

43	0.021	126	504	158.963	3.179	-8.088	846.993	505.385	59.668
44	0.0215	129	516	151.562	3.031	-4.752	497.603	459.419	92.326
45	0.022	132	528	175.196	3.504	-4.246	444.621	613.874	138.067
46	0.0225	135	540	170.394	3.408	-6.821	714.343	580.684	81.289
47	0.023	138	552	163.629	3.273	-9.278	971.637	535.492	55.112
48	0.0235	141	564	158.963	3.179	-8.122	850.515	505.385	59.421
49	0.024	144	576	151.562	3.031	-4.775	499.994	459.419	91.885
50	0.0245	147	588	175.196	3.504	-4.260	446.098	613.874	137.610
51	0.025	150	600	170.394	3.408	-6.843	716.562	580.683	81.037
52	0.0255	153	612	163.629	3.273	-9.280	971.810	535.492	55.103
53	0.026	156	624	158.963	3.179	-8.088	846.993	505.385	59.668
54	0.0265	159	636	151.562	3.031	-4.752	497.603	459.419	92.326
55	0.027	162	648	175.196	3.504	-4.246	444.621	613.874	138.067
56	0.0275	165	660	170.394	3.408	-6.821	714.343	580.684	81.289
57	0.028	168	672	163.629	3.273	-9.278	971.637	535.492	55.112
58	0.0285	171	684	158.963	3.179	-8.122	850.515	505.385	59.421
59	0.029	174	696	151.562	3.031	-4.775	499.994	459.419	91.885
60	0.0295	177	708	175.196	3.504	-4.260	446.098	613.874	137.610
61	0.03	180	720	170.394	3.408	-6.843	716.562	580.683	81.037

3. Pengujian 750rpm

a. 20 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	208.921	0	0
2	0.00025	3	12	94.935	4.747	-12.055	2524.822	450.633	17.848
3	0.0005	6	24	158.305	7.915	-16.402	3435.146	1253.021	36.477
4	0.00075	9	36	188.560	9.428	-15.647	3277.140	1777.751	54.247
5	0.001	12	48	232.657	11.633	-18.717	3919.992	2706.472	69.043
6	0.00125	15	60	259.008	12.950	-22.634	4740.396	3354.262	70.759
7	0.0015	18	72	275.471	13.774	-25.460	5332.322	3794.218	71.155
8	0.00175	21	84	282.145	14.107	-22.662	4746.304	3980.293	83.861
9	0.002	24	96	276.179	13.809	-15.101	3162.729	3813.732	120.584
10	0.00225	27	108	261.254	13.063	-15.454	3236.591	3412.680	105.441
11	0.0025	30	120	245.660	12.283	-21.387	4479.352	3017.451	67.364
12	0.00275	33	132	265.160	13.258	-24.332	5096.136	3515.481	68.983
13	0.003	36	144	275.132	13.757	-21.433	4488.981	3784.874	84.315
14	0.00325	39	156	271.192	13.560	-13.550	2837.930	3677.268	129.576
15	0.0035	42	168	257.672	12.884	-13.714	2872.329	3319.737	115.576
16	0.00375	45	180	235.689	11.784	-20.174	4225.320	2777.460	65.734
17	0.004	48	192	259.097	12.955	-23.954	5016.840	3356.560	66.906
18	0.00425	51	204	271.020	13.551	-21.413	4484.674	3672.588	81.892
19	0.0045	54	216	268.321	13.416	-13.840	2898.678	3599.817	124.188
20	0.00475	57	228	255.654	12.783	-14.191	2972.181	3267.949	109.951

21	0.005	60	240	236.854	11.843	-20.552	4304.323	2805.002	65.167
22	0.00525	63	252	259.321	12.966	-23.920	5009.881	3362.377	67.115
23	0.0055	66	264	271.169	13.558	-21.271	4455.081	3676.630	82.527
24	0.00575	69	276	268.418	13.421	-13.631	2854.797	3602.400	126.188
25	0.006	72	288	255.714	12.786	-13.935	2918.517	3269.492	112.026
26	0.00625	75	300	235.428	11.771	-20.380	4268.411	2771.315	64.926
27	0.0065	78	312	258.596	12.930	-23.881	5001.729	3343.589	66.849
28	0.00675	81	324	270.677	13.534	-21.316	4464.416	3663.294	82.055
29	0.007	84	336	268.074	13.404	-13.693	2867.764	3593.190	125.296
30	0.00725	87	348	255.473	12.774	-14.015	2935.204	3263.335	111.179
31	0.0075	90	360	235.767	11.788	-20.440	4280.942	2779.296	64.923
32	0.00775	93	372	258.733	12.937	-23.883	5002.131	3347.142	66.914
33	0.008	96	384	270.770	13.538	-21.265	4453.806	3665.814	82.307
34	0.00825	99	396	268.139	13.407	-13.658	2860.501	3594.923	125.675
35	0.0085	102	408	255.519	12.776	-13.981	2928.239	3264.487	111.483
36	0.00875	105	420	235.656	11.783	-20.407	4274.108	2776.680	64.965
37	0.009	108	432	258.683	12.934	-23.886	5002.577	3345.843	66.882
38	0.00925	111	444	270.736	13.537	-21.314	4463.926	3664.892	82.100
39	0.0095	114	456	268.115	13.406	-13.682	2865.651	3594.288	125.427
40	0.00975	117	468	255.502	12.775	-14.000	2932.160	3264.064	111.319
41	0.01	120	480	235.687	11.784	-20.431	4279.098	2777.430	64.907
42	0.01025	123	492	258.697	12.935	-23.881	5001.705	3346.201	66.901
43	0.0105	126	504	270.745	13.537	-21.266	4453.848	3665.146	82.292
44	0.01075	129	516	268.122	13.406	-13.661	2861.080	3594.462	125.633
45	0.011	132	528	255.507	12.775	-13.986	2929.127	3264.180	111.439
46	0.01125	135	540	235.678	11.784	-20.410	4274.639	2777.203	64.969
47	0.0115	138	552	258.693	12.935	-23.886	5002.683	3346.091	66.886
48	0.01175	141	564	270.742	13.537	-21.314	4463.901	3665.068	82.105
49	0.012	144	576	268.120	13.406	-13.682	2865.473	3594.409	125.439
50	0.01225	147	588	255.505	12.775	-13.999	2931.894	3264.145	111.332
51	0.0125	150	600	235.681	11.784	-20.430	4278.938	2777.270	64.906
52	0.01275	153	612	258.694	12.935	-23.881	5001.671	3346.123	66.900
53	0.013	156	624	270.743	13.537	-21.266	4453.854	3665.091	82.290
54	0.01325	159	636	268.120	13.406	-13.661	2861.132	3594.424	125.629
55	0.0135	162	648	255.506	12.775	-13.986	2929.206	3264.155	111.435
56	0.01375	165	660	235.680	11.784	-20.410	4274.686	2777.250	64.970
57	0.014	168	672	258.693	12.935	-23.886	5002.693	3346.113	66.886
58	0.01425	171	684	270.743	13.537	-21.314	4463.899	3665.084	82.105
59	0.0145	174	696	268.120	13.406	-13.682	2865.457	3594.420	125.440
60	0.01475	177	708	255.505	12.775	-13.999	2931.870	3264.152	111.333
61	0.015	180	720	235.680	11.784	-20.430	4278.924	2777.256	64.905

b. 30 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	208.921	0	0
2	0.00025	3	12	131.128	4.371	-11.510	2410.596	573.149	23.776
3	0.0005	6	24	204.682	6.823	-14.812	3102.205	1396.487	45.016
4	0.00075	9	36	230.331	7.678	-13.389	2804.239	1768.415	63.062
5	0.001	12	48	276.135	9.205	-14.682	3074.985	2541.691	82.657
6	0.00125	15	60	295.801	9.860	-17.651	3696.725	2916.603	78.897
7	0.0015	18	72	306.136	10.205	-19.935	4175.116	3123.978	74.824
8	0.00175	21	84	306.764	10.225	-17.197	3601.736	3136.805	87.091
9	0.002	24	96	290.188	9.673	-10.460	2190.677	2806.964	128.132
10	0.00225	27	108	264.789	8.826	-11.627	2435.150	2337.112	95.974
11	0.0025	30	120	294.791	9.826	-17.595	3685.120	2896.734	78.606
12	0.00275	33	132	305.280	10.176	-20.276	4246.519	3106.535	73.155
13	0.003	36	144	306.246	10.208	-18.008	3771.588	3126.229	82.889
14	0.00325	39	156	289.875	9.662	-12.074	2528.692	2800.915	110.765
15	0.0035	42	168	264.349	8.812	-13.698	2868.857	2329.351	81.194
16	0.00375	45	180	294.277	9.809	-17.562	3678.184	2886.631	78.480
17	0.004	48	192	305.210	10.174	-19.995	4187.640	3105.109	74.149
18	0.00425	51	204	306.229	10.208	-17.420	3648.373	3125.874	85.679
19	0.0045	54	216	289.862	9.662	-10.913	2285.536	2800.660	122.538
20	0.00475	57	228	264.566	8.819	-12.212	2557.580	2333.168	91.226
21	0.005	60	240	296.970	9.899	-17.721	3711.573	2939.708	79.204
22	0.00525	63	252	306.595	10.220	-20.301	4251.876	3133.355	73.693
23	0.0055	66	264	307.016	10.234	-17.940	3757.446	3141.959	83.620
24	0.00575	69	276	290.334	9.678	-11.893	2490.896	2809.791	112.802
25	0.006	72	288	264.686	8.823	-13.454	2817.742	2335.296	82.878
26	0.00625	75	300	294.911	9.830	-17.596	3685.385	2899.079	78.664
27	0.0065	78	312	305.559	10.185	-20.053	4199.955	3112.206	74.101
28	0.00675	81	324	306.431	10.214	-17.519	3669.209	3129.989	85.304
29	0.007	84	336	289.981	9.666	-11.084	2321.442	2802.969	120.743
30	0.00725	87	348	264.622	8.821	-12.425	2602.268	2334.159	89.697
31	0.0075	90	360	296.625	9.887	-17.705	3708.050	2932.876	79.095
32	0.00775	93	372	306.431	10.214	-20.259	4243.138	3130.008	73.766
33	0.008	96	384	306.925	10.231	-17.862	3740.953	3140.105	83.939
34	0.00825	99	396	290.279	9.676	-11.752	2461.412	2808.724	114.110
35	0.0085	102	408	264.688	8.823	-13.277	2780.714	2335.327	83.983
36	0.00875	105	420	295.196	9.840	-17.611	3688.526	2904.688	78.749
37	0.009	108	432	305.709	10.190	-20.089	4207.397	3115.267	74.043
38	0.00925	111	444	306.517	10.217	-17.585	3683.010	3131.751	85.032
39	0.0095	114	456	290.032	9.668	-11.201	2345.928	2803.960	119.525
40	0.00975	117	468	264.640	8.821	-12.571	2632.952	2334.469	88.664
41	0.01	120	480	296.377	9.879	-17.692	3705.467	2927.979	79.018
42	0.01025	123	492	306.310	10.210	-20.230	4237.014	3127.532	73.815

43	0.0105	126	504	306.858	10.229	-17.807	3729.525	3138.720	84.159
44	0.01075	129	516	290.238	9.675	-11.655	2441.058	2807.928	115.029
45	0.011	132	528	264.685	8.823	-13.155	2755.178	2335.269	84.759
46	0.01125	135	540	295.393	9.846	-17.622	3690.678	2908.565	78.808
47	0.0115	138	552	305.812	10.194	-20.113	4212.518	3117.359	74.002
48	0.01175	141	564	306.575	10.219	-17.630	3692.522	3132.951	84.846
49	0.012	144	576	290.067	9.669	-11.282	2362.816	2804.638	118.699
50	0.01225	147	588	264.650	8.822	-12.672	2654.117	2334.658	87.964
51	0.0125	150	600	296.208	9.874	-17.684	3703.684	2924.631	78.965
52	0.01275	153	612	306.226	10.208	-20.210	4232.784	3125.817	73.848
53	0.013	156	624	306.810	10.227	-17.770	3721.641	3137.756	84.311
54	0.01325	159	636	290.209	9.674	-11.588	2427.023	2807.375	115.672
55	0.0135	162	648	264.681	8.823	-13.071	2737.573	2335.206	85.302
56	0.01375	165	660	295.529	9.851	-17.629	3692.162	2911.254	78.850
57	0.014	168	672	305.882	10.196	-20.130	4216.047	3118.800	73.975
58	0.01425	171	684	306.616	10.221	-17.662	3699.079	3133.775	84.718
59	0.0145	174	696	290.092	9.670	-11.337	2374.465	2805.105	118.136
60	0.01475	177	708	264.657	8.822	-12.742	2668.717	2334.777	87.487
61	0.015	180	720	296.091	9.870	-17.678	3702.454	2922.336	78.930

c. 40 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	208.921	0	0
2	0.00025	3	12	161.976	4.049	-11.031	2310.391	655.909	28.390
3	0.0005	6	24	238.021	5.951	-13.524	2832.540	1416.352	50.003
4	0.00075	9	36	264.745	6.619	-11.520	2412.705	1752.247	72.626
5	0.001	12	48	306.296	7.657	-11.970	2506.957	2345.439	93.557
6	0.00125	15	60	320.263	8.007	-14.633	3064.799	2564.216	83.667
7	0.0015	18	72	322.224	8.056	-16.706	3498.979	2595.704	74.185
8	0.00175	21	84	317.568	7.939	-14.240	2982.504	2521.240	84.534
9	0.002	24	96	292.384	7.310	-8.486	1777.240	2137.203	120.254
10	0.00225	27	108	268.519	6.713	-10.094	2114.021	1802.560	85.267
11	0.0025	30	120	302.432	7.561	-13.890	2909.216	2286.622	78.599
12	0.00275	33	132	313.364	7.834	-16.467	3448.836	2454.932	71.181
13	0.003	36	144	313.190	7.830	-14.328	3000.899	2452.198	81.715
14	0.00325	39	156	290.096	7.252	-8.959	1876.473	2103.888	112.119
15	0.0035	42	168	275.519	6.888	-10.461	2190.931	1897.772	86.619
16	0.00375	45	180	304.952	7.624	-13.978	2927.554	2324.889	79.414
17	0.004	48	192	314.625	7.866	-16.486	3452.848	2474.726	71.672
18	0.00425	51	204	313.817	7.845	-14.317	2998.545	2462.025	82.107
19	0.0045	54	216	290.432	7.261	-8.846	1852.719	2108.763	113.820
20	0.00475	57	228	273.620	6.841	-10.372	2172.306	1871.704	86.162
21	0.005	60	240	304.241	7.606	-13.968	2925.497	2314.060	79.100

22	0.00525	63	252	314.270	7.857	-16.480	3451.483	2469.140	71.539
23	0.0055	66	264	313.640	7.841	-14.288	2992.573	2459.257	82.179
24	0.00575	69	276	290.338	7.258	-8.859	1855.491	2107.397	113.576
25	0.006	72	288	274.114	6.853	-10.385	2175.108	1878.466	86.362
26	0.00625	75	300	304.425	7.611	-13.955	2922.818	2316.864	79.268
27	0.0065	78	312	314.362	7.859	-16.482	3451.923	2470.588	71.571
28	0.00675	81	324	313.686	7.842	-14.327	3000.616	2459.974	81.982
29	0.007	84	336	290.362	7.259	-8.872	1858.165	2107.752	113.432
30	0.00725	87	348	273.985	6.850	-10.392	2176.421	1876.699	86.229
31	0.0075	90	360	304.377	7.609	-13.974	2926.721	2316.131	79.137
32	0.00775	93	372	314.338	7.858	-16.481	3451.718	2470.209	71.565
33	0.008	96	384	313.674	7.842	-14.286	2992.029	2459.787	82.211
34	0.00825	99	396	290.356	7.259	-8.853	1854.068	2107.659	113.678
35	0.0085	102	408	274.019	6.850	-10.380	2174.033	1877.160	86.345
36	0.00875	105	420	304.389	7.610	-13.954	2922.498	2316.322	79.258
37	0.009	108	432	314.344	7.859	-16.481	3451.862	2470.308	71.565
38	0.00925	111	444	313.677	7.842	-14.328	3000.758	2459.836	81.974
39	0.0095	114	456	290.357	7.259	-8.874	1858.536	2107.683	113.406
40	0.00975	117	468	274.010	6.850	-10.393	2176.701	1877.040	86.233
41	0.01	120	480	304.386	7.610	-13.974	2926.805	2316.272	79.140
42	0.01025	123	492	314.343	7.859	-16.481	3451.734	2470.282	71.566
43	0.0105	126	504	313.676	7.842	-14.286	2991.992	2459.823	82.214
44	0.01075	129	516	290.357	7.259	-8.852	1853.971	2107.677	113.684
45	0.011	132	528	274.012	6.850	-10.380	2173.960	1877.071	86.343
46	0.01125	135	540	304.387	7.610	-13.954	2922.477	2316.285	79.258
47	0.0115	138	552	314.343	7.859	-16.481	3451.857	2470.289	71.564
48	0.01175	141	564	313.677	7.842	-14.328	3000.768	2459.826	81.973
49	0.012	144	576	290.357	7.259	-8.874	1858.561	2107.679	113.404
50	0.01225	147	588	274.012	6.850	-10.393	2176.720	1877.063	86.234
51	0.0125	150	600	304.387	7.610	-13.974	2926.810	2316.282	79.140
52	0.01275	153	612	314.343	7.859	-16.481	3451.735	2470.287	71.567
53	0.013	156	624	313.677	7.842	-14.286	2991.990	2459.825	82.214
54	0.01325	159	636	290.357	7.259	-8.852	1853.965	2107.678	113.685
55	0.0135	162	648	274.012	6.850	-10.380	2173.955	1877.065	86.343
56	0.01375	165	660	304.387	7.610	-13.954	2922.475	2316.283	79.258
57	0.014	168	672	314.343	7.859	-16.481	3451.857	2470.288	71.564
58	0.01425	171	684	313.677	7.842	-14.328	3000.768	2459.826	81.973
59	0.0145	174	696	290.357	7.259	-8.874	1858.563	2107.678	113.404
60	0.01475	177	708	274.012	6.850	-10.393	2176.722	1877.065	86.234
61	0.015	180	720	304.387	7.610	-13.974	2926.811	2316.283	79.140

d. 50 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	208.921	0	0
2	0.00025	3	12	188.499	3.770	-10.608	2221.732	710.634	31.986
3	0.0005	6	24	262.057	5.241	-12.468	2611.259	1373.480	52.598
4	0.00075	9	36	290.398	5.808	-10.074	2109.837	1686.621	79.941
5	0.001	12	48	327.744	6.555	-9.984	2091.091	2148.329	102.737
6	0.00125	15	60	334.064	6.681	-12.458	2609.196	2231.970	85.542
7	0.0015	18	72	329.431	6.589	-14.487	3034.175	2170.497	71.535
8	0.00175	21	84	321.691	6.434	-12.303	2576.651	2069.701	80.325
9	0.002	24	96	290.014	5.800	-7.337	1536.632	1682.159	109.470
10	0.00225	27	108	294.030	5.881	-8.697	1821.445	1729.071	94.929
11	0.0025	30	120	313.650	6.273	-11.772	2465.544	1967.521	79.801
12	0.00275	33	132	320.863	6.417	-14.245	2983.464	2059.068	69.016
13	0.003	36	144	318.121	6.362	-12.262	2568.058	2024.013	78.815
14	0.00325	39	156	288.401	5.768	-7.486	1567.943	1663.504	106.095
15	0.0035	42	168	300.665	6.013	-8.879	1859.699	1807.986	97.219
16	0.00375	45	180	315.808	6.316	-11.829	2477.376	1994.688	80.516
17	0.004	48	192	321.791	6.436	-14.299	2994.739	2070.989	69.154
18	0.00425	51	204	318.498	6.370	-12.364	2589.409	2028.823	78.351
19	0.0045	54	216	288.528	5.771	-7.607	1593.155	1664.972	104.508
20	0.00475	57	228	303.791	6.076	-8.988	1882.457	1845.778	98.052
21	0.005	60	240	317.050	6.341	-11.892	2490.662	2010.409	80.718
22	0.00525	63	252	322.302	6.446	-14.326	3000.501	2077.575	69.241
23	0.0055	66	264	318.707	6.374	-12.353	2587.213	2031.486	78.520
24	0.00575	69	276	288.602	5.772	-7.628	1597.603	1665.822	104.270
25	0.006	72	288	305.168	6.103	-9.017	1888.434	1862.546	98.629
26	0.00625	75	300	317.596	6.352	-11.890	2490.213	2017.338	81.011
27	0.0065	78	312	322.527	6.451	-14.338	3002.954	2080.472	69.281
28	0.00675	81	324	318.799	6.376	-12.405	2598.085	2032.656	78.237
29	0.007	84	336	288.634	5.773	-7.669	1606.224	1666.196	103.734
30	0.00725	87	348	305.765	6.115	-9.048	1895.054	1869.847	98.670
31	0.0075	90	360	317.832	6.357	-11.919	2496.278	2020.346	80.934
32	0.00775	93	372	322.624	6.452	-14.343	3004.082	2081.728	69.297
33	0.008	96	384	318.839	6.377	-12.371	2590.979	2033.163	78.471
34	0.00825	99	396	288.648	5.773	-7.655	1603.271	1666.357	103.935
35	0.0085	102	408	306.024	6.120	-9.043	1893.896	1873.015	98.897
36	0.00875	105	420	317.935	6.359	-11.902	2492.648	2021.649	81.104
37	0.009	108	432	322.666	6.453	-14.345	3004.506	2082.272	69.305
38	0.00925	111	444	318.856	6.377	-12.413	2599.718	2033.383	78.216
39	0.0095	114	456	288.654	5.773	-7.681	1608.679	1666.427	103.590
40	0.00975	117	468	306.136	6.123	-9.060	1897.419	1874.388	98.786
41	0.01	120	480	317.979	6.360	-11.924	2497.332	2022.213	80.975
42	0.01025	123	492	322.685	6.454	-14.347	3004.754	2082.507	69.307

43	0.0105	126	504	318.863	6.377	-12.374	2591.686	2033.478	78.462
44	0.01075	129	516	288.657	5.773	-7.660	1604.333	1666.457	103.872
45	0.011	132	528	306.185	6.124	-9.048	1894.920	1874.982	98.948
46	0.01125	135	540	317.998	6.360	-11.904	2493.104	2022.458	81.122
47	0.0115	138	552	322.693	6.454	-14.347	3004.797	2082.610	69.309
48	0.01175	141	564	318.867	6.377	-12.414	2600.024	2033.520	78.212
49	0.012	144	576	288.658	5.773	-7.683	1609.139	1666.470	103.563
50	0.01225	147	588	306.206	6.124	-9.062	1897.862	1875.239	98.808
51	0.0125	150	600	318.007	6.360	-11.925	2497.529	2022.563	80.983
52	0.01275	153	612	322.696	6.454	-14.347	3004.880	2082.653	69.309
53	0.013	156	624	318.868	6.377	-12.375	2591.818	2033.537	78.460
54	0.01325	159	636	288.659	5.773	-7.661	1604.533	1666.476	103.861
55	0.0135	162	648	306.215	6.124	-9.048	1895.112	1875.351	98.957
56	0.01375	165	660	318.010	6.360	-11.904	2493.189	2022.609	81.125
57	0.014	168	672	322.697	6.454	-14.347	3004.852	2082.673	69.310
58	0.01425	171	684	318.869	6.377	-12.414	2600.081	2033.545	78.211
59	0.0145	174	696	288.659	5.773	-7.683	1609.226	1666.478	103.558
60	0.01475	177	708	306.219	6.124	-9.062	1897.945	1875.399	98.812
61	0.015	180	720	318.012	6.360	-11.925	2497.566	2022.629	80.984

4. Pengujian 1000rpm

a. 20 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	313.382	0	0
2	0.0001667	3	12	100.341	5.017	-12.504	3928.276	503.415	12.815
3	0.0003334	6	24	176.048	8.802	-17.789	5588.470	1549.644	27.729
4	0.0005001	9	36	221.350	11.068	-17.731	5570.444	2449.793	43.978
5	0.0006668	12	48	264.441	13.222	-21.854	6865.719	3496.457	50.926
6	0.0008335	15	60	311.691	15.585	-27.028	8491.127	4857.573	57.208
7	0.0010002	18	72	344.752	17.238	-30.609	9615.997	5942.691	61.800
8	0.0011669	21	84	364.000	18.200	-27.886	8760.501	6624.809	75.621
9	0.0013336	24	96	369.605	18.480	-19.369	6084.829	6830.386	112.253
10	0.0015003	27	108	363.616	18.181	-18.856	5923.811	6610.829	111.598
11	0.001667	30	120	346.136	17.307	-24.359	7652.718	5990.500	78.279
12	0.0018337	33	132	338.943	16.947	-29.593	9296.825	5744.127	61.786
13	0.0020004	36	144	359.516	17.976	-26.259	8249.631	6462.579	78.338
14	0.0021671	39	156	365.919	18.296	-16.803	5278.860	6694.827	126.823
15	0.0023338	42	168	360.446	18.022	-15.753	4949.012	6496.063	131.260
16	0.0025005	45	180	343.270	17.164	-21.060	6616.146	5891.717	89.051
17	0.0026672	48	192	317.034	15.852	-27.441	8620.969	5025.544	58.294
18	0.0028339	51	204	339.208	16.960	-24.707	7762.038	5753.118	74.119
19	0.0030006	54	216	349.933	17.497	-15.637	4912.387	6122.661	124.637
20	0.0031673	57	228	347.691	17.385	-14.880	4674.654	6044.467	129.303

21	0.003334	60	240	333.054	16.653	-20.425	6416.576	5546.233	86.436
22	0.0035007	63	252	309.586	15.479	-26.926	8458.929	4792.187	56.652
23	0.0036674	66	264	333.797	16.690	-24.361	7653.381	5571.024	72.792
24	0.0038341	69	276	345.671	17.284	-15.590	4897.836	5974.432	121.981
25	0.0040008	72	288	344.322	17.216	-15.008	4714.972	5927.887	125.725
26	0.0041675	75	300	330.387	16.519	-20.639	6483.869	5457.787	84.175
27	0.0043342	78	312	309.851	15.493	-27.041	8495.300	4800.394	56.506
28	0.0045009	81	324	334.656	16.733	-24.500	7696.835	5599.745	72.754
29	0.0046676	84	336	346.340	17.317	-15.716	4937.450	5997.556	121.471
30	0.0048343	87	348	344.849	17.242	-15.144	4757.513	5946.039	124.982
31	0.005001	90	360	330.805	16.540	-20.779	6527.969	5471.586	83.818
32	0.0051677	93	372	310.666	15.533	-27.110	8516.731	4825.665	56.661
33	0.0053344	96	384	335.399	16.770	-24.490	7693.611	5624.616	73.108
34	0.0055011	99	396	346.912	17.346	-15.717	4937.498	6017.380	121.871
35	0.0056678	102	408	345.291	17.265	-15.148	4758.885	5961.305	125.267
36	0.0058345	105	420	331.144	16.557	-20.766	6523.936	5482.815	84.042
37	0.0060012	108	432	310.832	15.542	-27.127	8522.045	4830.817	56.686
38	0.0061679	111	444	335.492	16.775	-24.528	7705.642	5627.728	73.034
39	0.0063346	114	456	346.972	17.349	-15.724	4939.972	6019.485	121.853
40	0.0065013	117	468	345.327	17.266	-15.156	4761.432	5962.528	125.226
41	0.006668	120	480	331.158	16.558	-20.780	6528.226	5483.291	83.994
42	0.0068347	123	492	310.802	15.540	-27.115	8518.428	4829.894	56.699
43	0.0070014	126	504	335.455	16.773	-24.465	7685.775	5626.499	73.207
44	0.0071681	129	516	346.931	17.347	-15.694	4930.466	6018.071	122.059
45	0.0073348	132	528	345.282	17.264	-15.145	4758.022	5960.986	125.283
46	0.0075015	135	540	331.110	16.555	-20.763	6522.742	5481.686	84.040
47	0.0076682	138	552	310.794	15.540	-27.125	8521.420	4829.655	56.677
48	0.0078349	141	564	335.455	16.773	-24.501	7697.155	5626.493	73.098
49	0.0080016	144	576	346.919	17.346	-15.707	4934.595	6017.656	121.948
50	0.0081683	147	588	345.261	17.263	-15.163	4763.509	5960.241	125.123
51	0.008335	150	600	331.080	16.554	-20.788	6530.594	5480.700	83.923
52	0.0085017	153	612	310.811	15.541	-27.119	8519.762	4830.168	56.694
53	0.0086684	156	624	335.475	16.774	-24.443	7678.956	5627.183	73.281
54	0.0088351	159	636	346.924	17.346	-15.681	4926.370	6017.807	122.155
55	0.0090018	162	648	345.252	17.263	-15.155	4761.219	5959.943	125.177
56	0.0091685	165	660	331.060	16.553	-20.773	6526.113	5480.052	83.971
57	0.0093352	168	672	310.830	15.542	-27.131	8523.431	4830.776	56.676
58	0.0095019	171	684	335.497	16.775	-24.480	7690.598	5627.902	73.179
59	0.0096686	174	696	346.929	17.346	-15.695	4930.645	6017.980	122.053
60	0.0098353	177	708	345.244	17.262	-15.173	4766.658	5959.662	125.028
61	0.01	180	720	331.275	16.564	-20.741	6516.114	5487.167	84.209

b. 30 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	313.382	0	0
2	0.0001667	3	12	141.642	4.721	-12.098	3800.824	668.749	17.595
3	0.0003334	6	24	237.060	7.902	-16.517	5188.844	1873.254	36.102
4	0.0005001	9	36	283.414	9.447	-15.822	4970.673	2677.450	53.865
5	0.0006668	12	48	349.605	11.653	-18.994	5967.071	4074.112	68.277
6	0.0008335	15	60	390.387	13.013	-22.975	7217.927	5080.061	70.381
7	0.0010002	18	72	416.053	13.868	-25.822	8112.146	5770.015	71.128
8	0.0011669	21	84	426.807	14.227	-22.983	7220.192	6072.143	84.099
9	0.0013336	24	96	418.710	13.957	-15.284	4801.765	5843.931	121.704
10	0.0015003	27	108	397.048	13.235	-15.567	4890.605	5254.916	107.449
11	0.001667	30	120	370.956	12.365	-21.643	6799.309	4586.953	67.462
12	0.0018337	33	132	401.672	13.389	-24.765	7780.267	5378.001	69.124
13	0.0020004	36	144	416.940	13.898	-21.809	6851.559	5794.622	84.574
14	0.0021671	39	156	411.611	13.720	-13.812	4339.029	5647.445	130.155
15	0.0023338	42	168	391.888	13.063	-13.922	4373.861	5119.202	117.041
16	0.0025005	45	180	359.332	11.978	-20.334	6388.241	4303.977	67.373
17	0.0026672	48	192	394.719	13.157	-24.527	7705.430	5193.439	67.400
18	0.0028339	51	204	412.185	13.740	-21.910	6883.111	5663.227	82.277
19	0.0030006	54	216	408.262	13.609	-14.251	4477.001	5555.921	124.099
20	0.0031673	57	228	389.510	12.984	-14.576	4579.090	5057.268	110.443
21	0.003334	60	240	360.324	12.011	-20.962	6585.287	4327.771	65.719
22	0.0035007	63	252	395.006	13.167	-24.462	7684.954	5200.985	67.678
23	0.0036674	66	264	412.360	13.745	-21.674	6808.970	5668.013	83.243
24	0.0038341	69	276	408.348	13.612	-13.906	4368.632	5558.269	127.231
25	0.0040008	72	288	389.540	12.985	-14.160	4448.506	5058.034	113.702
26	0.0041675	75	300	357.661	11.922	-20.635	6482.767	4264.038	65.775
27	0.0043342	78	312	393.584	13.119	-24.424	7672.955	5163.603	67.296
28	0.0045009	81	324	411.379	13.713	-21.735	6828.211	5641.090	82.614
29	0.0046676	84	336	407.644	13.588	-14.030	4407.785	5539.111	125.667
30	0.0048343	87	348	389.027	12.968	-14.337	4504.069	5044.731	112.004
31	0.005001	90	360	358.081	11.936	-20.803	6535.375	4274.073	65.399
32	0.0051677	93	372	393.740	13.125	-24.410	7668.514	5167.716	67.389
33	0.0053344	96	384	411.474	13.716	-21.641	6798.684	5643.702	83.012
34	0.0055011	99	396	407.687	13.590	-13.929	4376.058	5540.279	126.604
35	0.0056678	102	408	389.036	12.968	-14.233	4471.453	5044.957	112.826
36	0.0058345	105	420	357.272	11.909	-20.723	6510.224	4254.766	65.355
37	0.0060012	108	432	393.314	13.110	-24.399	7665.082	5156.537	67.273
38	0.0061679	111	444	411.173	13.706	-21.675	6809.470	5635.438	82.759
39	0.0063346	114	456	407.456	13.582	-13.960	4385.665	5534.004	126.184
40	0.0065013	117	468	388.855	12.962	-14.277	4485.160	5040.262	112.376
41	0.006668	120	480	357.479	11.916	-20.761	6522.210	4259.719	65.311
42	0.0068347	123	492	393.380	13.113	-24.396	7664.124	5158.259	67.304

43	0.0070014	126	504	411.208	13.707	-21.615	6790.491	5636.388	83.004
44	0.0071681	129	516	407.461	13.582	-13.925	4374.757	5534.136	126.502
45	0.0073348	132	528	388.840	12.961	-14.258	4479.371	5039.888	112.513
46	0.0075015	135	540	357.411	11.914	-20.737	6514.622	4258.080	65.362
47	0.0076682	138	552	393.330	13.111	-24.400	7665.428	5156.956	67.276
48	0.0078349	141	564	411.163	13.705	-21.649	6801.375	5635.178	82.854
49	0.0080016	144	576	407.410	13.580	-13.940	4379.531	5532.773	126.333
50	0.0081683	147	588	388.787	12.960	-14.277	4485.285	5038.509	112.334
51	0.008335	150	600	357.439	11.915	-20.759	6521.543	4258.761	65.303
52	0.0085017	153	612	393.324	13.111	-24.395	7663.767	5156.797	67.288
53	0.0086684	156	624	411.149	13.705	-21.591	6782.950	5634.786	83.073
54	0.0088351	159	636	407.381	13.579	-13.912	4370.436	5531.975	126.577
55	0.0090018	162	648	388.748	12.958	-14.267	4482.134	5037.510	112.391
56	0.0091685	165	660	357.439	11.915	-20.740	6515.688	4258.750	65.361
57	0.0093352	168	672	393.306	13.110	-24.400	7665.445	5156.311	67.267
58	0.0095019	171	684	411.126	13.704	-21.625	6793.667	5634.159	82.933
59	0.0096686	174	696	407.346	13.578	-13.925	4374.712	5531.016	126.432
60	0.0098353	177	708	388.706	12.957	-14.283	4487.254	5036.403	112.238
61	0.01	180	720	357.390	11.913	-20.717	6508.538	4257.592	65.415

c. 40 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	313.382	0	0
2	0.0001667	3	12	178.456	4.461	-11.730	3685.034	796.162	21.605
3	0.0003334	6	24	285.780	7.144	-15.423	4845.284	2041.754	42.139
4	0.0005001	9	36	325.996	8.150	-14.287	4488.419	2656.838	59.193
5	0.0006668	12	48	396.562	9.914	-16.117	5063.206	3931.532	77.649
6	0.0008335	15	60	431.267	10.782	-19.377	6087.334	4649.772	76.384
7	0.0010002	18	72	450.837	11.271	-21.797	6847.611	5081.348	74.206
8	0.0011669	21	84	455.198	11.380	-18.946	5952.088	5180.141	87.031
9	0.0013336	24	96	435.900	10.897	-11.791	3704.124	4750.218	128.241
10	0.0015003	27	108	402.832	10.071	-12.632	3968.554	4056.850	102.225
11	0.001667	30	120	409.886	10.247	-18.482	5806.145	4200.168	72.340
12	0.0018337	33	132	437.538	10.938	-21.385	6718.425	4785.989	71.237
13	0.0020004	36	144	446.976	11.174	-18.900	5937.553	4994.694	84.120
14	0.0021671	39	156	430.636	10.766	-12.214	3837.288	4636.176	120.819
15	0.0023338	42	168	399.440	9.986	-13.322	4185.076	3988.801	95.310
16	0.0025005	45	180	426.647	10.666	-19.171	6022.754	4550.693	75.558
17	0.0026672	48	192	447.801	11.195	-21.903	6881.040	5013.152	72.855
18	0.0028339	51	204	453.307	11.333	-19.375	6086.950	5137.189	84.397
19	0.0030006	54	216	434.656	10.866	-12.721	3996.408	4723.150	118.185

20	0.0031673	57	228	401.993	10.050	-13.867	4356.336	4039.962	92.738
21	0.003334	60	240	437.898	10.947	-19.667	6178.439	4793.877	77.590
22	0.0035007	63	252	454.679	11.367	-22.219	6980.275	5168.324	74.042
23	0.0036674	66	264	457.532	11.438	-19.542	6139.234	5233.379	85.245
24	0.0038341	69	276	437.327	10.933	-12.916	4057.542	4781.377	117.839
25	0.0040008	72	288	403.703	10.093	-14.076	4422.021	4074.402	92.139
26	0.0041675	75	300	442.417	11.060	-19.837	6232.057	4893.322	78.519
27	0.0043342	78	312	457.418	11.435	-22.348	7020.729	5230.771	74.505
28	0.0045009	81	324	459.208	11.480	-19.665	6177.790	5271.801	85.335
29	0.0046676	84	336	438.373	10.959	-13.006	4086.100	4804.267	117.576
30	0.0048343	87	348	404.350	10.109	-14.163	4449.377	4087.480	91.866
31	0.005001	90	360	443.882	11.097	-19.919	6257.743	4925.781	78.715
32	0.0051677	93	372	458.306	11.458	-22.385	7032.492	5251.104	74.669
33	0.0053344	96	384	459.742	11.494	-19.636	6168.924	5284.073	85.656
34	0.0055011	99	396	438.689	10.967	-13.003	4085.014	4811.201	117.777
35	0.0056678	102	408	404.530	10.113	-14.176	4453.649	4091.118	91.860
36	0.0058345	105	420	444.393	11.110	-19.921	6258.510	4937.131	78.887
37	0.0060012	108	432	458.613	11.465	-22.405	7038.668	5258.147	74.704
38	0.0061679	111	444	459.918	11.498	-19.683	6183.526	5288.110	85.519
39	0.0063346	114	456	438.776	10.969	-13.029	4093.300	4813.119	117.585
40	0.0065013	117	468	404.563	10.114	-14.204	4462.354	4091.788	91.696
41	0.006668	120	480	444.695	11.117	-19.954	6268.694	4943.848	78.866
42	0.0068347	123	492	458.793	11.470	-22.411	7040.700	5262.266	74.741
43	0.0070014	126	504	460.015	11.500	-19.635	6168.462	5290.336	85.764
44	0.0071681	129	516	438.814	10.970	-13.011	4087.510	4813.933	117.772
45	0.0073348	132	528	404.564	10.114	-14.205	4462.754	4091.804	91.688
46	0.0075015	135	540	444.980	11.124	-19.947	6266.509	4950.173	78.994
47	0.0076682	138	552	458.961	11.474	-22.425	7045.088	5266.133	74.749
48	0.0078349	141	564	460.105	11.503	-19.678	6181.942	5292.406	85.611
49	0.0080016	144	576	438.846	10.971	-13.036	4095.314	4814.655	117.565
50	0.0081683	147	588	404.562	10.114	-14.232	4471.222	4091.764	91.513
51	0.008335	150	600	445.275	11.132	-19.979	6276.540	4956.749	78.973
52	0.0085017	153	612	459.136	11.478	-22.432	7047.094	5270.153	74.785
53	0.0086684	156	624	460.199	11.505	-19.630	6167.059	5294.569	85.852
54	0.0088351	159	636	438.882	10.972	-13.018	4089.700	4815.430	117.745
55	0.0090018	162	648	404.562	10.114	-14.234	4471.883	4091.756	91.500
56	0.0091685	165	660	445.578	11.139	-19.973	6274.666	4963.494	79.104
57	0.0093352	168	672	459.316	11.483	-22.446	7051.669	5274.278	74.795
58	0.0095019	171	684	460.295	11.507	-19.673	6180.569	5296.797	85.701
59	0.0096686	174	696	438.919	10.973	-13.043	4097.678	4816.246	117.536
60	0.0098353	177	708	404.563	10.114	-14.262	4480.510	4091.771	91.324
61	0.01	180	720	444.793	11.120	-19.956	6269.317	4946.023	78.893

d. 50 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	313.382	0	0
2	0.0001667	3	12	211.459	4.229	-11.393	3579.247	894.301	24.986
3	0.0003334	6	24	324.878	6.498	-14.476	4547.731	2110.911	46.417
4	0.0005001	9	36	365.175	7.303	-12.887	4048.651	2667.053	65.875
5	0.0006668	12	48	432.739	8.655	-13.948	4381.744	3745.268	85.474
6	0.0008335	15	60	459.834	9.197	-16.794	5275.940	4228.949	80.155
7	0.0010002	18	72	472.114	9.442	-18.987	5965.066	4457.836	74.732
8	0.0011669	21	84	470.675	9.414	-16.282	5115.063	4430.706	86.621
9	0.0013336	24	96	441.839	8.837	-9.752	3063.525	3904.440	127.449
10	0.0015003	27	108	400.142	8.003	-11.133	3497.608	3202.275	91.556
11	0.001667	30	120	452.271	9.045	-16.542	5196.735	4090.986	78.722
12	0.0018337	33	132	467.575	9.352	-19.185	6027.131	4372.528	72.547
13	0.0020004	36	144	468.110	9.362	-16.940	5321.847	4382.541	82.350
14	0.0021671	39	156	440.280	8.806	-11.180	3512.213	3876.930	110.384
15	0.0023338	42	168	406.733	8.135	-12.791	4018.363	3308.630	82.338
16	0.0025005	45	180	451.997	9.040	-16.522	5190.686	4086.028	78.718
17	0.0026672	48	192	467.666	9.353	-18.962	5957.111	4374.235	73.429
18	0.0028339	51	204	468.182	9.364	-16.458	5170.547	4383.883	84.786
19	0.0030006	54	216	440.319	8.806	-10.221	3211.096	3877.614	120.757
20	0.0031673	57	228	399.086	7.982	-11.785	3702.434	3185.392	86.035
21	0.003334	60	240	450.113	9.002	-16.474	5175.469	4052.034	78.293
22	0.0035007	63	252	466.522	9.330	-19.054	5986.085	4352.858	72.716
23	0.0036674	66	264	467.473	9.349	-16.673	5238.035	4370.625	83.440
24	0.0038341	69	276	439.889	8.798	-10.742	3374.684	3870.041	114.679
25	0.0040008	72	288	399.271	7.985	-12.465	3916.019	3188.352	81.418
26	0.0041675	75	300	448.758	8.975	-16.410	5155.440	4027.666	78.125
27	0.0043342	78	312	465.842	9.317	-18.934	5948.158	4340.174	72.967
28	0.0045009	81	324	467.099	9.342	-16.466	5172.962	4363.630	84.355
29	0.0046676	84	336	439.650	8.793	-10.323	3243.207	3865.841	119.198
30	0.0048343	87	348	398.627	7.973	-11.951	3754.665	3178.077	84.643
31	0.005001	90	360	449.432	8.989	-16.452	5168.420	4039.791	78.163
32	0.0051677	93	372	466.151	9.323	-19.020	5975.375	4345.941	72.731
33	0.0053344	96	384	467.246	9.345	-16.590	5212.034	4366.378	83.775
34	0.0055011	99	396	439.693	8.794	-10.623	3337.279	3866.607	115.861
35	0.0056678	102	408	398.485	7.970	-12.358	3882.239	3175.800	81.803
36	0.0058345	105	420	448.521	8.970	-16.403	5153.045	4023.422	78.079
37	0.0060012	108	432	465.693	9.314	-18.947	5952.310	4337.391	72.869
38	0.0061679	111	444	466.988	9.340	-16.477	5176.359	4361.557	84.259
39	0.0063346	114	456	439.518	8.790	-10.375	3259.555	3863.513	118.529
40	0.0065013	117	468	398.471	7.969	-12.042	3783.250	3175.581	83.938
41	0.006668	120	480	449.131	8.983	-16.442	5165.556	4034.378	78.102
42	0.0068347	123	492	465.989	9.320	-19.005	5970.736	4342.920	72.737

43	0.0070014	126	504	467.133	9.343	-16.539	5195.888	4364.256	83.994
44	0.0071681	129	516	439.562	8.791	-10.558	3316.846	3864.297	116.505
45	0.0073348	132	528	398.379	7.968	-12.299	3863.956	3174.111	82.147
46	0.0075015	135	540	448.544	8.971	-16.404	5153.506	4023.829	78.079
47	0.0076682	138	552	465.692	9.314	-18.960	5956.313	4337.374	72.820
48	0.0078349	141	564	466.961	9.339	-16.478	5176.631	4361.043	84.245
49	0.0080016	144	576	439.433	8.789	-10.405	3268.957	3862.034	118.143
50	0.0081683	147	588	398.350	7.967	-12.104	3802.658	3173.658	83.459
51	0.008335	150	600	448.914	8.978	-16.436	5163.545	4030.484	78.057
52	0.0085017	153	612	465.870	9.317	-18.997	5967.927	4340.690	72.734
53	0.0086684	156	624	467.042	9.341	-16.498	5183.072	4362.565	84.169
54	0.0088351	159	636	439.443	8.789	-10.512	3302.414	3862.209	116.951
55	0.0090018	162	648	398.270	7.965	-12.265	3853.261	3172.383	82.330
56	0.0091685	165	660	448.520	8.970	-16.404	5153.504	4023.402	78.071
57	0.0093352	168	672	465.667	9.313	-18.968	5958.957	4336.922	72.780
58	0.0095019	171	684	466.921	9.338	-16.470	5174.231	4360.304	84.270
59	0.0096686	174	696	439.342	8.787	-10.420	3273.597	3860.433	117.926
60	0.0098353	177	708	398.231	7.965	-12.147	3816.041	3171.759	83.116
61	0.01	180	720	448.303	8.966	-16.412	5155.848	4019.512	77.960

5. Pengujian 1250rpm

a. 20 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	417.842	0	0
2	0.000125	3	12	103.208	5.160	-12.742	5337.223	532.596	9.979
3	0.00025	6	24	185.927	9.296	-18.560	7774.257	1728.446	22.233
4	0.000375	9	36	240.582	12.029	-18.961	7942.535	2893.975	36.436
5	0.0005	12	48	284.045	14.202	-23.719	9935.452	4034.073	40.603
6	0.000625	15	60	344.222	17.211	-29.724	12450.824	5924.447	47.583
7	0.00075	18	72	389.366	19.468	-33.866	14185.948	7580.312	53.435
8	0.000875	21	84	419.168	20.958	-31.291	13106.979	8785.085	67.026
9	0.001	24	96	434.838	21.742	-22.449	9403.322	9454.188	100.541
10	0.001125	27	108	438.283	21.914	-21.503	9006.956	9604.585	106.635
11	0.00125	30	120	428.336	21.417	-26.419	11066.388	9173.605	82.896
12	0.001375	33	132	404.765	20.238	-31.862	13346.249	8191.746	61.379
13	0.0015	36	144	424.668	21.233	-29.885	12518.236	9017.152	72.032
14	0.001625	39	156	439.138	21.957	-19.432	8139.561	9642.126	118.460
15	0.00175	42	168	441.494	22.075	-17.484	7323.725	9745.863	133.072
16	0.001875	45	180	430.454	21.523	-21.981	9207.535	9264.527	100.619
17	0.002	48	192	407.090	20.354	-27.357	11459.252	8286.094	72.309
18	0.002125	51	204	384.008	19.200	-26.441	11075.515	7373.091	66.571
19	0.00225	54	216	405.433	20.272	-16.218	6793.336	8218.798	120.983
20	0.002375	57	228	412.933	20.647	-14.575	6105.035	8525.696	139.650

21	0.0025	60	240	406.102	20.305	-19.452	8147.944	8245.922	101.202
22	0.002625	63	252	386.780	19.339	-25.202	10556.475	7479.926	70.856
23	0.00275	66	264	362.447	18.122	-24.970	10459.354	6568.408	62.799
24	0.002875	69	276	386.499	19.325	-15.450	6471.617	7469.060	115.413
25	0.003	72	288	396.997	19.850	-14.285	5983.549	7880.331	131.700
26	0.003125	75	300	392.704	19.635	-19.481	8160.117	7710.836	94.494
27	0.00325	78	312	375.504	18.775	-25.516	10687.998	7050.162	65.963
28	0.003375	81	324	361.526	18.076	-25.316	10604.404	6535.069	61.626
29	0.0035	84	336	386.822	19.341	-15.995	6699.966	7481.547	111.665
30	0.003625	87	348	397.326	19.866	-14.959	6266.113	7893.398	125.970
31	0.00375	90	360	393.070	19.654	-20.216	8467.910	7725.211	91.229
32	0.003875	93	372	375.765	18.788	-26.235	10989.191	7059.982	64.245
33	0.004	96	384	369.214	18.461	-25.960	10874.051	6815.946	62.681
34	0.004125	99	396	393.223	19.661	-16.625	6963.999	7731.209	111.017
35	0.00425	102	408	402.757	20.138	-15.548	6512.566	8110.666	124.539
36	0.004375	105	420	397.708	19.885	-20.729	8683.079	7908.570	91.080
37	0.0045	108	432	379.630	18.982	-26.702	11185.059	7205.948	64.425
38	0.004625	111	444	374.439	18.722	-26.372	11046.792	7010.239	63.459
39	0.00475	114	456	397.559	19.878	-16.885	7072.797	7902.672	111.733
40	0.004875	117	468	406.414	20.321	-15.712	6581.448	8258.622	125.483
41	0.005	120	480	400.795	20.040	-20.835	8727.298	8031.812	92.031
42	0.005125	123	492	382.223	19.111	-26.722	11193.177	7304.710	65.260
43	0.00525	126	504	374.982	18.749	-26.296	11015.036	7030.582	63.827
44	0.005375	129	516	398.003	19.900	-16.772	7025.441	7920.326	112.738
45	0.0055	132	528	406.775	20.339	-15.563	6519.093	8273.314	126.909
46	0.005625	135	540	401.078	20.054	-20.657	8652.931	8043.165	92.953
47	0.00575	138	552	382.474	19.124	-26.564	11127.156	7314.304	65.734
48	0.005875	141	564	373.252	18.663	-26.182	10967.188	6965.865	63.516
49	0.006	144	576	396.564	19.828	-16.628	6965.170	7863.140	112.892
50	0.006125	147	588	405.553	20.278	-15.419	6458.707	8223.642	127.326
51	0.00625	150	600	400.030	20.002	-20.535	8601.534	8001.212	93.021
52	0.006375	153	612	381.603	19.080	-26.429	11070.478	7281.032	65.770
53	0.0065	156	624	371.825	18.591	-26.028	10902.642	6912.704	63.404
54	0.006625	159	636	395.379	19.769	-16.533	6925.503	7816.235	112.862
55	0.00675	162	648	404.552	20.228	-15.352	6430.738	8183.133	127.250
56	0.006875	165	660	399.184	19.959	-20.477	8577.263	7967.408	92.890
57	0.007	168	672	380.893	19.045	-26.415	11064.726	7253.983	65.560
58	0.007125	171	684	371.527	18.576	-26.071	10920.751	6901.601	63.197
59	0.00725	174	696	395.133	19.757	-16.565	6938.795	7806.490	112.505
60	0.007375	177	708	404.347	20.217	-15.390	6446.527	8174.842	126.810
61	0.0075	180	720	399.016	19.951	-20.530	8599.430	7960.694	92.572

b. 30 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	417.842	0	0
2	0.000125	3	12	147.395	4.913	-12.420	5202.427	724.178	13.920
3	0.00025	6	24	255.964	8.532	-17.514	7336.365	2183.927	29.769
4	0.000375	9	36	318.427	10.614	-17.315	7253.089	3379.855	46.599
5	0.0005	12	48	384.112	12.804	-21.268	8908.564	4918.076	55.206
6	0.000625	15	60	446.917	14.897	-26.153	10954.916	6657.823	60.775
7	0.00075	18	72	489.886	16.330	-29.533	12370.808	7999.625	64.665
8	0.000875	21	84	513.549	17.118	-26.744	11202.427	8791.093	78.475
9	0.001	24	96	517.280	17.243	-18.375	7696.883	8919.302	115.882
10	0.001125	27	108	504.559	16.819	-17.995	7537.563	8485.981	112.583
11	0.00125	30	120	475.875	15.862	-23.721	9936.260	7548.567	75.970
12	0.001375	33	132	489.150	16.305	-29.173	12220.116	7975.588	65.266
13	0.0015	36	144	512.958	17.099	-25.960	10873.915	8770.863	80.660
14	0.001625	39	156	516.699	17.223	-17.007	7123.894	8899.263	124.921
15	0.00175	42	168	503.935	16.798	-16.275	6817.108	8465.028	124.173
16	0.001875	45	180	475.122	15.837	-21.852	9153.371	7524.707	82.207
17	0.002	48	192	459.283	15.309	-27.426	11488.363	7031.365	61.204
18	0.002125	51	204	490.733	16.358	-24.551	10283.801	8027.295	78.058
19	0.00225	54	216	499.542	16.651	-15.645	6553.207	8318.078	126.931
20	0.002375	57	228	490.503	16.350	-14.979	6274.253	8019.760	127.820
21	0.0025	60	240	464.513	15.484	-20.674	8659.808	7192.398	83.055
22	0.002625	63	252	444.007	14.800	-26.550	11121.140	6571.415	59.089
23	0.00275	66	264	478.457	15.949	-23.930	10023.733	7630.714	76.126
24	0.002875	69	276	490.100	16.337	-15.305	6410.998	8006.612	124.889
25	0.003	72	288	483.165	16.105	-14.809	6203.105	7781.602	125.447
26	0.003125	75	300	458.801	15.293	-20.606	8631.380	7016.601	81.292
27	0.00325	78	312	441.528	14.718	-26.489	11095.873	6498.228	58.564
28	0.003375	81	324	477.206	15.907	-23.969	10039.935	7590.852	75.607
29	0.0035	84	336	489.145	16.305	-15.382	6443.243	7975.421	123.780
30	0.003625	87	348	482.434	16.081	-14.920	6249.576	7758.078	124.138
31	0.00375	90	360	458.248	15.275	-20.746	8690.054	6999.719	80.549
32	0.003875	93	372	442.347	14.745	-26.553	11122.387	6522.370	58.642
33	0.004	96	384	478.136	15.938	-23.974	10042.145	7620.462	75.885
34	0.004125	99	396	489.862	16.329	-15.408	6453.939	7998.822	123.937
35	0.00425	102	408	482.994	16.100	-14.946	6260.622	7776.101	124.207
36	0.004375	105	420	458.688	15.290	-20.758	8695.276	7013.164	80.655
37	0.0045	108	432	442.847	14.762	-26.586	11136.444	6537.115	58.700
38	0.004625	111	444	478.508	15.950	-24.040	10069.770	7632.324	75.794
39	0.00475	114	456	490.148	16.338	-15.436	6465.767	8008.167	123.855
40	0.004875	117	468	483.216	16.107	-14.962	6267.174	7783.257	124.191
41	0.005	120	480	458.861	15.295	-20.779	8703.695	7018.446	80.638
42	0.005125	123	492	442.828	14.761	-26.576	11132.226	6536.543	58.717

43	0.00525	126	504	478.493	15.950	-23.986	10047.388	7631.855	75.959
44	0.005375	129	516	490.136	16.338	-15.409	6454.586	8007.780	124.063
45	0.0055	132	528	483.206	16.107	-14.941	6258.393	7782.933	124.360
46	0.005625	135	540	458.852	15.295	-20.749	8691.344	7018.170	80.749
47	0.00575	138	552	442.707	14.757	-26.576	11132.248	6532.972	58.685
48	0.005875	141	564	478.396	15.947	-24.030	10065.570	7628.762	75.791
49	0.006	144	576	490.061	16.335	-15.424	6460.749	8005.336	123.907
50	0.006125	147	588	483.147	16.105	-14.949	6261.730	7781.050	124.264
51	0.00625	150	600	458.806	15.294	-20.766	8698.247	7016.763	80.669
52	0.006375	153	612	442.658	14.755	-26.566	11127.960	6531.523	58.695
53	0.0065	156	624	478.356	15.945	-23.979	10044.237	7627.493	75.939
54	0.006625	159	636	490.031	16.334	-15.403	6452.185	8004.337	124.056
55	0.00675	162	648	483.124	16.104	-14.936	6256.500	7780.286	124.355
56	0.006875	165	660	458.788	15.293	-20.746	8689.862	7016.201	80.740
57	0.007	168	672	442.654	14.755	-26.574	11131.168	6531.430	58.677
58	0.007125	171	684	478.357	15.945	-24.028	10064.982	7627.522	75.783
59	0.00725	174	696	490.031	16.334	-15.424	6460.646	8004.361	123.894
60	0.007375	177	708	483.124	16.104	-14.949	6261.932	7780.306	124.248
61	0.0075	180	720	458.788	15.293	-20.766	8698.630	7016.217	80.659

c. 40 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	417.842	0	0
2	0.000125	3	12	187.724	4.693	-12.122	5077.638	881.008	17.351
3	0.00025	6	24	314.877	7.872	-16.585	6947.076	2478.692	35.680
4	0.000375	9	36	377.475	9.437	-15.928	6671.982	3562.181	53.390
5	0.0005	12	48	465.306	11.633	-19.154	8023.236	5412.741	67.463
6	0.000625	15	60	520.735	13.018	-23.184	9711.136	6779.134	69.808
7	0.00075	18	72	555.805	13.895	-26.047	10910.333	7722.991	70.786
8	0.000875	21	84	570.822	14.271	-23.188	9713.150	8145.939	83.865
9	0.001	24	96	560.879	14.022	-15.424	6460.812	7864.634	121.728
10	0.001125	27	108	532.774	13.319	-15.633	6548.520	7096.210	108.364
11	0.00125	30	120	495.773	12.394	-21.791	9127.766	6144.775	67.320
12	0.001375	33	132	538.471	13.462	-25.081	10506.112	7248.786	68.996
13	0.0015	36	144	558.879	13.972	-22.121	9265.998	7808.637	84.272
14	0.001625	39	156	552.264	13.807	-14.072	5894.624	7624.888	129.353
15	0.00175	42	168	526.497	13.162	-14.109	5909.920	6929.970	117.260
16	0.001875	45	180	483.579	12.089	-20.484	8580.486	5846.213	68.134
17	0.002	48	192	530.367	13.259	-24.885	10423.878	7032.235	67.463
18	0.002125	51	204	553.324	13.833	-22.254	9321.653	7654.181	82.112
19	0.00225	54	216	548.361	13.709	-14.526	6084.760	7517.483	123.546
20	0.002375	57	228	523.735	13.093	-14.760	6182.662	6857.463	110.914
21	0.0025	60	240	483.287	12.082	-21.181	8872.312	5839.168	65.813

22	0.002625	63	252	530.589	13.265	-24.808	10391.566	7038.110	67.729
23	0.00275	66	264	553.464	13.837	-22.028	9227.112	7658.060	82.995
24	0.002875	69	276	548.426	13.711	-14.165	5933.347	7519.286	126.729
25	0.003	72	288	523.755	13.094	-14.311	5994.415	6857.981	114.406
26	0.003125	75	300	481.648	12.041	-20.743	8688.630	5799.631	66.750
27	0.00325	78	312	529.346	13.234	-24.809	10392.057	7005.193	67.409
28	0.003375	81	324	552.616	13.815	-22.150	9278.071	7634.619	82.287
29	0.0035	84	336	547.842	13.696	-14.365	6017.289	7503.264	124.695
30	0.003625	87	348	523.351	13.084	-14.566	6101.254	6847.398	112.229
31	0.00375	90	360	481.397	12.035	-21.032	8810.030	5793.571	65.761
32	0.003875	93	372	529.497	13.237	-24.778	10378.910	7009.171	67.533
33	0.004	96	384	552.715	13.818	-22.033	9229.050	7637.340	82.753
34	0.004125	99	396	547.898	13.697	-14.211	5952.509	7504.819	126.078
35	0.00425	102	408	523.381	13.085	-14.381	6023.707	6848.179	113.687
36	0.004375	105	420	481.391	12.035	-20.824	8722.728	5793.441	66.418
37	0.0045	108	432	529.267	13.232	-24.796	10386.497	7003.092	67.425
38	0.004625	111	444	552.560	13.814	-22.125	9267.674	7633.066	82.362
39	0.00475	114	456	547.797	13.695	-14.321	5998.862	7502.052	125.058
40	0.004875	117	468	523.315	13.083	-14.510	6078.132	6846.476	112.641
41	0.005	120	480	481.363	12.034	-20.973	8785.064	5792.759	65.939
42	0.005125	123	492	529.402	13.235	-24.781	10380.160	7006.662	67.501
43	0.00525	126	504	552.651	13.816	-22.046	9234.552	7635.568	82.685
44	0.005375	129	516	547.856	13.696	-14.238	5964.204	7503.645	125.811
45	0.0055	132	528	523.352	13.084	-14.417	6039.035	6847.435	113.386
46	0.005625	135	540	481.377	12.034	-20.864	8739.584	5793.089	66.286
47	0.00575	138	552	529.305	13.233	-24.793	10385.179	7004.104	67.443
48	0.005875	141	564	552.586	13.815	-22.115	9263.602	7633.774	82.406
49	0.006	144	576	547.814	13.695	-14.302	5990.662	7502.497	125.237
50	0.006125	147	588	523.325	13.083	-14.485	6067.513	6846.739	112.843
51	0.00625	150	600	481.366	12.034	-20.945	8773.443	5792.838	66.027
52	0.006375	153	612	529.371	13.234	-24.783	10380.983	7005.841	67.487
53	0.0065	156	624	552.630	13.816	-22.052	9237.293	7634.991	82.654
54	0.006625	159	636	547.842	13.696	-14.252	5969.802	7503.275	125.687
55	0.00675	162	648	523.343	13.084	-14.434	6046.307	6847.210	113.246
56	0.006875	165	660	481.373	12.034	-20.883	8747.551	5793.005	66.224
57	0.007	168	672	529.326	13.233	-24.791	10384.600	7004.645	67.452
58	0.007125	171	684	552.599	13.815	-22.111	9261.711	7634.153	82.427
59	0.00725	174	696	547.823	13.696	-14.292	5986.813	7502.740	125.321
60	0.007375	177	708	523.331	13.083	-14.473	6062.519	6846.886	112.938
61	0.0075	180	720	481.368	12.034	-20.932	8767.973	5792.890	66.069

d. 50 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	417.842	0	0
2	0.000125	3	12	224.698	4.494	-11.845	4961.603	1009.784	20.352
3	0.00025	6	24	364.667	7.293	-15.755	6599.523	2659.636	40.300
4	0.000375	9	36	422.098	8.442	-14.750	6178.364	3563.328	57.674
5	0.0005	12	48	515.370	10.307	-16.954	7101.596	5312.128	74.802
6	0.000625	15	60	564.709	11.294	-20.402	8546.117	6377.921	74.629
7	0.00075	18	72	593.498	11.870	-22.920	9600.718	7044.790	73.378
8	0.000875	21	84	601.865	12.037	-20.037	8393.093	7244.823	86.319
9	0.001	24	96	580.386	11.608	-12.689	5315.277	6736.948	126.747
10	0.001125	27	108	540.353	10.807	-13.332	5584.475	5839.626	104.569
11	0.00125	30	120	525.971	10.519	-19.092	7997.208	5532.912	69.186
12	0.001375	33	132	568.782	11.376	-22.064	9242.344	6470.259	70.007
13	0.0015	36	144	586.084	11.722	-19.449	8146.675	6869.888	84.328
14	0.001625	39	156	569.979	11.400	-12.304	5154.053	6497.522	126.066
15	0.00175	42	168	533.434	10.669	-13.050	5466.262	5691.044	104.112
16	0.001875	45	180	520.365	10.407	-18.879	7907.841	5415.603	68.484
17	0.002	48	192	565.185	11.304	-21.959	9198.140	6388.672	69.456
18	0.002125	51	204	583.787	11.676	-19.451	8147.537	6816.140	83.659
19	0.00225	54	216	568.466	11.369	-12.337	5167.529	6463.071	125.071
20	0.002375	57	228	532.434	10.649	-13.105	5489.474	5669.725	103.284
21	0.0025	60	240	521.846	10.437	-18.950	7937.606	5446.455	68.616
22	0.002625	63	252	566.129	11.323	-21.996	9213.763	6410.041	69.570
23	0.00275	66	264	584.391	11.688	-19.443	8144.462	6830.267	83.864
24	0.002875	69	276	568.866	11.377	-12.365	5179.304	6472.162	124.962
25	0.003	72	288	532.703	10.654	-13.148	5507.230	5675.454	103.055
26	0.003125	75	300	523.320	10.466	-18.980	7950.310	5477.272	68.894
27	0.00325	78	312	567.072	11.341	-22.035	9230.030	6431.413	69.679
28	0.003375	81	324	584.994	11.700	-19.517	8175.338	6844.370	83.720
29	0.0035	84	336	569.264	11.385	-12.411	5198.833	6481.222	124.667
30	0.003625	87	348	532.969	10.659	-13.186	5523.160	5681.117	102.860
31	0.00375	90	360	523.953	10.479	-19.022	7967.934	5490.542	68.908
32	0.003875	93	372	567.477	11.350	-22.046	9234.614	6440.612	69.744
33	0.004	96	384	585.254	11.705	-19.480	8159.958	6850.436	83.952
34	0.004125	99	396	569.435	11.389	-12.399	5193.485	6485.115	124.870
35	0.00425	102	408	533.083	10.662	-13.180	5520.864	5683.544	102.947
36	0.004375	105	420	524.126	10.483	-19.008	7961.924	5494.171	69.006
37	0.0045	108	432	567.588	11.352	-22.053	9237.703	6443.129	69.748
38	0.004625	111	444	585.324	11.706	-19.530	8180.555	6852.095	83.761
39	0.00475	114	456	569.481	11.390	-12.421	5202.910	6486.180	124.664
40	0.004875	117	468	533.114	10.662	-13.194	5526.654	5684.207	102.851
41	0.005	120	480	524.147	10.483	-19.029	7970.718	5494.593	68.935
42	0.005125	123	492	567.601	11.352	-22.050	9236.355	6443.422	69.762

43	0.00525	126	504	585.333	11.707	-19.483	8160.986	6852.288	83.964
44	0.005375	129	516	569.487	11.390	-12.400	5194.045	6486.303	124.880
45	0.0055	132	528	533.117	10.662	-13.181	5521.169	5684.283	102.954
46	0.005625	135	540	524.137	10.483	-19.008	7962.079	5494.395	69.007
47	0.00575	138	552	567.595	11.352	-22.054	9237.752	6443.286	69.750
48	0.005875	141	564	585.329	11.707	-19.530	8180.503	6852.198	83.763
49	0.006	144	576	569.484	11.390	-12.421	5202.736	6486.246	124.670
50	0.006125	147	588	533.116	10.662	-13.193	5526.409	5684.247	102.856
51	0.00625	150	600	524.130	10.483	-19.028	7970.474	5494.237	68.932
52	0.006375	153	612	567.590	11.352	-22.050	9236.176	6443.176	69.760
53	0.0065	156	624	585.326	11.707	-19.483	8160.836	6852.125	83.964
54	0.006625	159	636	569.482	11.390	-12.399	5193.883	6486.199	124.881
55	0.00675	162	648	533.114	10.662	-13.180	5520.998	5684.217	102.956
56	0.006875	165	660	524.127	10.483	-19.008	7961.926	5494.173	69.006
57	0.007	168	672	567.588	11.352	-22.053	9237.648	6443.132	69.749
58	0.007125	171	684	585.325	11.706	-19.529	8180.427	6852.097	83.762
59	0.00725	174	696	569.481	11.390	-12.420	5202.668	6486.181	124.670
60	0.007375	177	708	533.114	10.662	-13.193	5526.345	5684.207	102.857
61	0.0075	180	720	524.126	10.483	-19.028	7970.419	5494.158	68.932

6. Pengujian 1500rpm

a. 20 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	522.303	0	0
2	0.0001	3	12	105.005	5.250	-12.891	6749.564	551.303	8.168
3	0.0002	6	24	192.275	9.614	-19.052	9975.574	1848.485	18.530
4	0.0003	9	36	253.211	12.661	-19.771	10352.192	3205.781	30.967
5	0.0004	12	48	299.574	14.979	-25.045	13113.365	4487.235	34.219
6	0.0005	15	60	367.446	18.372	-31.634	16563.737	6750.840	40.757
7	0.0006	18	72	421.323	21.066	-36.182	18945.046	8875.660	46.850
8	0.0007	21	84	459.161	22.958	-33.796	17695.447	10541.443	59.571
9	0.0008	24	96	482.900	24.145	-24.873	13023.568	11659.606	89.527
10	0.0009	27	108	494.574	24.729	-23.744	12432.578	12230.183	98.372
11	0.001	30	120	491.781	24.589	-28.296	14815.701	12092.420	81.619
12	0.0011	33	132	473.469	23.673	-32.996	17276.802	11208.666	64.877
13	0.0012	36	144	460.903	23.045	-30.887	16172.336	10621.559	65.677
14	0.0013	39	156	483.955	24.198	-19.330	10121.033	11710.644	115.706
15	0.0014	42	168	494.692	24.735	-16.574	8678.068	12236.024	140.999
16	0.0015	45	180	490.784	24.539	-20.498	10732.560	12043.430	112.214
17	0.0016	48	192	473.387	23.669	-25.174	13181.147	11204.765	85.006
18	0.0017	51	204	438.900	21.945	-24.260	12702.620	9631.642	75.824
19	0.0018	54	216	433.266	21.663	-15.952	8352.439	9385.977	112.374
20	0.0019	57	228	450.363	22.518	-13.982	7321.144	10141.356	138.521

	0.002	60	240	451.937	22.597	-18.604	9741.166	10212.334	104.837
22	0.0021	63	252	439.666	21.983	-23.904	12516.083	9665.316	77.223
23	0.0022	66	264	409.815	20.491	-23.634	12374.480	8397.413	67.861
24	0.0023	69	276	418.333	20.917	-16.122	8441.561	8750.120	103.655
25	0.0024	72	288	437.438	21.872	-14.727	7711.032	9567.614	124.077
26	0.0025	75	300	440.818	22.041	-19.679	10304.089	9716.041	94.293
27	0.0026	78	312	429.961	21.498	-25.240	13215.826	9243.339	69.941
28	0.0027	81	324	401.102	20.055	-25.203	13196.276	8044.146	60.958
29	0.0028	84	336	420.947	21.047	-16.258	8512.537	8859.840	104.080
30	0.0029	87	348	439.718	21.986	-14.799	7748.921	9667.614	124.761
31	0.003	90	360	442.806	22.140	-19.718	10324.426	9803.867	94.958
32	0.0031	93	372	431.690	21.585	-25.215	13202.632	9317.813	70.575
33	0.0032	96	384	402.610	20.131	-25.101	13142.950	8104.746	61.666
34	0.0033	99	396	421.842	21.092	-16.298	8533.527	8897.532	104.266
35	0.0034	102	408	440.501	22.025	-14.831	7765.547	9702.040	124.937
36	0.0035	105	420	443.492	22.175	-19.729	10330.079	9834.239	95.200
37	0.0036	108	432	432.285	21.614	-25.243	13217.160	9343.517	70.692
38	0.0037	111	444	403.124	20.156	-25.159	13173.010	8125.442	61.682
39	0.0038	114	456	422.229	21.111	-16.333	8551.964	8913.882	104.232
40	0.0039	117	468	440.838	22.042	-14.852	7776.322	9716.925	124.955
41	0.004	120	480	443.786	22.189	-19.752	10342.083	9847.298	95.216
42	0.0041	123	492	432.541	21.627	-25.232	13211.462	9354.586	70.807
43	0.0042	126	504	403.347	20.167	-25.101	13142.734	8134.455	61.893
44	0.0043	129	516	422.359	21.118	-16.323	8546.883	8919.362	104.358
45	0.0044	132	528	440.952	22.048	-14.846	7773.327	9721.929	125.068
46	0.0045	135	540	443.885	22.194	-19.736	10333.633	9851.715	95.336
47	0.0046	138	552	432.627	21.631	-25.243	13217.073	9358.323	70.805
48	0.0047	141	564	403.422	20.171	-25.152	13169.300	8137.460	61.791
49	0.0048	144	576	422.417	21.121	-16.344	8557.811	8921.791	104.253
50	0.0049	147	588	441.002	22.050	-14.860	7780.436	9724.139	124.982
51	0.005	150	600	443.929	22.196	-19.757	10344.784	9853.653	95.252
52	0.0051	153	612	432.665	21.633	-25.235	13212.876	9359.966	70.840
53	0.0052	156	624	403.455	20.173	-25.101	13142.825	8138.798	61.926
54	0.0053	159	636	422.435	21.122	-16.327	8548.819	8922.584	104.372
55	0.0054	162	648	441.018	22.051	-14.848	7774.431	9724.864	125.088
56	0.0055	165	660	443.944	22.197	-19.737	10334.109	9854.293	95.357
57	0.0056	168	672	432.678	21.634	-25.243	13217.011	9360.507	70.822
58	0.0057	171	684	403.466	20.173	-25.150	13168.704	8139.233	61.807
59	0.0058	174	696	422.444	21.122	-16.346	8558.679	8922.945	104.256
60	0.0059	177	708	441.026	22.051	-14.861	7781.056	9725.193	124.986
61	0.006	180	720	443.950	22.198	-19.758	10345.199	9854.581	95.258

b. 30 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	522.303	0	0
2	0.0001	3	12	151.051	5.035	-12.624	6610.049	760.544	11.506
3	0.0002	6	24	268.408	8.947	-18.169	9513.083	2401.430	25.243
4	0.0003	9	36	342.243	11.408	-18.337	9601.372	3904.344	40.664
5	0.0004	12	48	405.195	13.507	-22.733	11902.788	5472.770	45.979
6	0.0005	15	60	485.002	16.167	-28.288	14811.590	7840.886	52.938
7	0.0006	18	72	542.382	18.079	-32.109	16812.001	9805.949	58.327
8	0.0007	21	84	578.008	19.267	-29.406	15397.155	11136.454	72.328
9	0.0008	24	96	592.993	19.766	-20.642	10808.113	11721.363	108.450
10	0.0009	27	108	590.140	19.671	-19.856	10396.489	11608.850	111.661
11	0.001	30	120	568.864	18.962	-25.076	13129.586	10786.890	82.157
12	0.0011	33	132	537.535	17.918	-30.721	16085.540	9631.451	59.876
13	0.0012	36	144	568.666	18.956	-27.233	14259.348	10779.373	75.595
14	0.0013	39	156	585.150	19.505	-17.157	8983.479	11413.354	127.048
15	0.0014	42	168	583.221	19.441	-15.599	8167.823	11338.210	138.816
16	0.0015	45	180	562.402	18.747	-20.541	10755.329	10543.214	98.028
17	0.0016	48	192	525.120	17.504	-26.574	13913.979	9191.702	66.061
18	0.0017	51	204	540.859	18.029	-26.490	13870.305	9750.955	70.301
19	0.0018	54	216	562.839	18.761	-17.293	9054.796	10559.601	116.619
20	0.0019	57	228	565.101	18.837	-16.324	8547.272	10644.642	124.538
21	0.002	60	240	547.806	18.260	-21.624	11322.044	10003.048	88.350
22	0.0021	63	252	513.048	17.102	-27.851	14582.689	8773.928	60.167
23	0.0022	66	264	545.710	18.190	-26.694	13976.835	9926.641	71.022
24	0.0023	69	276	566.757	18.892	-17.468	9146.258	10707.114	117.066
25	0.0024	72	288	568.313	18.944	-16.461	8619.068	10766.003	124.909
26	0.0025	75	300	550.451	18.348	-21.715	11370.203	10099.865	88.827
27	0.0026	78	312	515.194	17.173	-27.940	14629.259	8847.488	60.478
28	0.0027	81	324	547.384	18.246	-26.811	14038.134	9987.645	71.147
29	0.0028	84	336	568.105	18.937	-17.515	9171.058	10758.102	117.305
30	0.0029	87	348	569.413	18.980	-16.475	8626.543	10807.707	125.284
31	0.003	90	360	551.346	18.378	-21.721	11373.040	10132.743	89.094
32	0.0031	93	372	515.928	17.198	-27.903	14609.951	8872.712	60.731
33	0.0032	96	384	547.786	18.260	-26.786	14025.258	10002.322	71.316
34	0.0033	99	396	568.430	18.948	-17.521	9174.030	10770.432	117.401
35	0.0034	102	408	569.681	18.989	-16.487	8632.513	10817.887	125.316
36	0.0035	105	420	551.569	18.386	-21.722	11373.608	10140.943	89.162
37	0.0036	108	432	516.107	17.204	-27.931	14624.864	8878.880	60.711
38	0.0037	111	444	547.965	18.265	-26.841	14054.162	10008.852	71.216
39	0.0038	114	456	568.574	18.952	-17.539	9183.510	10775.871	117.339
40	0.0039	117	468	569.798	18.993	-16.494	8636.286	10822.312	125.312
41	0.004	120	480	551.663	18.389	-21.735	11380.504	10144.390	89.138
42	0.0041	123	492	516.185	17.206	-27.913	14615.358	8881.552	60.769

43	0.0042	126	504	547.989	18.266	-26.794	14029.421	10009.735	71.348
44	0.0043	129	516	568.594	18.953	-17.524	9175.675	10776.622	117.448
45	0.0044	132	528	569.814	18.994	-16.487	8632.461	10822.948	125.375
46	0.0045	135	540	551.677	18.389	-21.720	11372.455	10144.928	89.206
47	0.0046	138	552	516.196	17.207	-27.928	14622.918	8881.939	60.740
48	0.0047	141	564	548.012	18.267	-26.845	14055.801	10010.589	71.220
49	0.0048	144	576	568.612	18.954	-17.542	9185.147	10777.330	117.334
50	0.0049	147	588	569.829	18.994	-16.497	8637.872	10823.518	125.303
51	0.005	150	600	551.689	18.390	-21.738	11381.973	10145.363	89.135
52	0.0051	153	612	516.206	17.207	-27.916	14616.676	8882.282	60.768
53	0.0052	156	624	548.011	18.267	-26.795	14029.719	10010.537	71.352
54	0.0053	159	636	568.611	18.954	-17.524	9175.567	10777.290	117.456
55	0.0054	162	648	569.829	18.994	-16.486	8632.091	10823.490	125.387
56	0.0055	165	660	551.689	18.390	-21.719	11371.933	10145.350	89.214
57	0.0056	168	672	516.205	17.207	-27.927	14622.302	8882.267	60.745
58	0.0057	171	684	548.015	18.267	-26.845	14055.998	10010.687	71.220
59	0.0058	174	696	568.614	18.954	-17.543	9185.436	10777.414	117.332
60	0.0059	177	708	569.831	18.994	-16.498	8638.213	10823.589	125.299
61	0.006	180	720	551.691	18.390	-21.739	11382.329	10145.424	89.133

c. 40 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	522.303	0	0
2	0.0001	3	12	193.695	4.842	-12.375	6479.365	937.941	14.476
3	0.0002	6	24	334.479	8.362	-17.366	9093.022	2796.906	30.759
4	0.0003	9	36	413.620	10.340	-17.093	8949.725	4277.036	47.790
5	0.0004	12	48	501.819	12.545	-20.959	10974.037	6295.551	57.368
6	0.0005	15	60	579.620	14.490	-25.689	13450.622	8398.983	62.443
7	0.0006	18	72	632.182	15.805	-28.965	15166.039	9991.366	65.880
8	0.0007	21	84	660.159	16.504	-26.145	13689.296	10895.249	79.590
9	0.0008	24	96	662.050	16.551	-17.858	9350.196	10957.771	117.193
10	0.0009	27	108	642.776	16.069	-17.565	9196.901	10329.037	112.310
11	0.001	30	120	603.230	15.081	-23.415	12259.982	9097.160	74.202
12	0.0011	33	132	637.522	15.938	-28.980	15173.987	10160.870	66.962
13	0.0012	36	144	664.041	16.601	-25.805	13511.379	11023.772	81.589
14	0.0013	39	156	664.899	16.622	-17.108	8957.709	11052.260	123.383
15	0.0014	42	168	644.841	16.121	-16.560	8670.800	10395.497	119.891
16	0.0015	45	180	604.598	15.115	-22.286	11668.748	9138.455	78.316
17	0.0016	48	192	613.736	15.343	-27.919	14618.353	9416.803	64.418
18	0.0017	51	204	646.576	16.164	-24.956	13066.869	10451.507	79.985

19	0.0018	54	216	651.569	16.289	-16.252	8509.515	10613.568	124.726
20	0.0019	57	228	634.532	15.863	-15.725	8233.791	10065.770	122.250
21	0.002	60	240	596.536	14.913	-21.516	11265.934	8896.393	78.967
22	0.0021	63	252	597.540	14.938	-27.235	14260.018	8926.349	62.597
23	0.0022	66	264	634.682	15.867	-24.417	12784.697	10070.540	78.770
24	0.0023	69	276	642.519	16.063	-15.869	8308.883	10320.773	124.214
25	0.0024	72	288	627.567	15.689	-15.434	8081.062	9846.011	121.841
26	0.0025	75	300	591.151	14.779	-21.282	11143.350	8736.489	78.401
27	0.0026	78	312	593.416	14.835	-27.091	14184.584	8803.576	62.064
28	0.0027	81	324	631.657	15.791	-24.388	12769.358	9974.762	78.115
29	0.0028	84	336	640.227	16.006	-15.883	8316.123	10247.271	123.222
30	0.0029	87	348	625.816	15.645	-15.485	8108.033	9791.151	120.759
31	0.003	90	360	589.819	14.745	-21.368	11188.296	8697.174	77.735
32	0.0031	93	372	594.927	14.873	-27.158	14220.053	8848.453	62.225
33	0.0032	96	384	632.769	15.819	-24.412	12782.353	10009.930	78.311
34	0.0033	99	396	641.081	16.027	-15.951	8351.668	10274.606	123.025
35	0.0034	102	408	626.481	15.662	-15.568	8151.176	9811.968	120.375
36	0.0035	105	420	590.347	14.759	-21.443	11227.316	8712.753	77.603
37	0.0036	108	432	596.910	14.923	-27.252	14269.102	8907.551	62.425
38	0.0037	111	444	634.227	15.856	-24.528	12842.996	10056.105	78.300
39	0.0038	114	456	642.191	16.055	-16.027	8391.627	10310.247	122.864
40	0.0039	117	468	627.338	15.683	-15.629	8183.516	9838.825	120.227
41	0.004	120	480	591.013	14.775	-21.506	11260.280	8732.411	77.551
42	0.0041	123	492	597.767	14.944	-27.278	14282.827	8933.130	62.545
43	0.0042	126	504	634.856	15.871	-24.501	12828.873	10076.057	78.542
44	0.0043	129	516	642.669	16.067	-16.020	8387.989	10325.596	123.100
45	0.0044	132	528	627.705	15.693	-15.624	8180.595	9850.333	120.411
46	0.0045	135	540	591.295	14.782	-21.488	11251.056	8740.746	77.688
47	0.0046	138	552	597.801	14.945	-27.286	14286.986	8934.146	62.533
48	0.0047	141	564	634.881	15.872	-24.548	12853.457	10076.839	78.398
49	0.0048	144	576	642.687	16.067	-16.034	8395.237	10326.171	123.000
50	0.0049	147	588	627.718	15.693	-15.628	8182.824	9850.734	120.383
51	0.005	150	600	591.303	14.783	-21.499	11256.927	8740.985	77.650
52	0.0051	153	612	597.606	14.940	-27.269	14278.137	8928.321	62.531
53	0.0052	156	624	634.737	15.868	-24.491	12823.661	10072.290	78.545
54	0.0053	159	636	642.578	16.064	-16.007	8381.078	10322.655	123.166
55	0.0054	162	648	627.633	15.691	-15.609	8172.739	9848.078	120.499
56	0.0055	165	660	591.237	14.781	-21.472	11242.973	8739.030	77.729
57	0.0056	168	672	597.476	14.937	-27.272	14279.545	8924.431	62.498
58	0.0057	171	684	634.642	15.866	-24.537	12847.564	10069.255	78.375
59	0.0058	174	696	642.505	16.063	-16.024	8390.013	10320.317	123.007
60	0.0059	177	708	627.577	15.689	-15.619	8178.097	9846.321	120.399
61	0.006	180	720	591.194	14.780	-21.491	11252.730	8737.750	77.650

d. 50 Ω

NO	Time(s)	M deg	E deg	Voltage(V)	Current(A)	Torque(Nm)	Pin(W)	Pout(W)	Efficiency
1	0	0	0	0	0	-0.998	522.303	0	0
2	0.0001	3	12	233.341	4.667	-12.140	6356.491	1088.961	17.131
3	0.0002	6	24	392.066	7.841	-16.636	8710.608	3074.313	35.294
4	0.0003	9	36	470.886	9.418	-16.006	8380.579	4434.678	52.916
5	0.0004	12	48	579.996	11.600	-19.271	10090.077	6727.910	66.678
6	0.0005	15	60	650.236	13.005	-23.336	12218.750	8456.138	69.206
7	0.0006	18	72	694.842	13.897	-26.214	13725.392	9656.119	70.352
8	0.0007	21	84	714.244	14.285	-23.343	12222.326	10202.897	83.478
9	0.0008	24	96	702.612	14.052	-15.526	8129.136	9873.262	121.455
10	0.0009	27	108	668.232	13.365	-15.695	8217.758	8930.679	108.675
11	0.001	30	120	620.253	12.405	-21.899	11466.356	7694.265	67.103
12	0.0011	33	132	674.996	13.500	-25.320	13257.708	9112.404	68.733
13	0.0012	36	144	700.518	14.010	-22.346	11700.530	9814.506	83.881
14	0.0013	39	156	692.668	13.853	-14.261	7467.180	9595.778	128.506
15	0.0014	42	168	660.955	13.219	-14.266	7469.821	8737.239	116.967
16	0.0015	45	180	607.783	12.156	-20.614	10793.590	7388.000	68.448
17	0.0016	48	192	665.591	13.312	-25.140	13163.231	8860.224	67.310
18	0.0017	51	204	694.048	13.881	-22.479	11770.044	9634.050	81.852
19	0.0018	54	216	688.107	13.762	-14.698	7695.857	9469.830	123.051
20	0.0019	57	228	657.717	13.154	-14.891	7797.063	8651.826	110.963
21	0.002	60	240	605.893	12.118	-21.330	11168.402	7342.116	65.740
22	0.0021	63	252	665.858	13.317	-25.064	13123.604	8867.337	67.568
23	0.0022	66	264	694.218	13.884	-22.257	11653.887	9638.759	82.709
24	0.0023	69	276	688.186	13.764	-14.344	7510.358	9471.991	126.119
25	0.0024	72	288	657.740	13.155	-14.450	7566.258	8652.431	114.355
26	0.0025	75	300	605.510	12.110	-20.852	10917.823	7332.858	67.164
27	0.0026	78	312	664.629	13.293	-25.079	13131.377	8834.637	67.279
28	0.0027	81	324	693.378	13.868	-22.393	11724.810	9615.469	82.010
29	0.0028	84	336	687.612	13.752	-14.562	7624.446	9456.209	124.025
30	0.0029	87	348	657.347	13.147	-14.726	7710.307	8642.104	112.085
31	0.003	90	360	605.281	12.106	-21.162	11080.602	7327.313	66.127
32	0.0031	93	372	665.147	13.303	-25.058	13120.507	8848.399	67.439
33	0.0032	96	384	693.730	13.875	-22.282	11666.973	9625.215	82.500
34	0.0033	99	396	687.846	13.757	-14.410	7545.226	9462.644	125.412
35	0.0034	102	408	657.502	13.150	-14.542	7613.977	8646.182	113.557
36	0.0035	105	420	605.358	12.107	-20.954	10971.266	7329.174	66.803
37	0.0036	108	432	664.763	13.295	-25.072	13127.765	8838.206	67.325
38	0.0037	111	444	693.469	13.869	-22.370	11712.784	9617.982	82.115
39	0.0038	114	456	687.671	13.753	-14.515	7599.861	9457.821	124.447
40	0.0039	117	468	657.385	13.148	-14.665	7678.334	8643.089	112.565
41	0.004	120	480	605.296	12.106	-21.095	11045.513	7327.668	66.341
42	0.0041	123	492	665.002	13.300	-25.061	13121.842	8844.556	67.403

43	0.0042	126	504	693.631	13.873	-22.296	11674.099	9622.485	82.426
44	0.0043	129	516	687.780	13.756	-14.440	7560.728	9460.816	125.131
45	0.0044	132	528	657.457	13.149	-14.581	7634.415	8645.005	113.237
46	0.0045	135	540	605.334	12.107	-20.997	10993.818	7328.586	66.661
47	0.0046	138	552	664.846	13.297	-25.070	13126.728	8840.416	67.347
48	0.0047	141	564	693.525	13.871	-22.361	11708.069	9619.549	82.162
49	0.0048	144	576	687.709	13.754	-14.495	7589.784	9458.862	124.626
50	0.0049	147	588	657.410	13.148	-14.639	7665.102	8643.754	112.768
51	0.005	150	600	605.309	12.106	-21.068	11030.934	7327.984	66.431
52	0.0051	153	612	664.947	13.299	-25.062	13122.482	8843.082	67.389
53	0.0052	156	624	693.594	13.872	-22.302	11677.123	9621.440	82.396
54	0.0053	159	636	687.754	13.755	-14.452	7567.221	9460.120	125.014
55	0.0054	162	648	657.440	13.149	-14.597	7642.953	8644.559	113.105
56	0.0055	165	660	605.325	12.107	-21.015	11003.229	7328.371	66.602
57	0.0056	168	672	664.882	13.298	-25.069	13126.310	8841.360	67.356
58	0.0057	171	684	693.550	13.871	-22.357	11706.113	9620.218	82.181
59	0.0058	174	696	687.725	13.754	-14.487	7585.589	9459.308	124.701
60	0.0059	177	708	657.421	13.148	-14.629	7659.588	8644.039	112.853
61	0.006	180	720	605.315	12.106	-21.056	11024.858	7328.121	66.469

