



**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BLDC 500 W TERHADAP
PERUBAHAN DIAMETER LILITAN STATOR**

SKRIPSI

Oleh :

**BAYU SETIA PAMBUDI
NIM 131910201005**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BLDC 500 W TERHADAP
PERUBAHAN DIAMETER LILITAN STATOR**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Elektro
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

**BAYU SETIA PAMBUDI
NIM 131910201005**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi berjudul "Analisis Unjuk Kerja Motor BLDC 500 W Terhadap Perubahan Diameter Lilitan Stator" telah disetujui pada:

hari, tanggal : Rabu , 3 Januari 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota

Dr. Azmi Saleh, ST.,MT.
NIP. 19710614 199702 1 001

Samsul Bachri M., S.T., M.MT.
NIP. 19640317 199802 1 001

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan yang saya raih untuk mendekati masa depan dan meraih cita-cita di dalam hidup saya. Dengan penuh rasa syukur dengan ketulusan hati saya persembahkan karya ini kepada :

1. Kedua orang tua saya ayahanda Udiarto dan ibunda Robiyati yang tercinta, terimakasih yang sangat berlimpah karena telah mendidik, membesarkan, memberi cinta dan kasih sayang serta doa yang tiada putus hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dan saya persembahkan gelar yang saya dapatkan untuk mereka;
2. Kakak saya Mujiarti, Suwarso dan Adik saya Firman Dani Saputra yang selalu memberikan *support* dan semangat agar saya lebih baik;
3. Dosen Pembimbing Utama Bapak Dr. Azmi Saleh, ST.,MT dan Bapak Samsul Bachri M., S.T., M.MT atas kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini;
4. Teman-teman Teknik Elektro S1 maupun D3 angkatan 2013;
5. Teman-teman Tim Titen Mobil Listrik Universitas Jember, KSR PMI UNEJ, HME Teknik Elektro Unej.
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Perubahan dalam segala hal adalah hal yang manis.”

(Aristoteles)

“Meraih masa depan yang cerah tidak akan bisa didapat dengan mudah. Kamu harus berkorban untuk mendapatkan hal tersebut”

(Bj Habibie)

“Kemuliaan orang adalah Agamanya, harga dirinya adalah Akalnya, sedangkan ketinggian kedudukannya adalah Akhlaknya.”

(H.R. Ahmad dan Al Hakim)

“Terkadang kita selalu ingin menjadi orang lain, dengan segala keberhasilan yang mereka capai tanpa melihat diri kita sendiri. Yang akhirnya kita hanya akan menyakiti diri kita sendiri dengan bertopeng menjadi orang lain. Jadilah diri sendiri dengan segala kegagalan yang kita terima. Karena dengan begitu kita akan menjadi lebih kuat dengan perubahan yang kita terima”

(Bayu Setia Pambudi)

“Masalah adalah pelajaran terbaik untuk selalu berbenah. Sehingga perubahan akan selalu datang dengan terbiasanya kita dengan masalah. Terimalah dan hadapilah dengan keteguhan hati”

(Bayu Setia Pambudi)

PERNYATAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bayu Setia Pambudi

NIM : 131910201005

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Motor BLDC 500 Watt terhadap Perubahan Diameter Lilitan Stator” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 3 Januari 2018

Yang menyatakan,

Bayu Setia Pambudi
NIM 131910201005

SKRIPSI

**Analisis Unjuk Kerja Motor BLDC 500 Watt Terhadap Perubahan Diameter
Lilitan Stator**

Oleh

Bayu Setia Pambudi
NIM 131910201005

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Azmi Saleh, ST.,MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Samsul Bachri M., S.T., M.MT.

PERSEMBAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Unjuk Kerja Motor BLDC 500 Watt Terhadap Perubahan Diameter Lilitan Stator” karya Bayu Setia Pambudi NIM: 131910201005 telah diuji dan disahkan pada :

hari, : Rabu

tanggal : 3 Januari 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Dr. Azmi Saleh, ST.,MT.
NIP. 19710614 199702 1 001

Samsul Bachri M., S.T., M.MT.
NIP. 19640317 199802 1 001

Anggota II,

Anggota III,

R.B. Moch. Gozali, ST., MT.
NIP. 19690608 199903 1 002

Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP. 19710402 200312 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

“Analisis Unjuk Kerja Motor BLDC 500 W Terhadap Perubahan Diameter Lilitan Stator”; Bayu Setia Pambudi 131910201005; 2017: 60 halaman; Program Studi Strata 1 (S1) Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penggunaan motor listrik BLDC sekarang sudah banyak di kembangkan untuk di terapkan pada alat transportasi seperti sepeda motor listrik, sepeda listrik, mobil listrik dll. Motor BLDC dinilai mempunyai tingkat efisiensi dan performa yang lebih baik dari motor listrik yang lainnya. Banyak peneliti mengembangkan motor listrik mulai dari segi pengontrolan motor listrik ataupun motor listrik itu sendiri. Semakin banyak pengembangan dari motor listrik sehingga memunculkan persaingan antar negara untuk dapat mengembangkan motor listrik yang diterapkan pada berbagai aspek, mulai dari industri, alat transportasi dll.

Kendala yang di hadapi adalah ketika membangun suatu mobil listrik, kita menggunakan motor listrik BLDC terkadang tidak sesuai dengan kebutuhan kita, sehingga hasil yang diharapkan dari mobil listrik tidak sesuai target. Memodifikasi motor listrik pabrikan merupakan salah satu cara agar mendapat performa yang diinginkan.

Pada penelitian ini dilakukan perubahan diameter lilitan yang diharapkan akan meningkatkan Efisiensi dari motor BLDC. Diameter lilitan terdapat dua perubahan yaitu 0.50 mm dan 0.45 mm dengan jumlah lilitan yang sama dengan jumlah lilitan sebelum dilakukannya perubahan. Sebelum dilakukannya perubahan dilakukan uji karakteristik motor BLDC dengan parameter kecepatan, efisiensi dan juga torsi. Setelah dilakukannya uji karakteristik dilanjutkan dengan perubahan diameter yang nantinya akan diuji ulang sesuai dengan parameter sebelumnya yaitu kecepatan, efisiensi dan torsi.

Penggunaan diameter lilitan yang berbeda pada *plan* ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pada karakteristik motor BLDC dan performa yang dihasilkan. Perubahan diameter lilitan yaitu pada motor BLDC salah satu faktor yang dapat berpengaruh terhadap efisiensi adalah jumlah lilitan dan besar diameter lilitan sehingga efisiensi dapat naik seperti yang di kutip dari Mach, M., & Hajek, V. (2015) diameter dan banyaknya lilitan pada Motor Induksi dapat berpengaruh terhadap karakteristik motor. Melalui perubahan diameter inilah

diketahui perbandingan antara motor pabrikan dan modifikasi. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan ketepatan hasil dari pengaruh penggantian diameter lilitan pada stator motor BLDC yang nantinya dilakukan perbandingan dengan motor pabrikan sehingga mendapatkan karakteristik kecepatan, torsi, efisiensi dengan tipe motor *out-runner* menggunakan alat uji torsi dengan mencari gaya tangensial berupa neraca 10 kg, *tachometer*, *wattmeter* agar nilai dari parameter yang didapatkan lebih akurat.

Dari hasil pengujian tidak berbeban didapatkan bahwa pada diameter lilitan 0.45 mm pertama memiliki nilai torsi terkecil yaitu 0.254 Nm dan nilai torsi terbesar 0.630 Nm, pada diameter 0.50 mm torsi terkecil sebesar 0.187 Nm sedangkan untuk torsi terbesar adalah 0.306 Nm kemudian pada diameter 0.55 mm torsi awal sebesar 0.198 Nm dan untuk torsi maksimum yaitu motor sebesar 0.312 Nm. Untuk nilai kecepatan tidak berbeban yaitu pada diameter 0.45 mm rpm maksimum dengan di berikan *PWM* maksimum didapatkan kecepatan maksimum sebesar 563 rpm, pada diameter 0.50 mm di berikan *PWM* maksimum berupa potensio yang di putar di peroleh kecepatan maksimum sebesar 561 rpm dan pada diameter lilitan 0.55 mm di peroleh kecepatan maksimum 551 rpm. Untuk efisiensi terkecil pada diameter 0.45 mm yaitu 28.46 %, selanjutnya untuk efisiensi terbesar yaitu 35.95 %. Pada diameter 0.50 mm efisiensi terkecil yaitu 15.62 % kemudian efisiensi terbesar yaitu 30.98 %. Pada diameter 0.55 mm efisiensi terkecil adalah 5.6 % sedangkan efisiensi terbeesar adalah 40. 51 %.

Dari hasil pengujian berbeban diperoleh pada diameter lilitan 0.45 mm pertama memiliki nilai torsi terkecil yaitu 0.504 Nm dan nilai torsi terbesar 1.916 Nm, pada diameter 0.50 mm torsi terkecil sebesar 0.347 Nm sedangkan untuk torsi terbesar adalah 1.026 Nm kemudian pada diameter 0.55 mm torsi awal sebesar 0.208 Nm dan untuk torsi maksimum yaitu motor sebesar 0.513 Nm. Untuk nilai kecepatan berbeban yaitu pada diameter 0.45 mm rpm maksimum dengan diberikan *PWM* maksimum didapatkan kecepatan maksimum sebesar 528 rpm, pada diameter 0.50 mm di berikan *PWM* maksimum berupa potensio yang di putar di peroleh kecepatan maksimum sebesar 533 rpm dan pada diameter lilitan 0.55 mm di peroleh kecepatan maksimum 520 rpm. Untuk efisiensi terkecil pada diameter 0.45 mm yaitu 40.82 %, selanjutnya untuk efisiensi terbesar yaitu 55.52 %. Pada diameter

0.50 mm efisiensi terkecil yaitu 22.49 % kemudian efisiensi terbesar yaitu 38.66 %. Pada Diameter 0.55 mm efisiensi terkecil adalah 12.6 % sedangkan efisiensi terbesar adalah 42.81 %.

Pada Pengujian berbeban 500 Watt untuk mengetahui efisiensi terbaik dari motor, sehingga dilakukan pembebanan maksimal motor. Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui efisiensi terendah pada rpm 400 adalah 81.93 % pada diameter 0.55 mm sedangkan efisiensi terbaik yaitu diameter 0.45 mm dengan besar 91.85 %. Hal ini disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya adalah *current input* yang lebih besar pada diameter 0.55mm yaitu *current input* yang besar akan menyebabkan konduktor bekerja lebih keras yang menyebabkan konduktor menjadi panas dan timbul *losses* perubahan energi listrik yang berubah menjadi panas.

SUMMARY

“The Analysis To Show The Work Of BLDC Motor 500 W To The Winding Stator Diameter Changing”; Bayu Setia Pambudi 131910201005; 2017: 60 Page; Course Strata 1 (S1) Technique, Of Electrical Engineering, Of Engineering Faculty University Of Jember.

On use an electric motor bldc now there are many in developed to in apply on a transportation such as a an electric motor, a bicycle electricity, electric cars etc. Motor bldc considered to be level efficiency and better performance of an electric motor that other .Many researchers develop an electric motor start in terms of control an electric motor or an electric motor itself .The more development of an electric motor so that gave rise to competition among countries to can develop an electric motor that applied to various aspects , starting from indusrti , a means of transportation etc .Obstacles in face is when building a electric cars , we use an electric motor bldc sometimes lose our specific needs , so that the result of s expected electric cars not based on target .Modify an electric motor the factories is one way to get performance desired.

In this study the coil the changes that are expected to boost the efficiency of motor bldc. Diameter coil there are two of change namely 0.50 mm and 0.45 mm and the number of winding equal to the amount coil before he did change. Before he changes undergone a characteristic bldc motor parameter with speed, efficiency and torque. After doing the characteristic continued with changes in diameter will be rearranged to parameter speed earlier, efficiency and torque.

The use of the diameter of the convolution of who this is different with plan aims to understand leverage to convince characteristic of bldc motorcycle maker took a commanding and some of the form that produced. A change the diameter of the convolution of it will be on a motorcycle maker took a commanding bldc one factor that can had a significant effect on the efficiency of health is the number of the convolution of and large the diameter of the convolution of so that the efficiency of health can get in a car like the cedars and aromatic quote very often from mach aelig

rium the finest, m., & hajek notes to be so performed, v. (2015) the diameter of and the heavy load of the convolution of on motor induction can be had a significant effect on the characteristics of motorcycle maker took a commanding. Through the change in the diameter of this is sub districts were known as the comparison between motorcycle maker took a commanding tea leaves to the factory and modification of. On this study aims to to get the accuracy of the results of from the influence of the replacement of the diameter of the convolution of on stator bldc motorcycle maker took a commanding that is going to be done side by side comparisons with tea leaves to the factory motorcycle maker took a commanding so getting characteristic of the speed of, the torque, efficiency by type out-runner motorcycle maker took a commanding use the device sparingly efforts whatever survives this test torque by searching the style of tangensial in the form of 10 kg for their allocation of balance and let him weigh, a tachometer, a wattmeter so that the of parameter day what part of it more accurate way to.

From the results of the testing are buying up not these chareges in the future that in the diameter of the convolution of 0.45 mm first having the value of the torque the smallest pt pgn promised to supply 0.254 nm and value of torque biggest displays of mass religious 0.630 nm, on the diameter of 0.50 mm torque the smallest as much as 0.187 nm while for the program torque largest was 0.306 nm then in and jakarta government the diameter of 0.55 mm torque an initial 0.198 nm and for the torque up to a maximum of pt pgn promised to supply motor vehicles rp 0.312 nm. To value peed is not are buying up it will be on a the diameter of 0.45 mm rpm up to a maximum of in the same sector in give it pwm these chareges in the future could be a maximum of maximum speed of let us as much as 563 rpm, on the diameter of 0.50 mm in give it pwm could be a maximum of in the form of potensio that is in a swivel at have received as a gift maximum speed of let us as much as 561 rpm and on the diameter of the convolution of 0.55 mm in have received as a gift maximum speed of let us 551 rpm. To the efficiency of the smallest on the diameter of 0.45 mm pt pgn promised to supply 28.46 %, of the lord separated to the largest efficiency as well as to 35.95 % .On the diameter of 0.50 mm the smallest efficiency as well as to muamalat ran into financial difficulties 15.62 % then the largest

efficiency as well as to 30.98 % .On the diameter of 0.55 mm the smallest efficiency as well as to is 5.6 % while the efficiency of terbeesar is 40.51 % .

From the results of the testing are obtained at first 0.45 mm diameter convolution of the smallest torque 0.504 nm and value the torque largest 1.916 nm , the smallest 0.50 mm in diameter of torque 0.347 nm for was the torque 1.026 nm 0.55 mm and the diameter of torque early 0.208 nm and for the motor of maximum torque 0.513 nm. To value speed are 0.45 mm in diameter and given maximum rpm pwm maximum speed for a maximum of 528 rpm, in diameter in give maximum of 0.50 mm pwm potensio in a swivel at get maximum speed of 533 rpm and in diameter coil 0.55 mm in get the maximum speed of 520 rpm. To the efficiency of the smallest in diameter 0.45 mm namely 40.82 % , next to the efficiency of largest namely 55.52 % . In diameter 0.50 mm efficiency smallest namely 22.49 % then efficiency largest namely 38.66 % . In diameter 0.55 mm efficiency smallest is 12.6 % and efficiency terbeesar is 42.81 % .

In testing are 500 watts to know best efficiency of a motor , so that maximum dilakukan the imposition of motor .Of testing that has been carried out can be in do not know the lowest in efficiency rpm 400 is 81.93 % in the diameter of 0.55 mm while efficiency best which is the diameter of 0.45 mm with large 91.85 % .This is caused by a lot of factors , one of these is the current their input was greater in the diameter of the current 0.55mm their input large will cause a conductor work harder that causes a conductor into heat and arising losses changes in electrical energy turned into heat.

PRAKATA

Bismillahirrohmanirohim.

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Motor BLDC 500 W terhadap perubahan Diameter Lilitan Stator”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta yang telah memberikan dorongan semangat, motivasi, dukungan dan doanya demi terselesaikannya proyek akhir ini.
2. Ibu Dr. Ir. Entin Hidyah M.UM, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
4. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Elektro Universitas Jember.
5. Bapak Dr. Azmi Saleh, ST.,MT., selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Bapak Samsul Bachri M., S.T., M.MT, selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga guna memberikan bimbingan dan pengarahan serta dukungan materi dalam kelancaran penyusunan skripsi ini.
6. Bapak R.B. Moch. Gozali, ST., MT., selaku dosen penguji 1 dan Bapak Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
7. Bapak Nur Qoyim, S.T., M.T., Selaku Pembimbing Molis yang telah membantu saya dalam memberikan pengarahan dalam penyusunan alat skripsi ini.

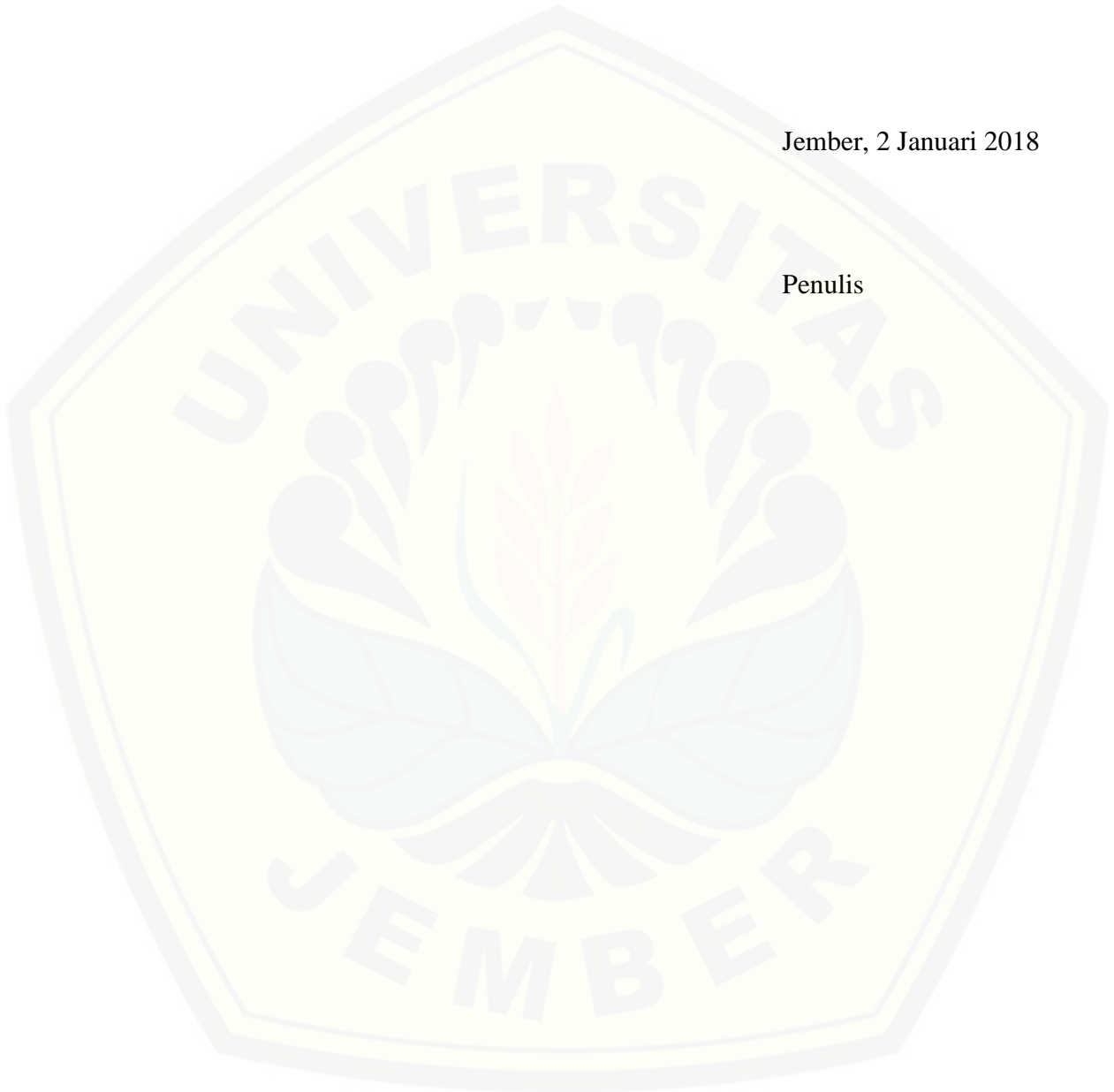
8. Seluruh Dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Universitas Jember;
9. Keluarga besar Teknik Elektro khususnya angkatan 2013 (INTEL UNEJ), terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan.
10. Sahabat Purbalingga Anjar, Wandu, Riski, Adit, Okman, Ilham, Koko yang mana dari awal kuliah semester 1 sampai saat ini selalu memberikan semangat, bantuan, pengalaman yang tak pernah terlupakan dalam memberikan sesuatu yang sangat berharga.
11. Partner Skripsi Sofyan Ahmadi, Singgih Kurniawan, Otoy, Apik, Riski nganjuk, Yoga, Riski suryadi, Ipul, dll) yang telah membantu dalam proses pengujian skripsi.
12. Keluarga Besar Purbalingga yang berada di jember Eli, Estu, Rima, Mika, Lianti, Maryam, Sugi, Imah, Aji dan teman IMAGARA.
13. Sahabat dari sejak SMP hingga SMK sampai sekarang yang selalu memberikan dukungan untuk menyelesaikan skripsi.
14. Sahabat Sankar Pramuka SMK 1 Purbalingga Imam, Guntur, Yanu dll yang selalu memberi semangat bagi penulis untuk selalu lebih baik.
15. Teman-teman Komunitas Mobil Listrik Titien yang telah memberikan pengalaman berharga dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
16. Teman-teman UKM KSR PMI Unej yang telah memberi pengalaman ketika masa Kuliah.
17. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terimakasih banyak yang mana telah mendukung dan memberikan semangat dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa kesempurnaan hanya milik-Nya sehingga sebagai manusia biasa, penulis selalu terbuka terhadap masukan dan menerima segala kritik dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan tidak

lupa juga penulis menyampaikan permohonan maaf yang sebesar-besarnya jika terdapat kesalahan dan kekeliruan di dalam skripsi ini.

Jember, 2 Januari 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PERSEMBAHAN.....	iv
MOTTO	v
PERNYATAN.....	vi
PERSEMBAHAN.....	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	xii
PRAKATA	xv
DAFTAR ISI.....	xviii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Motor	5
2.2 Jenis-Jenis Motor	5
2.3 Kuat Medan Magnet.....	8
2.4 EMF	9
2.5 Kecepatan Motor	10
2.6 <i>Solenoida</i>	10
2.7 <i>Winding</i> Motor BLDC	11
2.8 Cara Kerja Motor BLDC.....	13

2.9	Persamaan Fluks.....	15
2.10	Persamaan Torsi	16
2.11	Hubungan Star dan Delta Pada Motor Induksi Tiga Fasa	16
2.12	Accu	19
BAB 3.	METODE PENELITIAN.....	22
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.2	Prosedur Penelitian.....	22
3.3	Perencanaan Jadwal Penelitian.....	24
3.4	Alat dan bahan	24
3.4.1	Alat	24
3.4.2	Bahan	24
3.5	Flowchart Alir Penelitian	26
3.6	Blok diagram dan perancangan sistem.....	27
3.7	Data – data Spesifikasi Motor dan Kontrol.....	28
3.7.1	Motor BLDC Emoto 500 W	28
3.7.2	Kontroller Emoto 500 W	28
3.7.3	Generator BLDC Hi-Grade	29
3.8	Rencana Pengujian	30
3.8.1	Rumus Dasar pengujian.....	31
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1	Pengujian Resistansi Motor BLDC	33
4.2	Pengujian Induktansi Motor BLDC	34
4.3	Hasil Skema Lilitan Motor BLDC	34
4.4	Pengujian Karakteristik Motor BLDC.....	35
4.4.1	Pengujian Karakteristik Motor BLDC tidak berbeban	38
4.4.2	Pengujian Karakteristik Motor BLDC berbeban.....	48
4.4.3	Pengujian Karakteristik Motor BLDC beban 500 watt	56
BAB 5.	PENUTUP.....	63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran	64
	DAFTAR PUSTAKA	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kemampuan Hantar Arus Kawat <i>Email</i> bedasarkan <i>American wire gauge (AWG)</i>.....	11
Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian	24
Tabel 3.2 Data Percobaan Pengujian lilitan 0.45 mm	30
Tabel 3.3 Data Percobaan Pengujian lilitan 0.50 mm	31
Tabel 3.4 Data Percobaan Pengujian lilitan 0.55 mm	31
Tabel 4.1 Pengujian Resistansi Motor BLDC	33
Tabel 4.2 Pengujian Induktansi Motor BLDC	34
Tabel 4.3 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.45 mm tidak berbeban.....	39
Tabel 4.4 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.50 mm tidak berbeban.....	40
Tabel 4.5 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.55 mm tidak berbeban.....	41
Tabel 4.6 Perbandingan Data Hasil Pengujian dan Data Hasil Perhitungan tidak berbeban Diameter 0.45 mm.....	45
Tabel 4.7 Perbandingan Data Hasil Pengujian dan Data Hasil Perhitungan tidak berbeban Diameter 0.50 mm.....	46
Tabel 4.8 Perbandingan Data Hasil Pengujian dan Data Hasil Perhitungan tidak berbeban Diameter 0.55 mm.....	46
Tabel 4.10 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.45 mm berbeban.....	49
Tabel 4.11 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.50 mm berbeban.....	49
Tabel 4.12 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.55 mm berbeban.....	50

Tabel 4.13 Perbandingan Data Hasil Pengujian dan Data Hasil Perhitungan berbeban Diameter 0.45 mm.....	55
Tabel 4.14 Perbandingan Data Hasil Pengujian dan Data Hasil Perhitungan berbeban Diameter 0.50 mm.....	55
Tabel 4.15 Perbandingan Data Hasil Pengujian dan Data Hasil Perhitungan berbeban Diameter 0.55 mm.....	56
Tabel 4.17 Data Hasil Pengujian pembebanan maksimum Diameter 0.45mm	57
Tabel 4.18 Data Hasil Pengujian pembebanan maksimum Diameter 0.50mm	58
Tabel 4.19 Data Hasil Pengujian pembebanan maksimum Diameter 0.55 mm	59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Konstruksi Motor Brushed.....	6
Gambar 2.2 Konstruksi Motor Brushless dengan Sensor Hall	8
Gambar 2.3 Medan Magnet pada Solenoida	10
Gambar 2.4 Motor 3 Phase dengan skema lilitan	11
Gambar 2.5 Skema 3- phasee lilitan.....	12
Gambar 2.6 Skema 3- phasee lilitan.....	12
Gambar 2.7 Grafik Perbandingan Motor Pabrikan dan Motor Modifikasi diamater lilitan yaitu torsi, arus dan kecepatan.	13
Gambar 2.8 Grafik Perbandingan Motor Pabrikan dan Motor Modifikasi diamater lilitan yaitu Efisiensi, torsi dan daya	13
Gambar 2.9 Medan Magnet Putar Stator dan Perputaran Rotor	14
Gambar 2.10 Tegangan Stator BLDC.....	14
Gambar 2.11 Hubungan Star.....	17
Gambar 2.12 Hubungan Delta.....	18
Gambar 2.13 Sel Accu	21
Gambar 3.2 Skema Lilitan Stator Emoto 500 W	28
Gambar 3.3 Pengujian karakteristik Motor BLDC	30
Gambar 4.1 Skema motor BLDC 500 W	35
Gambar 4.2 Alat Uji Karakteristik Motor BLDC	36
Gambar 4.3 Penggantian diamteter lilitan 0.45 mm dan 0.50 mm.....	36
Gambar 4.4 Alat Uji Karakteristik Motor BLDC	38
Gambar 4.5 Karakteristik Motor BLDC tidak berbeban Rpm terhadap <i>current input</i>	42
Gambar 4.6 Karakteristik Motor BLDC tidak berbeban Rpm terhadap torsi	42

Gambar 4.7 Karakteristik Motor BLDC tidak berbeban Rpm terhadap <i>Pinput</i>	43
Gambar 4.8 Karakteristik Motor BLDC tidak berbeban Rpm terhadap Efisiensi.....	44
Gambar 4.9 Karakteristik Motor BLDC berbeban Rpm terhadap <i>Current input</i>	52
Gambar 4.10 Karakteristik Motor BLDC berbeban Rpm terhadap torsi	52
Gambar 4.11 Karakteristik Motor BLDC berbeban Rpm terhadap <i>Pinput</i>	53
Gambar 4.12 Karakteristik Motor BLDC berbeban Rpm terhadap Efisiensi.....	54
Gambar 4.13 Karakteristik Motor BLDC berbeban Rpm terhadap Efisiensi.....	60
Gambar 4.14 Karakteristik Motor BLDC berbeban Rpm terhadap Efisiensi.....	61
Gambar 4.15 Karakteristik Motor BLDC berbeban Rpm terhadap Efisiensi.....	62

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebanyak 94 persen dari kebutuhan energi Indonesia disuplai oleh energi fosil menurut Direktur Energi Baru Terbarukan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Maritje Hutapea. Sedangkan menurut Peneliti di *Laboratory of Electric Machinery, Department of Electrical and Electronic Engineering, Kitami Institute of Technology, Hokkaido, Jepang* Marwan Rosyadi mengatakan energi fosil, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam akan habis pada 2050 mendatang. Dari pernyataan tersebut para peneliti dunia berusaha mengembangkan energi yang digunakan selain energi fosil salah satunya yaitu energi terbarukan.

Kebutuhan akan motor yang memiliki Efisiensi, torsi maupun kecepatan yang tinggi dan dapat divariasikan serta biaya perawatan yang rendah semakin meningkat. Hanya saja motor yang digunakan secara umum saat ini, yakni motor DC dan motor induksi belum dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Motor DC memiliki Efisiensi yang tinggi karena penggunaan tegangan DC pada rotor untuk menggerakkan motor tersebut. Motor DC sendiri memiliki biaya perawatan yang tinggi, Hal ini muncul akibat digunakannya *brush* dalam komutasi motor DC. *Brush* pada motor DC ini cepat rusak karena pada saat motor berputar akan timbul *arching* pada *brush* akibat komutasi. Sedangkan untuk motor induksi memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan memiliki kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan motor DC. Hal ini terjadi karena motor induksi tidak menggunakan *brush* untuk menunjang komutasi. Namun motor induksi memiliki Efisiensi yang lebih rendah dibanding motor DC dan cepat panas. (Abe Dharmawan, 2009).

Salah satu kendala yang dihadapi Indonesia dewasa ini adalah semakin meningkatnya penggunaan energi fosil akan tetapi berbanding terbalik dengan ketersediaan energi fosil. Penggunaan bahan bakar fosil pada alat transportasi yang menyebabkan konsumsi energi fosil yang tinggi dan pemanasan global atau *climate change*. Indonesia sendiri dalam hal ini telah berkomitmen mencegah pemanasan global pada saat Presiden Joko Widodo menghadiri KTT Perubahan Iklim Paris 2015 (COP) 21 pada 30 November 2015. Oleh karena itu perlu adanya solusi untuk mengurangi penggunaan energi fosil ke energi yang lebih tersedia dan ramah lingkungan seperti energi listrik pada alat transportasi.

Penggunaan motor listrik BLDC sekarang sudah banyak dikembangkan untuk diterapkan pada alat transportasi seperti sepeda motor listrik, sepeda listrik, mobil listrik dll. Motor BLDC dinilai mempunyai tingkat Efisiensi dan performa yang lebih baik dari motor listrik yang lainnya. Banyak peneliti mengembangkan motor listrik mulai dari segi pengontrolan motor listrik ataupun motor listrik itu sendiri. Semakin banyak pengembangan dari motor listrik sehingga memunculkan persaingan antar negara untuk dapat mengembangkan motor listrik yang diterapkan pada berbagai aspek, mulai dari industri, alat transportasi dll.

Kendala yang dihadapi adalah ketika membangun suatu mobil listrik, kita menggunakan motor listrik BLDC terkadang tidak sesuai dengan kebutuhan kita, sehingga hasil yang diharapkan dari mobil listrik tidak sesuai target. Memodifikasi motor listrik buatan pabrikan merupakan salah satu cara agar mendapat performa yang diinginkan.

Pada penelitian ini dilakukan perubahan diameter lilitan yang diharapkan akan meningkatkan efisiensi dari motor BLDC. Diameter lilitan terdapat dua perubahan yaitu 0.50 mm dan 0.45 mm dengan jumlah lilitan yang sama dengan sebelum dilakukannya perubahan. Sebelum dilakukannya perubahan dilakukan uji karakteristik motor BLDC dengan parameter kecepatan, Efisiensi dan juga torsi. Setelah dilakukannya uji karakteristik dilanjutkan dengan perubahan diameter yang nantinya akan diuji ulang sesuai dengan parameter sebelumnya yaitu kecepatan, efisiensi dan torsi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan, timbul beberapa rumusan masalah berikut:

1. Bagaimana Pengaruh penggantian diameter lilitan pada Motor BLDC 500 W terhadap Efisiensi?
2. Bagaimana performa Motor BLDC 500 W menggunakan metode *star* setelah dilakukannya perubahan diameter lilitan?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi hanya menggunakan Motor BLDC jenis Emoto 500 W.
2. Tidak membahas pengaruh inner rotor, outer rotor, magnet, fluks.
3. Diameter lilitan hanya dua jenis yaitu 0.50 mm dan 0.45 mm.
4. Tidak membahas baterai Motor, Kontrol Motor.
5. Pengujian menggunakan pembebanan dengan maksimum 500 Watt.
6. Menggunakan tegangan kerja 48 V.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk dapat menganalisa performa dari Motor BLDC ketika dilakukannya perubahan diameter lilitan.
2. Menganalisa pengaruh penggunaan metode *star* pada Motor BLDC.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendukung pengembangan ilmu pengetahuan tentang motor BLDC.
2. Mengembangkan energi alternatif yang dapat mengurangi tingkat polusi di Indonesia.

3. Sebagai referensi selanjutnya pengaruh lilitan terhadap performa motor BLDC.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini, diulas berbagai publikasi resmi yang berhubungan dengan konsep Motor BLDC dan mencakup aspek masalah dan penjelasan faktor-faktor yang diduga berkaitan dengan penelitian ini. Seluruh teori dan konsep pada tinjauan pustaka ini pada akhirnya nanti akan digunakan untuk menunjang analisis pembahasan terhadap hasil penelitian yang akan dilakukan. Berikut ini adalah teori dan konsep yang berhubungan dengan masalah studi analisis yang akan dibahas.

2.1 Pengertian Motor

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, memutar impeller pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Prinsip kerja pada motor listrik, yaitu tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektromagnet. Sebagaimana kita ketahui bahwa: kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak - menolak dan kutub - kutub tidak senama akan tarik menarik. Maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar, dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap. (Tri Sutrisno, 2012).

2.2 Jenis-Jenis Motor

1. Motor AC

Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian dasar listrik: "*stator*" dan "*rotor*". *Stator* merupakan komponen listrik statis. *Rotor* merupakan komponen listrik yang berputar.

2. Motor DC

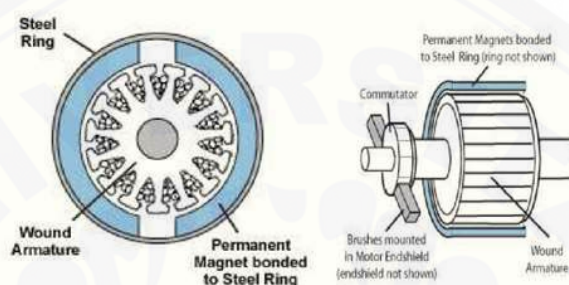
Motor arus searah (*Direct Current*), menggunakan arus langsung yang tidak langsung/*direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana

diperlukan penyalaan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Secara umum motor DC dibagi atas 2 macam, yaitu :

a. Brushed Motor

Motor DC dengan sikat yang berfungsi sebagai pengubah arus pada kumparan sedemikian rupa sehingga arah putaran motor akan selalu sama.



Gambar 2.1 Konstruksi Motor Brushed

Sumber: <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/AC-brushless-rushedmotors.html> .

b. Brushless Motor

Motor DC tanpa sikat (*brush*) menggunakan bahan semikonduktor untuk merubah maupun membalik arah putarannya untuk menggerakkan motor, serta tingkat kebisingan motor jenis ini rendah karena putarannya halus. (Tri Sutrisno, 2012). BLDC motor atau dapat disebut juga dengan BLAC motor merupakan motor listrik *synchronous* AC 3 fasa. Perbedaan pemberian nama ini terjadi karena BLDC memiliki BEMF berbentuk *trapezoid* sedangkan BLAC memiliki BEMF berbentuk sinusoidal. Walaupun demikian keduanya memiliki struktur yang sama dan dapat dikendalikan dengan metode *six-step* maupun metode PWM. Dibandingkan dengan motor DC jenis lainnya, BLDC memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan kecepatan yang lebih tinggi akibat tidak digunakannya brush. Dibandingkan dengan motor induksi, BLDC memiliki Efisiensi yang lebih tinggi karena *rotor* dan torsi awal yang, karena *rotor* terbuat dari magnet permanen. Walaupun memiliki kelebihan dibandingkan dengan motor jenis lain, metode pengendalian motor BLDC jauh lebih rumit untuk kecepatan dan torsi yang konstan, karena tidak adanya *brush* yang menunjang proses komutasi dan harga untuk motor BLDC jauh lebih mahal.

Secara umum motor BLDC terdiri dari dua bagian, *rotor* bagian yang bergerak, yang terbuat dari permanen magnet dan *stator*, bagian yang tidak bergerak, yang terbuat dari kumparan 3 fasa. Walaupun merupakan motor listrik *synchronous* AC 3 fasa, motor ini tetap disebut dengan BLDC karena pada implementasinya BLDC menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fasa. Tujuan daripemberian tegangan AC 3 fasa pada stator BLDC adalah menciptakan medan magnet putar *stator* untuk menarik magnet *rotor*.

Oleh karena tidak adanya *brush* pada motor BLDC, untuk menentukan *timing* komutasi yang tepat pada motor ini sehingga didapatkan torsi dan kecepatan yang konstan, diperlukan 3 buah sensor *Hall* dan atau *encoder*. Pada sensor *Hall*, *timing* komutasi ditentukan dengan cara mendeteksi medan magnet *rotor* dengan menggunakan 3 buah sensor *hall* untuk mendapatkan 6 kombinasi *timing* yang berbeda, sedangkan pada *encoder*, *timing* ditentukan dengan cara menghitung jumlah *pole* (kutub) yang ada pada *encoder*.

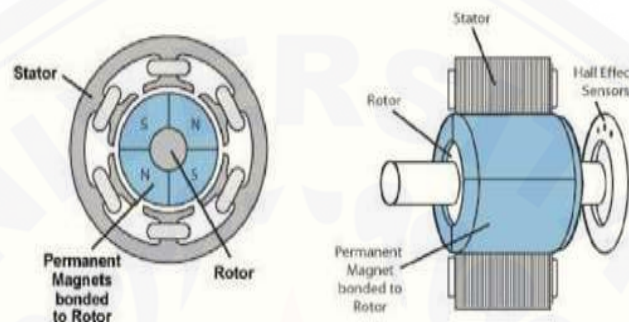
Pada umumnya *encoder* lebih banyak digunakan pada motor BLDC komersial karena *encoder* cenderung mampu menentukan *timing* komutasi lebih presisi dibandingkan dengan menggunakan sensor *hall*. Hal ini terjadi karena pada *encoder*, kode komutasi telah ditetapkan secara *fixed* berdasarkan banyak *pole* dari motor dan kode inilah yang digunakan untuk menentukan *timing* komutasi. Namun karena kode komutasi *encoder* ditetapkan secara *fixed* berdasarkan banyak *pole* motor, suatu *encoder* untuk suatu motor tidak dapat digunakan untuk motor dengan jumlah *pole* yang berbeda. Hal ini berbeda dengan sensor *hall*. Apabila terjadi perubahan *pole* rotor pada motor, posisi sensor *hall* dapat diubah dengan mudah. Hanya saja kelemahan dari sensor *hall* adalah posisi sensor *hall* tidak tepat akan terjadi kesalahan dalam penentuan *timing* komutasi atau bahkan tidak didapatkan 6 kombinasi *timing* yang berbeda.

Beberapa keuntungan *brushless* DC motor dengan motor DC dibandingkan dengan motor DC biasa, adalah:

1. Lebih tahan lama, karena tidak memerlukan perawatan terhadap sikatnya.
2. Memiliki tingkat Efisiensi yang tinggi.
3. Torsi awal yang tinggi.

4. Kecepatan yang tinggi, tergantung pada kekuatan medan magnet yang dihasilkan oleh arus yang dibangkitkan dari kendali penggerakannya.

Walaupun *brushless* DC motor memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan motor DC biasa, pengendalian *brushless* DC motor lebih rumit untuk mengatur kecepatan dan torsi motor. Harga *brushless* DC motor juga cukup mahal jika dibandingkan dengan motor DC biasa. (Dharmawan, Abe.2009).



Gambar 2.2 Konstruksi Motor Brushless dengan Sensor Hall

Sumber: <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/AC-brushless-brushedmotors.html>.

2.3 Kuat Medan Magnet

Motor BLDC ini dapat bekerja ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan arus 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator timbul Kuat medan Magnet (B):

$$B = \frac{\mu Ni}{2l} \quad (2.1)$$

Dimana N merupakan jumlah lilitan, i merupakan arus, l merupakan panjang lilitan dan μ merupakan permeabilitas bahan. Karena arus yang diberikan berupa arus AC fasa, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah – ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi tersebut dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terjadinya medan putar magnet dengan kecepatan.

Secara umum brushless Motor dibagi menjadi 2, yaitu *Sensored* dan *Sensorless*. *Sensored*, *brushless* motor jenis ini dilengkapi dengan *encoder* dan atau *hall effect* sensor yang berfungsi sebagai detektor pada medan magnet, *hall effect* sensor akan

menghasilkan sebuah tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh sensor tersebut. Motor jenis ini memiliki tingkat Efisiensi yang tinggi dan lebih halus pergerakannya dibanding dengan motor *brushless sensorless*.

Sensorless, brushless motor jenis ini tidak dilengkapi dengan *encoder* dan atau *hall effect* sensor, sehingga untuk mengetahui pergerakan dari motor jenis ini bias dilakukan dengan cara mendeteksi dari BEMF dan *zero-crossing*.

2.4 EMF

Adapun yang menjadi dasar perbedaan kedua jenis belitan tersebut terletak pada hubungan antara *koil* dan belitan stator yang bertujuan untuk memberikan EMF (*Electro Motive Force*) atau gaya gerak listrik yang berbeda. EMF balik atau gaya gerak listrik balik itu sendiri adalah tegangan balikyng dihasilkan oleh belitan motor BLDC ketika motor BLDC tersebut berputar yang memiliki polaritas tegangan berlawanan arahnya dengan tegangan sumber yang dibangkitkan. Besarnya EMF balik dipengaruhi oleh kecepatan sudut putaran motor (ω), medan magnet yang dihasilkan rotor (B), dan banyaknya lilitan pada belitan stator (N) sehingga besarnya EMF balik dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$V = i R + EMF \quad (2.2)$$

$$EMF \text{ balik} = B.N.l.r. \omega \quad (2.3)$$

Dimana :

B = Kerapatan medan magnet yang dihasilkan rotor (Tesla)

N = Banyaknya lilitan pada belitan stator per fasa

l = Panjangnya batang rotor (m)

r = Jari-jari dalam motor (m)

ω = Kecepatan sudut putaran motor (rad) (dimana $\omega = 2\pi f$)

Ketika motor BLDC sudah dibuat pada jumlah lilitan stator dan besarnya medan magnet yang dihasilkan nilainya sudah dibuat konstan sehingga yang mempengaruhi besarnya EMF balik adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor, semakin besar kecepatan sudut yang dihasilkan maka semakin besar pula EMF balik yang dihasilkan oleh motor. Perubahan besarnya EMF balik ini mempengaruhi torsi motor brushless DC, apabila kecepatan motor yang dihasilkan melebihi kecepatan rata-rata, maka akan

mengakibatkan EMF balik yang dihasilkan oleh motor lebih besar daripada tegangan potensial pada belitan stator sehingga arus yang mengalir pada stator akan turun.

2.5 Kecepatan Motor

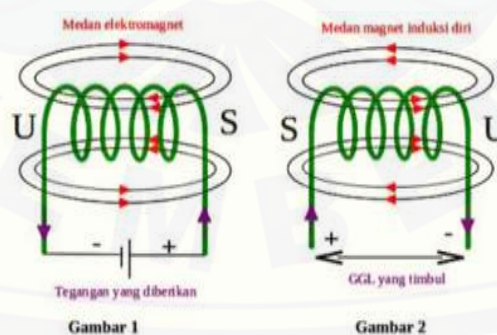
Rotor merupakan bagian penting juga pada motor yang berfungsi untuk menggerakkan atau membuat motor berputar. Perputaran tersebut terjadi akibat adanya gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh stator. Untuk mengetahui putaran pada motor, bisa menggunakan persamaan berikut ini.

$$N_s = \frac{120 f}{p} \quad (2.4)$$

Dimana f merupakan frekuensi tegangan *input* dinyatakan dalam Hz persatuam detik, sedangkan untuk p sendiri merupakan jumlah kutub (*pole*) pada rotor.

2.6 Solenoida

Solenoida merupakan sebuah kumparan kawat yang terdiri dari beberapa lilitan (*loop*). Saat arus listrik mengalir solenoida tersebut akan memiliki sifat medan magnet. Posisi dari kutub – kutub medan magnet pada solenoida dipengaruhi oleh arah arus di tiap lilitan tersebut. Karena garis – garis medan magnet akan meninggalkan kutub utara magnet, maka kutub utara solenoida pada Gambar 2.6 berada di ujung kanan.



Gambar 2.3 Medan Magnet pada Solenoida

Setiap kumparan menghasilkan medan magnet dan medan total di dalam solenoida akan merupakan jumlah medan – medan yang disebabkan oleh setiap lilitan

arus. Jika kumparan – kumparan solenoida berjarak sangat dekat, medan di dalam pada dasarnya akan parallel dengan sumbu kecuali di bagian ujung – ujungnya.

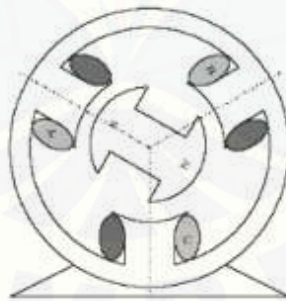
Tabel 2.1 Kemampuan Hantar Arus Kawat *Email* bedasarkan *American wire gauge* (*AWG*)

No	Diameter Kawat (mm)	Kemampuan Hantar Arus (khA) (Ampere)
1.	0,1	0,016 s/d 0,024
2.	0,2	0,064 s/d 0,094
3.	0,3	0,141 s/d 0,212
4.	0,4	0,251 s/d 0,377
5.	0,5	0,390 s/d 0,588
6.	0,6	0,566 s/d 0,849
7.	0,7	0,770 s/d 1,160
8.	0,8	1,010 s/d 1,510
9.	0,9	1,270 s/d 1,910
10.	1,0	1,570 s/d 2,360
11.	1,5	3,530 s/d 5,300
12.	2,0	6,280 s/d 9,420

Sumber : Mustofa, 2010

2.7 Winding Motor BLDC

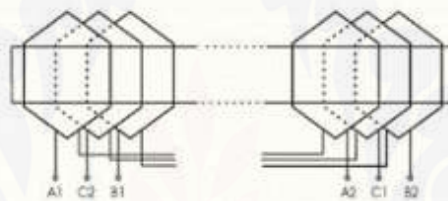
Permanent Magnet *single-phase* atau *multi-phase* dapat beroperasi sebagai sinkron atau motor BLDC. Pada mode operasi tertentu tergantung pada daya masukan dan kontrol. Hal ini umumnya benar jika memiliki stator gulungan konvensional ditempatkan dalam slot dan didistribusikan simetris sekitar stator.



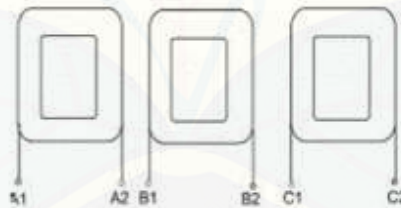
Gambar 2.4 Motor 3 Phase dengan skema lilitan

Motor BLDC memiliki jenis daya masukan yang berbeda, sehingga memiliki jenis gulungan dengan kumparan yang sesuai dengan perhitungan daya masukan. Sebuah motor ditampilkan dalam gambar 2.5. Motor BLDC dengan gulungan yang sesuai daya masukan berevolusi dari struktur motor stepper. Pada kenyataannya, motor stepper bekerja pada kecepatan tinggi tidak banyak berbeda dari kerja motor

BLDC. Diagram lilitan yang menunjukkan penyebaran dan kumparan ditunjukkan pada gambar 2.6. Lilitan *3-phase* mengalirkan daya masukan pada kumparan dari sebuah bi-polar inverter (pada gambar 2.6.2) serta dengan kumparan terkonsentrasi biasanya di berikan *supply* dari uni-polar konverter (gambar 2.6.1). Motor BLDC pada umumnya dilengkapi dengan sensor yang menginformasikan kontroller posisi kutub magnet, sehubungan dengan *fase* stator tertentu. Hal ini dilakukan untuk dapat mengontrol dari motor saat kondisi *ON* dan *OFF*. Sensor yang biasanya digunakan adalah sensor *Hall*, *encoder* akan bertindak sebagai sensor posisi. Selain itu, Motor BLDC juga dapat bekerja tanpa menggunakan sensor. Dalam hal ini, motor dapat di kontrol dengan menggunakan nilai EMF.

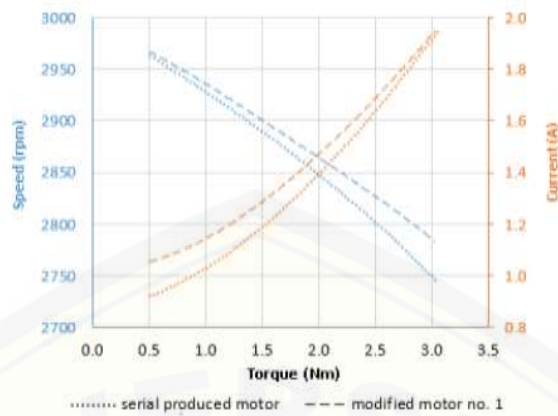


Gambar 2.5 Skema 3- phasee lilitan

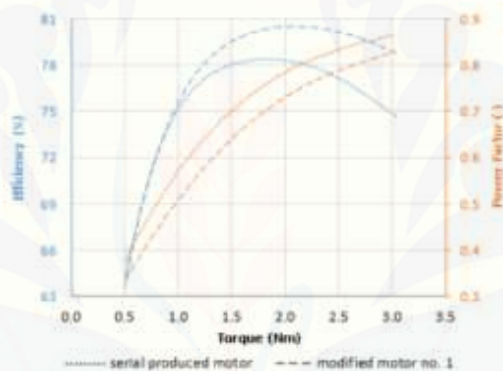


Gambar 2.6 Skema 3- phasee lilitan

Di bawah ini merupakan grafik dari penelitian sebelumnya yaitu perubahan diameter lilitan pada Motor Induksi dengan besar diameter yang lebih besar dari diameter dari pabrikannya. Dalam penelitian tersebut di bandingkan antara torsi dan kecepatan dari perubahan diameter lilitan pada gambar 2.7 dan gambar 2.8.



Gambar 2.7 Grafik Perbandingan Motor Pabrik dan Motor Modifikasi diameter lilitan yaitu torsi, arus dan kecepatan.



Gambar 2.8 Grafik Perbandingan Motor Pabrik dan Motor Modifikasi diameter lilitan yaitu Efisiensi, torsi dan daya

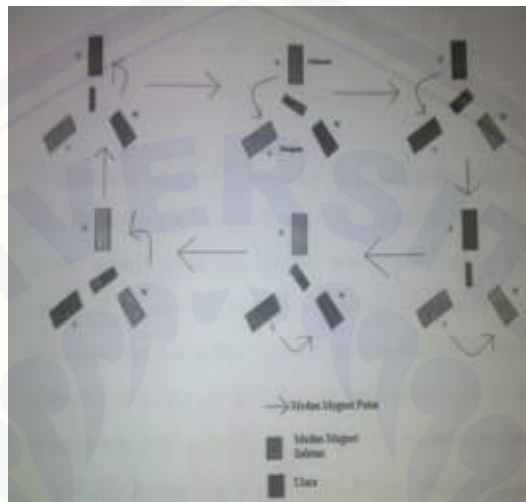
2.8 Cara Kerja Motor BLDC

Motor BLDC ini dapat bekerja ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan arus 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator timbul medan magnet (H).

Karena arus yang diberikan berupa arus AC 3 fasa sinusoidal, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah-ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terciptanya medan putar magnet dengan kecepatan.

$$n_s = \frac{120f}{p} \quad (2.4)$$

Di mana f merupakan frekuensi arus *input* dan p merupakan jumlah pole rotor.



Gambar 2.9 Medan Magnet Putar Stator dan Perputaran Rotor

Berdasarkan gambar 2.9, medan putar magnet stator timbul akibat adanya perubahan polaritas pada stator U, V, dan W. Perubahan polaritas ini terjadi akibat adanya arus yang mengalir pada stator berupa arus AC yang memiliki polaritas yang berubah-ubah.



Gambar 2.10 Tegangan Stator BLDC

Berdasarkan gambar 2.10, ketika stator U diberikan tegangan negative maka akan timbul medan magnet dengan polaritas negative sedangkan V dan W yang diberikan tegangan positif akan memiliki polaritas positif. Akibat adanya perbedaan polaritas antara medan magnet kumparan stator dan magnet rotor, sisi positif magnet rotor akan

berputar mendekati medan magnet stator U, sedangkan sisi negatifnya akan berputar mengikuti medan magnet stator V dan W. Akibat tegangan yang digunakan berupa tegangan AC sinusoidal, medan magnet stator U, V, dan W akan berubah-ubah polaritas dan besarnya mengikuti perubahan tegangan sinusoidal AC. Ketika U dan V memiliki medan magnet negatif akibat mendapatkan tegangan negatif dan W memiliki medan magnet positif akibat tegangan positif, magnet permanen rotor akan berputar menuju ke polaritas yang bersesuaian yakni bagian negatif akan berputar menuju medan magnet stator W dan sebaliknya bagian positif akan berputar menuju medan magnet stator U dan V. Selanjutnya ketika V memiliki medan magnet negatif dan U serta W memiliki medan magnet positif, bagian positif bagian positif magnet permanen akan berputar menuju V dan bagian negatif akan menuju U dari kumparan W. Karena tegangan AC sinusoidal yang digunakan berlangsung secara kontinu, proses perubahan polaritas tegangan pada stator ini akan terjadi secara terus menerus sehingga menciptakan medan putar magnet stator dan magnet permanen rotor akan berputar mengikuti medan putar magnet stator ini. Hal inilah yang menyebabkan rotor pada BLDCM dapat berputar.

2.9 Persamaan Fluks

Berdasarkan gaya Lorentz (“gaya yang timbul akibat suatu penghantar berarus pada stator terinduksi oleh medan magnet hasil dari permanen magnet yang dicatu pada rotor”). Gaya yang timbul yaitu:

$$F = F1 \sin \delta \quad (2.5)$$

Karena

$$F = Bil \quad (2.6)$$

Dimana B adalah kepadatan fluks medan magnet dan l adalah panjang sisi koil yang dikenai medan ini, maka gaya F sebagai berikut:

$$F = Bil \sin \delta \quad (2.7)$$

Kepadatan *fluks* medan magnet, B , dapat dinyatakan dalam bentuk *fluks* ϕ_{rs} yang kembali, dikarenakan oleh adanya asumsi bahwa koil stator mempunyai

lilitan tunggal, akan sama dengan *flux linkage* λ_m , yaitu:

$$B = \frac{\phi_m}{A_r} = \frac{\lambda_m}{A_r} = \frac{\lambda_m}{lr} \quad (2.8)$$

Dimana A_r adalah luas penampang koil rotor, l adalah panjang sisi koil, dan r adalah radius koil. Akibat dicatunya kumparan rotor dengan permanen magnet kontan, sehingga *fluks* ϕ_{rs} yang dihasilkan:

$$\phi_{rs} = \lambda_m \cos \vartheta \quad (2.9)$$

Dimana ϕ_{rs} merupakan *flux linkage* yang konstan yang terbentuk akibat medan magnet pada rotor dan θ adalah sudut yang dibentuk antara B dan normal bidang yang ditembus medan magnet.

$$\Phi = \pi RBL \quad (2.10)$$

Dimana ϕ merupakan *fluks*, R merupakan setengah dari panjang konduktor, B merupakan kuad medan magnet, kemudian L dapat dinyatakan sebagai panjang inti besi.

2.10 Persamaan Torsi

Torsi T yang dihasilkan oleh arus pada sisi koil adalah :

$$T = r \cdot F \quad (2.11)$$

dengan mensubstitusikan persamaan F , B , dan ϕ_{rs} ke persamaan T menjadi :

$$T = 2r \cdot p \cdot F \quad (2.12)$$

$$T = 2r \cdot p \cdot (B \cdot i \cdot l \cdot \sin \delta) \quad (2.13)$$

$$T = p \cdot i \cdot \lambda_m \cdot \sin \delta \quad (2.14)$$

dimana T adalah torsi, r adalah radius koil, merupakan *flux linkage*.

$$T = \left(\frac{Z}{2\pi}\right) \Phi I \quad (2.15)$$

Dimana Z merupakan banyaknya konduktor, sedangkan I merupakan arus *input*.

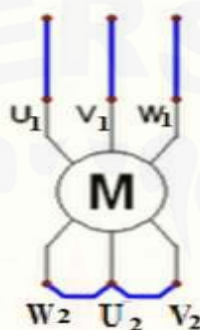
2.11 Hubungan Star dan Delta Pada Motor Induksi Tiga Fasa

Rangkaian star adalah peralatan listrik 3 fasa dimana didalamnya terdiri dari 3 unit/bagian (belitan misalnya) yang sama dirangkai seperti membentuk huruf Y

dimana ujung-ujungnya adalah tersambung sebagai *line* dan bagian tengahnya adalah bagian netral.

Cara menghubungkan motor dalam hubungan *star* :

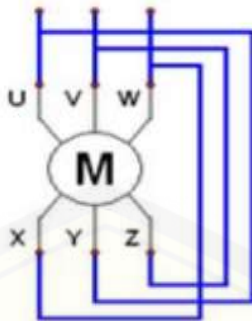
1. Mengkoppelkan / menghubungkan salah satu dari ujung-ujung kumparan fasa menjadi satu.
2. Sedangkan yang tidak dihubungkan menjadi satu dihubungkan ke sumber tegangan, untuk lebih jelasnya lihat gambar.



Gambar 2.11 Hubungan Star

Rangkaian *delta* adalah peralatan listrik 3 fase dimana didalamnya terdiri dari 3 unit/bagian yang sama (belitan misalnya) dirangkai seperti membentuk bangun segitiga dimana ujung-ujungnya adalah tersambung sebagai *line*, dan tidak mempunyai netral. Bila ingin mendapatkan netralnya biasanya diambil dari *ground* dengan syarat sumber tegangannya juga di *ground*. Cara menghubungkan motor dalam hubungan *delta* :

1. Ujung pertama dari kumparan fasa 1 dihubungkan dengan ujung kedua dari kumparan fasa 3.
2. Ujung pertama dari kumparan fasa 2 dihubungkan dengan ujung kedua dari kumparan fasa 1.
3. Ujung pertama dari kumparan fasa 3 dihubungkan dengan ujung kedua dari kumparan fasa 2. Untuk lebih jelasnya lihat gambar



Gambar 2.12 Hubungan Delta

Prinsipnya adalah saat sebuah motor tiga fasa di *start* awal, motor tidak dikenakan nilai tegangan penuh dan hanya arus saja yang digunakan secara penuh. Tentunya motor induksi bertipikal seperti ini hanya motor induksi dengan daya diatas 5.5 HP (Horse Power), sedangkan 1 HP adalah bernilai 0.75 KW (kilowatt). Karena penggunaan arus mula yang lumayan besar ini, maka diperlukanlah hubungan bintang (*star*) untuk meminimalisir arus. Setelah motor berputar dan arus sudah mulai turun, barulah dipindahkan menjadi hubungan segitiga (*delta*) sehingga motor tersebut mendapatkan nilai tegangan secara penuh.

Mengapa motor harus dihubungkan dengan *Star* (Y) – *Delta* (Δ)? *Star delta* adalah sebuah sistem starting motor yang paling banyak dipergunakan untuk starting motor listrik. Untuk menggerakkan motor tersebut memang diperlukan daya awal yg besar, serta dengan jenis rangkaian ini dimana rangkaian *star* dipakai hingga semuanya menjadi stabil akan rangkaiannya diubah menjadi *delta*. Dengan menggunakan *star delta starter* lonjakan arus listrik yang terlalu tinggi bisa dihindarkan. Cara kerjanya adalah saat *start* awal motor tidak dikenakan tegangan penuh hanya 0,58 dengan cara dihubung bintang / *star*. Setelah motor berputar dan arus sudah mulai turun dengan menggunakan *timer* arus dipindahkan menjadi segitiga / *delta* sehingga tegangan dan arus yang mengalir ke motor penuh.

Keuntungan motor tiga fasa hubungan *star* adalah arus hubungan *star* lebih kecil daripada arus hubungan *delta*. Jadi motor harus dihubungkan dari *star* ke *delta* adalah untuk mengurangi besarnya arus *start* motor yang mendekati 7 kali arus

nominal. Dengan metode ini motor awalnya diset pada asutan *Star*, setelah motor mencapai kecepatan 80% kecepatan maksimal, sambungan diubah ke sambungan *Delta*. Dengan cara ini maka torsi dapat dipertahankan sedangkan lonjakan arus *start* dapat ditekan.

2.12 Accu

Accumulator atau sering disebut *Accu*, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan *Accu* untuk dapat menghidupkan mesin mobil (mencatu arus pada dinamo stater kendaraan). *Accu* mampu mengubah tenaga kimia menjadi tenaga listrik. Di pasaran saat ini sangat beragam jumlah dan jenis *Accu* yang dapat ditemui. *Accu* untuk mobil biasanya mempunyai tegangan sebesar 12 Volt, sedangkan untuk motor ada tiga jenis tegangan 12 Volt, 9 volt dan ada juga yang bertegangan 6 Volt. Selain itu juga dapat ditemukan pula *Accu* yang khusus untuk menyalakan *Tape* atau radio dengan tegangan juga yang dapat diatur dengan rentang 3, 6, 9, dan 12 Volt. Tentu saja *Accu* jenis ini dapat dimuati kembali (*Recharge*) apabila muatannya telah berkurang atau habis. Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Elemen primer terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (*Katoda*) ke elektroda positif (*Anoda*) tidak dapat dibalik arahnya. Maka jika muatannya habis, maka elemen primer tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (*Dry Cells*).

Allesandro Volta, seorang ilmuwan fisika mengetahui, gaya gerak listrik (ggl) dapat dibangkitkan dua logam yang berbeda dan dipisahkan larutan elektrolit. Volta mendapatkan pasangan logam tembaga (Cu) dan seng (Zn) dapat membangkitkan ggl yang lebih besar dibandingkan pasangan logam lainnya (kelak disebut elemen Volta). Hal ini menjadi prinsip dasar bagi pembuatan dan penggunaan elemen sekunder. Elemen sekunder harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu

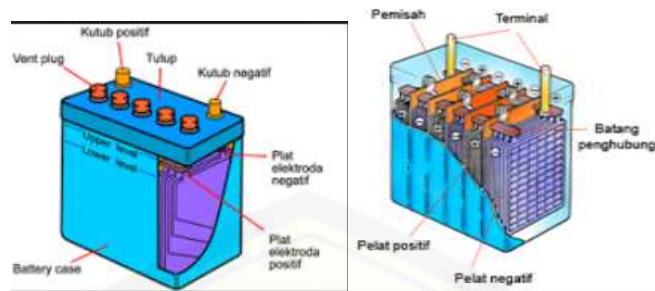
dengan cara mengalirkan arus listrik melaluinya (secara umum dikenal dengan istilah disetrum).

Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan *Accu*. Dalam sebuah *Accu* berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan Efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel yaitu di dalam *Accu* saat dipakai berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (*Discharging*). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*Charging*).

Jenis *Accu* yang umum digunakan adalah *Accumulator* timbal. Secara fisik *Accu* ini terdiri dari dua kumpulan pelat yang dimasukkan pada larutan asam sulfat encer (H_2SO_4). Larutan elektrolit itu ditempatkan pada wadah atau bejana *Accu* yang terbuat dari bahan ebonit atau gelas. Kedua belah pelat terbuat dari timbal (Pb), dan ketika pertama kali dimuati maka akan terbentuk lapisan timbal dioksida (PbO_2) pada pelat positif. Letak pelat positif dan negatif sangat berdekatan tetapi dibuat untuk tidak saling menyentuh dengan adanya lapisan pemisah yang berfungsi sebagai isolator (bahan penyekat).

Accu yang ada di pasaran ada 2 jenis yaitu *Accu* basah dan *Accu* kering. *Accu* basah media penyimpan arus listrik ini merupakan jenis paling umum digunakan. *Accu* jenis ini masih perlu diberi air *Accu* yang dikenal dengan sebutan *Accu Zuur*. Sedangkan *Accu* kering merupakan jenis *Accu* yang tidak memakai cairan, mirip seperti baterai telepon selular. *Accu* ini tahan terhadap getaran dan suhu rendah.

Dalam *Accu* terdapat elemen dan sel untuk penyimpan arus yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4). Tiap sel berisikan pelat positif dan pelat negatif. Pada pelat positif terkandung oksid timbal coklat (PbO_2), sedangkan pelat negatif mengandung timbal (Pb). Pelat-pelat ditempatkan pada batang penghubung. Pemisah atau *Separator* menjadi isolasi diantara pelat itu, dibuat agar baterai acid mudah beredar disekeliling pelat. Bila ketiga unsur kimia ini berinteraksi, munculah arus listrik.



Gambar 2.13 Sel Accu

(Sumber: id.m.wikipedia.org/akumulator, diakses terakhir tanggal 17 April 2015)

Accu memiliki 2 kutub/terminal, kutub positif dan kutub negatif. Biasanya kutub positif (+) lebih besar dari kutub negatif (-), untuk menghindari kelalaian bila *Accu* hendak dihubungkan dengan kabel-kabelnya. Pada *Accu* terdapat batas minimum dan maksimum tinggi permukaan air *Accu* untuk masing-masing sel. Bila permukaan air *Accu* di bawah level minimum akan merusak fungsi sel *Accu*. Jika air *Accu* melebihi level maksimum, mengakibatkan air *Accu* menjadi panas dan meluap keluar melalui tutup sel.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pembahasan pada bab metode penelitian ini dijelaskan beberapa hal pokok yaitu obyek penelitian, tahap penelitian, tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan, langkah-langkah dalam pengambilan data dan manajemen penelitian di lapangan.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian, pengujian dan analisis dilakukan secara umum dilakukan di :

Tempat : Lab. Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Jember
Alamat : Jl. Veteran, No. 03, Patrang, Kabupaten Jember
Waktu : Februari 2017 – Agustus 2017

3.2 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian yang akan dilakukan terdapat serangkaian tahap yang harus dilewati demi mencapai tujuan penelitian yang diharapkan. Diantara tahap – tahap dalam penelitian ini secara garis besarnya meliputi:

1. Tahap persiapan

Dalam tahap ini hal yang perlu diperhatikan adalah memperkirakan komponen apa saja yang nantinya akan digunakan untuk melilit motor BLDC dan pengujian terhadap motor BLDC.

2. Tahap studi literatur

Tahap awal dari penelitian ini mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya, buku maupun internet untuk mengetahui karakteristik, prinsip kerja serta teori yang menunjang penelitian. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

3. Tahap Perancangan

Tahap ini adalah tahap untuk merancang bagaimana motor BLDC tersebut dapat dililit ulang. menghitung berapa jumlah lilitan, kecepatan berdasarkan dari paramter perancangan yang telah ditentukan.

4. Tahap Uji karakteristik

Tahap pengambilan data sebelum motor dililit, yaitu karakteristik motor seperti Efisiensi, kecepatan motor dll.

5. Tahap Pembuatan Alat

Pembuatan alat disesuaikan dengan yang telah direncanakan pada langkah awal penelitian, mulai dari bentuk alat untuk memasang lilitan, diameter lilitan yang akan digunakan, jumlah lilitan yang digunakan.

6. Tahap pengambilan data

Setelah tahap – tahap bagian sebelumnya dilakukan dan tidak terdapat gangguan dalam penggantian lilitan maka tahap yang selanjutnya adalah tahap pengambilan data daya yang dihasilkan motor BLDC yang di ganti diameter lilitannya.

7. Analisa data

Analisa data dilakukan setelah mendapatkan hasil data dari data yang didapat yaitu membandingkan performa motor sebelum dirubah diameter lilitan dan setelah dilakukannya perubahan diameter lilitan.

8. Pengambilan kesimpulan

Penarikan kesimpulan diambil dari hasil analisis yang telah melalui beberapa kali uji program sehingga mendapatkan hasil yang memuaskan.

3.3 Perencanaan Jadwal Penelitian

Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan															
		Februari				Maret				September				Oktober			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan	■	■														
2	Studi Literatur		■	■	■												
3	Perancangan Alat				■	■	■	■	■								
4	Uji karakteristik motor					■	■	■	■								
5	Pembuatan Alat						■	■	■	■	■	■					
6	Pengambilan Data									■	■	■	■				
7	Analisa Data													■	■	■	■
8	Pengambilan Kesimpulan													■	■	■	■
9	Penulisan Laporan														■	■	■

3.4 Alat dan bahan

Adapun alat dan bahan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

3.4.1 Alat

1. Tachometer
2. Avometer
3. Alat Gulung manual
4. Tracker

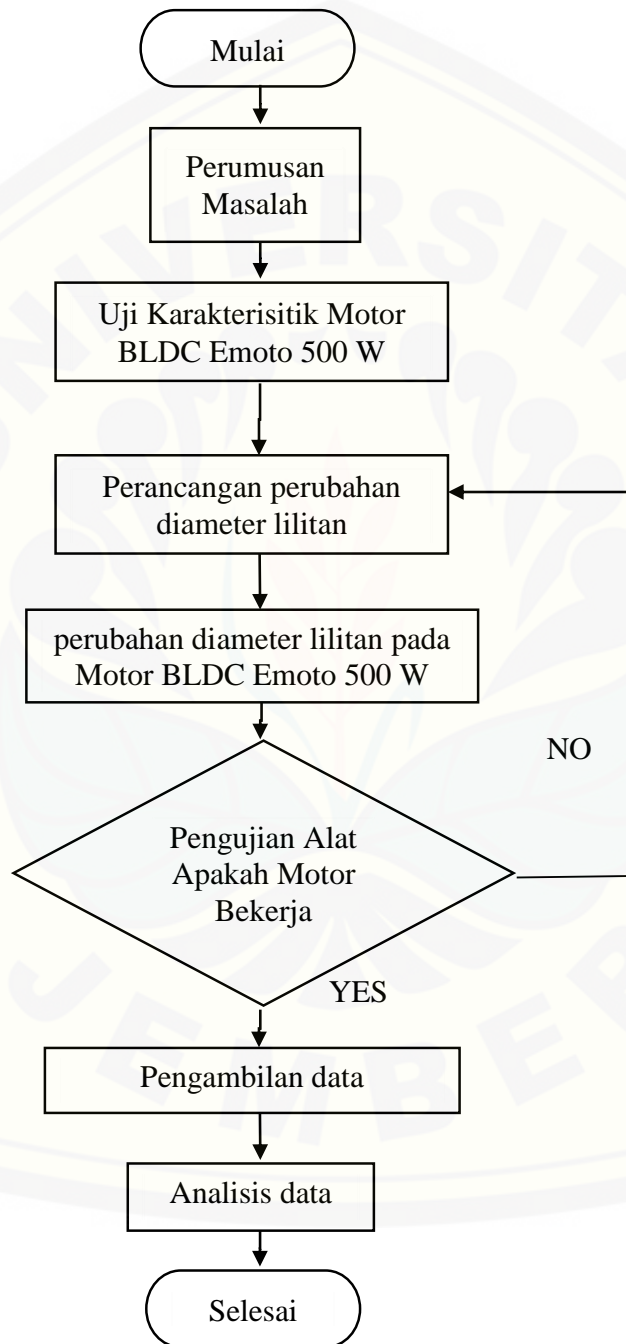
3.4.2 Bahan

1. Motor BLDC Emoto 500 W
2. Kawat Email 0.50 mm dan 0,45 mm
3. Baterai 48 V.

4. Kertas mika/pripsan.
5. Varnish
6. Kontrol Motor BLDC Emoto 500 W

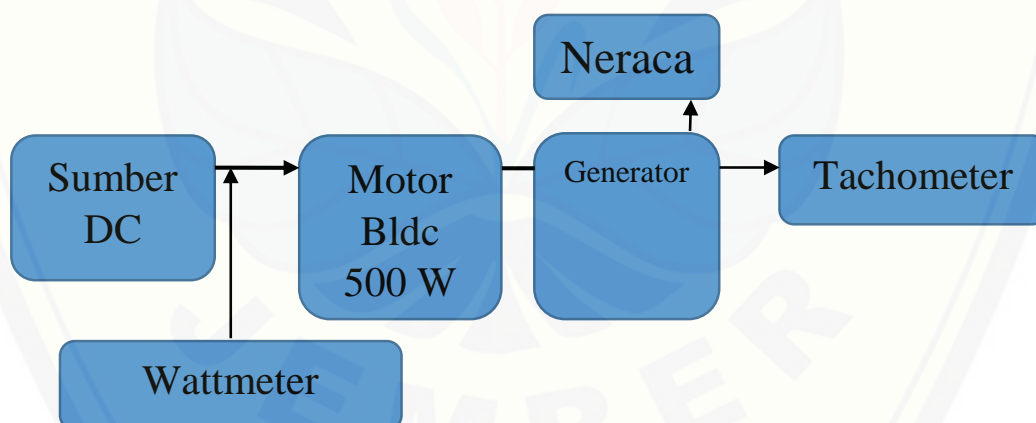


3.5 Flowchart Alir Penelitian



Pada *Flowchat* diatas menjelaskan alur atau mekanisme dari penelitian, yaitu dimulai dari studi literatur dari penelitian sebelumnya dengan topik yang sama melalui beberapa jurnal sehingga mendapatkan rumusan masalah. Setelah dilakukan perencanaan selanjutnya adalah melakukan uji karakteristik motor mulai dari kecepatan, torsi, efisiensi yang digunakan untuk membandingkan pengaruh lilitan terhadap performa motor. Selanjutnya adalah melakukan perancangan motor BLDC agar dapat di lilit ulang, menghitung jumlah lilitan, kecepatan. Kemudian melakukan penggantian lilitan pada motor dengan diameter yang ditentukan. Selanjutnya apabila motor dapat bekerja dilakukan pengambilan data berupa kecepatan, torsi, daya dan efisiensi yang nantinya digunakan untuk membandingkan antara sebelum dirubah dan setelah dilakukannya perubahan pada lilitan. Data yang dihasilkan dari penelitian nantinya akan menjadi acuan apabila terdapat suatu penelitian yang menyangkut topik pada penelitian ini.

3.6 Blok Diagram dan Perancangan Sistem



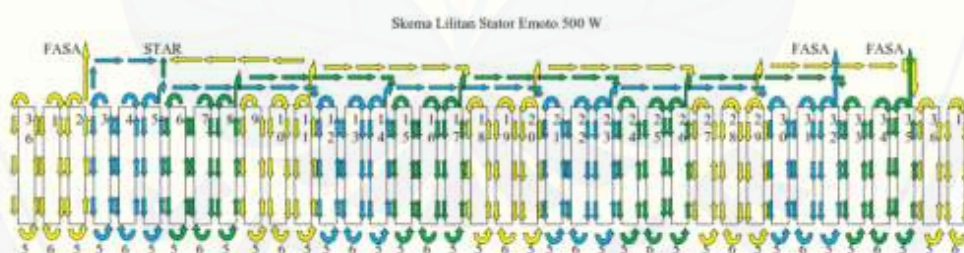
Prinsip kerja dari penelitian ini dapat digambarkan pada blok diagram diatas. Sumber DC yang digunakan berasal dari baterai aki 48 V. Sumber DC tersebut digunakan sebagai *suplay* tegangan pada motor. Pengujian pada motor ini untuk memperoleh karakteristik Efisiensi, kecepatan dengan menggunakan alat ukur *wattmeter* serta *tachometer*. Untuk Pengujian torsi menggunakan pengkopelan motor dan generator yang nantinya pada generator terdapat neraca yang digunakan untuk mengukur besarnya torsi mekanik. Data yang akan diambil menggunakan

beberapa parameter yang selanjutnya akan dianalisa dari hasil tersebut. Analisa yaitu performa motor saat sebelum dilakukanya perubahan diameter lilitan dan setelah di ubah di bandingkan akan lebih baik dan bagus yang mana dari perubahannya.

3.7 Data – data Spesifikasi Motor dan Kontrol

3.7.1 Motor BLDC Emoto 500 W

- Tipe : Motor DC Brushless (BLDC)
- Sistem pengereman : Tromol
- Komplit Kontroller BLDC 500W
- Vsuplai : DC 48V (power suplai not included)
- Daya : 500 Watt
- Speed : 550 rpm
- Torsi : 200 Kg.cm
- Motor berfungsi juga sebagai Velg
- Motor langsung pasang pada Ban (ban not included)
- Dimensi motor : diameter 27 cm x lebar 5 cm
- Berat motor + kontroller : 8,7 Kg



Gambar 3.2 Skema Lilitan Stator Emoto 500 W

3.7.2 Kontroller Emoto 500 W

- Rated voltage: 48 V
- Rated current : 31A
- Rated power: 500 W
- Matching motor: brushless motor
- Under Voltage Protection: 41V

- Throttle voltage: 1V to 4.2V
- Phase angle: 60/120 degrees
- Brake level: Low /High
- Heat dissipation: Natural cooling
- Ambient temperature: -20 degrees to 50 degrees
- Protection grade: IP55
- Dimensions: 15cm(L)x8cm(W)x4cm(H)

3.7.3 Generator BLDC Hi-Grade

- Tegangan: 48V
- Power watt: 350W
- over power watt: > 1000W
- Amper kerja: 16-18A
- OverAmper maks: > 35A
- Torsi: 18-25Nm
- recommended kontroler: 48V 350W 17A full fitur kontroler
- maksimum kontroler: 48V 1000W 35A full fitur kontroler
- Model socket: skun bulat lonjong (Male) , socket O ring. atau by request
- Socket hall: socket 6 pin isi 5. (Male)
- Jumlah ruji: 36 lubang
- Compatible Rim velg: 20", 24", 26" 700c, dan 17" ring sepeda motor
- open size as: 15 cm. panjang as = 18cm
- diameter motor: 24 cm, lebar motor: 7 cm
- bobot: 6 Kg
- Sistem rem: flaksible (terdapat drat untuk adapter tromol maupun disk brake)
- Kecepatan: 36V: 381 rpm, 48V: 45km/jam

Tabel 3.3 Data Percobaan Pengujian lilitan 0.50 mm

<i>Rpm</i>	<i>I input (A)</i>	<i>V input (V)</i>	<i>P input (W)</i>	<i>Ft (Kg)</i>	<i>F (N)</i>	<i>Torque (Nm)</i>	<i>P output (watt)</i>	Efisiensi (%)

Tabel 3.4 Data Percobaan Pengujian lilitan 0.55 mm

<i>Rpm</i>	<i>I input (A)</i>	<i>V input (V)</i>	<i>P input (W)</i>	<i>Ft (Kg)</i>	<i>F (N)</i>	<i>Torque (Nm)</i>	<i>P output (watt)</i>	Efisiensi (%)

3.8.1 Rumus Dasar pengujian

Torsi di dapat dari :

$$T = F \cdot r \tag{3.1}$$

Dimana :

T = Torsi

F = Gaya

r = Jari-jari

Efisiensi didapat dari :

$$\eta = \frac{P_l}{P_{in}} \times 100 \% \quad (3.2)$$

Dimana :

η = Efisiensi

P_l = Power on motor shaft

P_{in} = Power on the motor

Power on motor shaft didapat dari :

$$P_l = T L \cdot \omega \quad (3.3)$$

Dimana :

P_l = Power on motor shaft

$T L$ = Torsi on motor Shaft

ω = Rotor angular speed

Power on motor didapat dari :

$$P_{in} = I \cdot V \quad (3.4)$$

Dimana :

P_{in} = Power on motor

I = current

V = Voltage

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

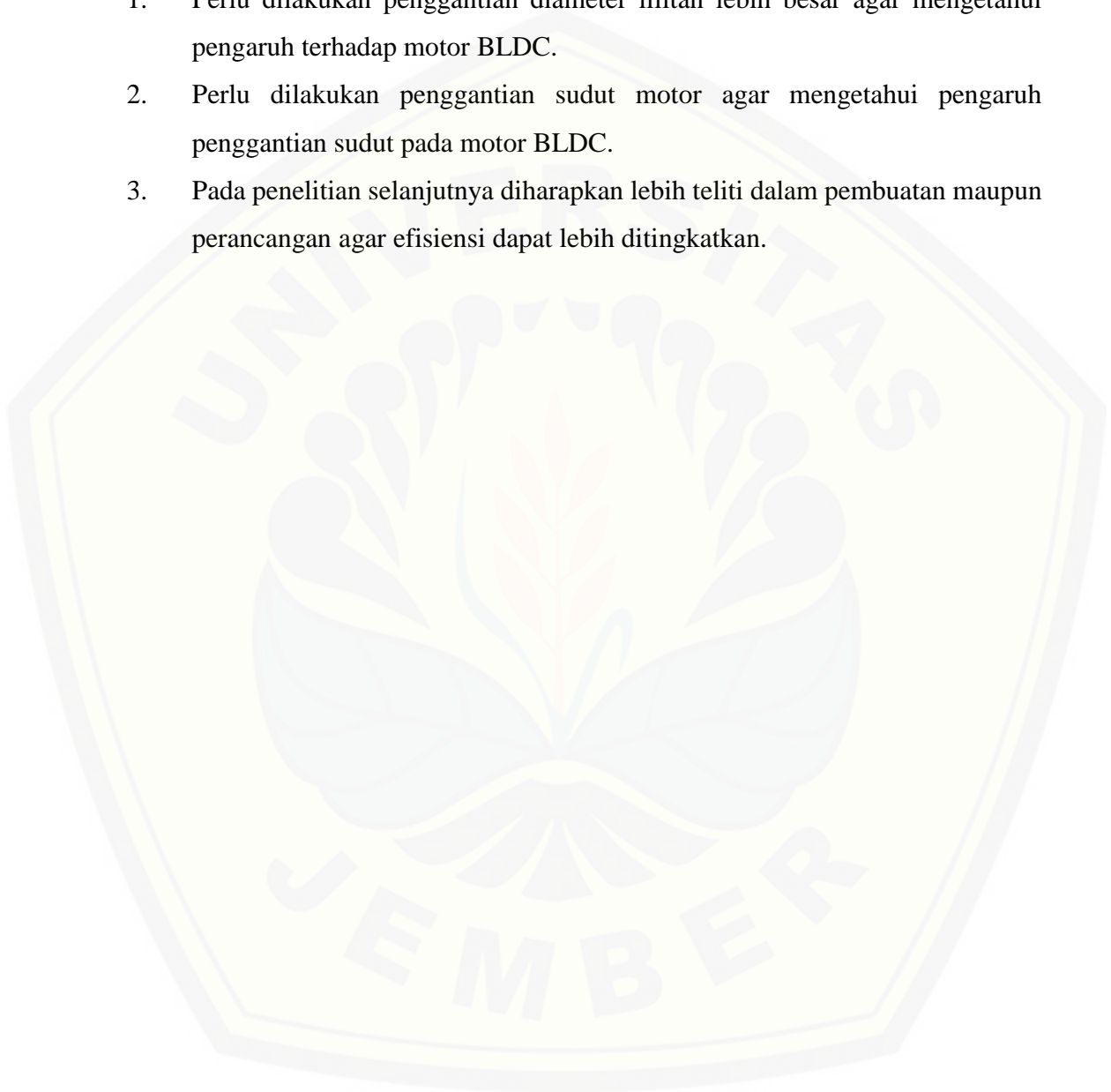
Berdasarkan penelitian yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Motor BLDC 500 W Terhadap Perubahan Diameter Lilitan Stator” dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Penggantian diameter lilitan Motor BLDC 500 W dapat berpengaruh terhadap efisiensi yaitu pada diameter 0.45mm Efisiensi dapat mencapai 98,4% sedangkan pada motor pabrikan yaitu diameter 0.55mm Efisiensi hanya mencapai 88,6%, hal ini disebabkan karena *current input* yang terdapat pada diameter 0.45mm lebih kecil dibandingkan diameter 0,55mm. Selanjutnya karena adanya perubahan energi yang berubah menjadi panas menyebabkan efisiensi dari motor semakin turun.
2. Penggantian diameter lilitan Motor BLDC 500 W dapat berpengaruh terhadap performa dari motor yaitu semakin kecil diameter lilitan akan mempengaruhi kecepatan motor yang semakin besar, terbukti ketika melakukan proses pengujian kecepatan maksimum pada motor modifikasi yaitu pada diameter 0.45mm didapatkan rpm maksimum sebesar 563 rpm. Sedangkan pada motor pabrikan rpm maksimum yang didapatkan sebesar 551 rpm.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, maka dapat diambil beberapa saran antara lain:

1. Perlu dilakukan penggantian diameter lilitan lebih besar agar mengetahui pengaruh terhadap motor BLDC.
2. Perlu dilakukan penggantian sudut motor agar mengetahui pengaruh penggantian sudut pada motor BLDC.
3. Pada penelitian selanjutnya diharapkan lebih teliti dalam pembuatan maupun perancangan agar efisiensi dapat lebih ditingkatkan.



DAFTAR PUSTAKA

- Anibal T, D., & Fernando, F. (n.d.). Efficiency Testing of Electric Induction Motors. *IEEE*, 1-10.
- Apatya, Y.B. Adyapaka., Subiantoro Aries., (2017). Design and Prototyping of 3-Phase BLDC Motor. Depok: Universitas Indonesia. *IEEE*, 1-6.
- Azzumar, M. (2012). *PEMODELAN DAN SIMULASI BRUSHLESS DC MOTOR KECIL UNTUK APLIKASI AKTUATOR SIRIP ROKET*. Depok: UNIVERSITAS INDONESIA.
- Dharmawan, A. (2009). PENGENDALIAN MOTOR BRUSHLESS DC DENGAN METODE PWM SINUSSOIDAL MENGGUNAKAN ATMEGA16. *Univeritas Indonesia*, 1-45.
- Ferreira, F. J., Baoming, G., & Almeida, A. T. (2014). Stator Winding Connection-Mode Management in Line-Start Permanent Magnet Motors to Improve Their Efficiency and Power Factor. *IEEE Transaction on Energy Conversion*, 523-533
- Hanselman, D. (2006). *Brushless Permanent Magnet Motor Design*. Lebanon, Ohio: Magna Physics Publishing.
- Hendersot, J. T., Miler TJE (1994). *DESIGN OF BRUSHLESS PERMANENT MAGNET MOTOR*. Ohio: Magna Physics.
- Hirzel, J. C. (2000). IMPACT OF REWINDING ON MOTOR EFFICIENC. *IEEE*, 104-107.
- Hutapea, M. (2016, November Rabu). *Ini Dua Alasan Pengembangan Energi Baru Terbarukan* . Retrieved from m.tempo.co:
<https://m.tempo.co/read/news/2016/11/30/090824316/ini-dua-alasan-pengembangan-energi-baru-terbarukan>
- Kenjo T., N. S., 1985. *Permanent-Magnet and Brushless DC Motor*. E. H. Rhoderick, P. Hammond penyunt. United States: Oxford University.
- Kurniawan, A. R. (2016). RANCANG BANGUN SINGLE-PHASE MOTOR BRUSHLESS DIRECT CURRENT . *Universitas Jember*, 4-36.

- Mach, M., & Hajek, V. (2015). Practical Testing of Methods for Improvement of Efficiency of a Small Induction Motor. *IEEE*, 1-6.
- Mineral, K. E. (2014, December Friday). <http://ebtke.esdm.go.id/post/2014/12/05/733/sampai.2014.kontribusi.energi.baru.terbarukan.pada.listrik.nasional.21.persen>. *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*, p. 1.
- Mohamed, I. N. (2016). Combined Star-Delta Windings to Improve Synchronous Reluctance Motor Performance. *IEEE*, 1-9.
- Nazaruddin, S., & Marsono H, S. (2013). PEMILIHAN KAWAT ENAMEL UNTUK PEMBUATAN SOLENOID DINAMOMETER ARUS EDDY DENGAN TORSI MAKSIMUM 496 Nm. *EKSERGI Jurnal Teknik Energi Vol 9 No. 1*, 5-11.
- Nehl, T., Demerdash, N., & Fouad, F. (1985). Impact of Winding Inductances and Other Parameters on The Design and Performance of Brushless DC Motors. *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, 2206-2213.
- NURSEHA, M. K., HARIYANTO, N., & SAODAH, S. (2015). Rewinding Motor Induksi 3 Fasa Double Speed dengan Rating Tegangan 80 V. *Jurnal Reka Elkomika*, 111-122.
- Rosyadi, M. (2016, February Saturday). *Peneliti: Energi fosil akan habis 2050*. Retrieved from <http://www.antaraneews.com: http://www.antaraneews.com/berita/545481/peneliti-energi-fosil-akan-habis-2050>
- Sekalala, S. (2006). *PERFORMANCE OF A THREE-PHASE PERMANENT MAGNET MOTOR OPERATING AS A SYNCHRONOUS MOTOR AND A BRUSHLESS DC MOTOR*. New York: B.EE., Electrical Engineering, City University of New York.
- Wirawan, J. (2015, November Monday). *Komitmen Indonesia di KTT Perubahan Iklim diragukan*. Retrieved from www.bbc.com: http://www.bbc.com/indonesia/berita_indonesia/2015/11/151129_indonesia_jokowi_cop21



LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS JEMBER

1. Perhitungan Omega

$$\omega = \text{Rpm} \frac{2\pi}{60}$$

$$\omega_{100} = 100 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{100} = 10.466 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{150} = 150 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{150} = 15.700 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{200} = 200 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{200} = 20.933 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{250} = 250 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{250} = 26.166 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{300} = 300 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{300} = 31.400 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{350} = 350 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{350} = 36.633 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{400} = 400 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{400} = 41.866 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{450} = 450 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{450} = 47.100 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{500} = 500 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{500} = 52.333 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{520} = 520 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{520} = 54.422 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{550} = 550 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{551} = 57.566 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{563} = 560 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{563} = 58.613 \text{ rad/s}$$

2. Perhitungan Torsi (r = 0.14m)

- Perhitungan Torsi tidak berbeban diameter 0.45mm

$$T = F \cdot r$$

$$T_{100} = 1.82 \times 0.14$$

$$T_{100} = 0.254 \text{ Nm}$$

$$T_{150} = 2.11 \times 0.14$$

$$T_{150} = 0.295 \text{ Nm}$$

$$T_{200} = 2.35 \times 0.14$$

$$T_{200} = 0.329 \text{ Nm}$$

$$T_{250} = 2.51 \times 0.14$$

$$T_{250} = 0.351 \text{ Nm}$$

$$T_{300} = 2.75 \times 0.14$$

$$T_{300} = 0.385 \text{ Nm}$$

$$T_{350} = 2.95 \times 0.14$$

$$T_{350} = 0.413 \text{ Nm}$$

$$T_{400} = 3.30 \times 0.14$$

$$T_{400} = 0.462 \text{ Nm}$$

$$T_{450} = 4.20 \times 0.14$$

$$T_{450} = 0.588 \text{ Nm}$$

$$T_{500} = 4.36 \times 0.14$$

$$T_{500} = 0.610 \text{ Nm}$$

$$T_{563} = 4.50 \times 0.14$$

$$T_{563} = 0.630 \text{ Nm}$$

• **Perhitungan Torsi tidak berbeban diameter 0.50mm**

$$T = F \cdot r$$

$$T_{100} = 1.34 \times 0.14$$

$$T_{100} = 0.187 \text{ Nm}$$

$$T_{150} = 1.48 \times 0.14$$

$$T_{150} = 0.207 \text{ Nm}$$

$$T_{200} = 1.62 \times 0.14$$

$$T_{200} = 0.226 \text{ Nm}$$

$$T_{250} = 1.77 \times 0.14$$

$$T_{250} = 0.247 \text{ Nm}$$

$$T_{300} = 1.64 \times 0.14$$

$$T_{300} = 0.229 \text{ Nm}$$

$$T_{350} = 1.67 \times 0.14$$

$$T_{350} = 0.233 \text{ Nm}$$

$$T_{400} = 1.88 \times 0.14$$

$$T_{400} = 0.263 \text{ Nm}$$

$$T_{450} = 1.97 \times 0.14$$

$$T_{450} = 0.275 \text{ Nm}$$

$$T_{500} = 2.08 \times 0.14$$

$$T_{500} = 0.291 \text{ Nm}$$

$$T_{562} = 2.19 \times 0.14$$

$$T_{562} = 0.306 \text{ Nm}$$

• **Perhitungan Torsi tidak berbeban diameter 0.55mm**

$$T = F \cdot r$$

$$T_{100} = 1.42 \times 0.14$$

$$T_{100} = 0.198 \text{ Nm}$$

$$T_{150} = 1.53 \times 0.14$$

$$T_{150} = 0.214 \text{ Nm}$$

$$T_{200} = 1.72 \times 0.14$$

$$T_{200} = 0.240 \text{ Nm}$$

$$T_{250} = 1.85 \times 0.14$$

$$T_{250} = 0.259 \text{ Nm}$$

$$T_{300} = 1.87 \times 0.14$$

$$T_{300} = 0.261 \text{ Nm}$$

$$T_{350} = 1.92 \times 0.14$$

$$T_{350} = 0.268 \text{ Nm}$$

$$T_{400} = 2.04 \times 0.14$$

$$T_{400} = 0.285 \text{ Nm}$$

$$T_{450} = 2.13 \times 0.14$$

$$T_{450} = 0.298 \text{ Nm}$$

$$T_{500} = 2.23 \times 0.14$$

$$T_{500} = 0.312 \text{ Nm}$$

$$T_{551} = 0.69 \times 0.14$$

$$T_{551} = 0.096 \text{ Nm}$$

• **Perhitungan Torsi berbeban diameter 0.45mm**

$$T = F \cdot r$$

$$T_{100} = 3.60 \times 0.14$$

$$T_{100} = 0.504 \text{ Nm}$$

$$T_{150} = 4.39 \times 0.14$$

$$T_{150} = 0.614 \text{ Nm}$$

$$T_{200} = 5.92 \times 0.14$$

$$T_{200} = 0.828 \text{ Nm}$$

$$T_{250} = 6.98 \times 0.14$$

$$T_{250} = 0.977 \text{ Nm}$$

$$T_{300} = 8.32 \times 0.14$$

$$T_{300} = 1.164 \text{ Nm}$$

$$T_{350} = 9.55 \times 0.14$$

$$T_{350} = 1.337 \text{ Nm}$$

$$T_{400} = 10.9 \times 0.14$$

$$T_{400} = 1.526 \text{ Nm}$$

$$T_{450} = 12.01 \times 0.14$$

$$T_{450} = 1.681 \text{ Nm}$$

$$T_{500} = 13.03 \times 0.14$$

$$T_{500} = 1.824 \text{ Nm}$$

$$T_{528} = 13.69 \times 0.14$$

$$T_{528} = 1.916 \text{ Nm}$$

• **Perhitungan Torsi berbeban diameter 0.50mm**

$$T = F \cdot r$$

$$T_{100} = 2.48 \times 0.14$$

$$T_{100} = 0.347 \text{ Nm}$$

$$T_{150} = 2.72 \times 0.14$$

$$T_{150} = 0.380 \text{ Nm}$$

$$T_{200} = 3.43 \times 0.14$$

$$T_{200} = 0.480 \text{ Nm}$$

$$T_{250} = 3.96 \times 0.14$$

$$T_{250} = 0.554 \text{ Nm}$$

$$T_{300} = 4.60 \times 0.14$$

$$T_{300} = 0.644 \text{ Nm}$$

$$T_{350} = 5.28 \times 0.14$$

$$T_{350} = 0.739 \text{ Nm}$$

$$T_{400} = 5.91 \times 0.14$$

$$T_{400} = 0.827 \text{ Nm}$$

$$T_{450} = 6.57 \times 0.14$$

$$T_{450} = 0.919 \text{ Nm}$$

$$T_{500} = 7.32 \times 0.14$$

$$T_{500} = 1.024 \text{ Nm}$$

$$T_{533} = 7.33 \times 0.14$$

$$T_{533} = 1.026 \text{ Nm}$$

- **Perhitungan Torsi berbeban diameter 0.55 mm**

$$T = F.r$$

$$T_{100} = 1.49 \times 0.14$$

$$T_{100} = 0.2086 \text{ Nm}$$

$$T_{150} = 1.63 \times 0.14$$

$$T_{150} = 0.2282 \text{ Nm}$$

$$T_{200} = 2.44 \times 0.14$$

$$T_{200} = 0.3416 \text{ Nm}$$

$$T_{250} = 3.18 \times 0.14$$

$$T_{250} = 0.4452 \text{ Nm}$$

$$T_{300} = 3.76 \times 0.14$$

$$T_{300} = 0.5264 \text{ Nm}$$

$$T_{350} = 4.34 \times 0.14$$

$$T_{350} = 0.6076 \text{ Nm}$$

$$T_{400} = 4.94 \times 0.14$$

$$T_{400} = 0.6916 \text{ Nm}$$

$$T_{450} = 5.47 \times 0.14$$

$$T_{450} = 0.7658 \text{ Nm}$$

$$T_{500} = 5.98 \times 0.14$$

$$T_{500} = 0.8372 \text{ Nm}$$

$$T_{520} = 3.67 \times 0.14$$

$$T_{520} = 0.513 \text{ Nm}$$

3. Perhitungan *Pout*

- **Perhitungan *Pout* tidak berbeban diameter 0.45 mm**

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

$$P_{out_{100}} = 0.254 \times 10.46$$

$$P_{out_{100}} = 2.66 \text{ W}$$

$$P_{out_{150}} = 0.295 \times 15.7$$

$$P_{out_{150}} = 4.663 \text{ W}$$

$$P_{out_{200}} = 0.329 \times 20.93$$

$$P_{out_{200}} = 6.88 \text{ W}$$

$$P_{out_{250}} = 0.351 \times 26.16$$

$$P_{out_{250}} = 9.19 \text{ W}$$

$$P_{out_{300}} = 0.385 \times 31.46$$

$$P_{out_{300}} = 12.08 \text{ W}$$

$$P_{out_{350}} = 0.413 \times 36.63$$

$$P_{out_{350}} = 15.12 \text{ W}$$

$$P_{out_{400}} = 0.462 \times 41.86$$

$$P_{out_{400}} = 2.66 \text{ W}$$

$$P_{out_{450}} = 0.588 \times 47.1$$

$$P_{out_{450}} = 27.69 \text{ W}$$

$$P_{out_{500}} = 0.610 \times 52.33$$

$$P_{out_{500}} = 31.94 \text{ W}$$

$$P_{out_{563}} = 0.63 \times 58.61$$

$$P_{out_{563}} = 34.28 \text{ W}$$

• **Perhitungan P_{out} tidak berbeban diameter 0.50 mm**

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

$$P_{out_{100}} = 0.254 \times 10.46$$

$$P_{out_{100}} = 2.66 \text{ W}$$

$$P_{out_{150}} = 0.295 \times 15.7$$

$$P_{out_{150}} = 4.663 \text{ W}$$

$$P_{out_{200}} = 0.329 \times 20.93$$

$$P_{out_{200}} = 6.88 \text{ W}$$

$$P_{out_{250}} = 0.351 \times 26.16$$

$$P_{out_{250}} = 9.19 \text{ W}$$

$$P_{out_{300}} = 0.385 \times 31.46$$

$$P_{out_{300}} = 12.08 \text{ W}$$

$$P_{out_{350}} = 0.413 \times 36.63$$

$$P_{out_{350}} = 15.12 \text{ W}$$

$$P_{out400} = 0.462 \times 41.86$$

$$P_{out400} = 2.66 \text{ W}$$

$$P_{out450} = 0.588 \times 47.1$$

$$P_{out450} = 27.69 \text{ W}$$

$$P_{out500} = 0.610 \times 52.33$$

$$P_{out500} = 31.94 \text{ W}$$

$$P_{out562} = 0.63 \times 58.61$$

$$P_{out562} = 34.28 \text{ W}$$

- **Perhitungan P_{out} tidak berbeban diameter 0.55 mm**

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

$$P_{out100} = 0.198 \times 10.46$$

$$P_{out100} = 2.08 \text{ W}$$

$$P_{out150} = 0.214 \times 15.7$$

$$P_{out150} = 3.36 \text{ W}$$

$$P_{out200} = 0.240 \times 20.93$$

$$P_{out200} = 5.04 \text{ W}$$

$$P_{out250} = 0.259 \times 26.16$$

$$P_{out250} = 6.77 \text{ W}$$

$$P_{out300} = 0.261 \times 31.46$$

$$P_{out300} = 8.22 \text{ W}$$

$$P_{out350} = 0.268 \times 36.63$$

$$P_{out350} = 9.84 \text{ W}$$

$$P_{out400} = 0.285 \times 41.86$$

$$P_{out400} = 11.95 \text{ W}$$

$$P_{out450} = 0.298 \times 47.1$$

$$P_{out450} = 14.04 \text{ W}$$

$$P_{out500} = 0.312 \times 52.33$$

$$P_{out500} = 19.22 \text{ W}$$

$$P_{out551} = 0.096 \times 58.61$$

$$P_{out551} = 5.64 \text{ W}$$

• **Perhitungan P_{out} berbeban diameter 0.45 mm**

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

$$P_{out_{100}} = 0.5 \times 10.46$$

$$P_{out_{100}} = 5.27 \text{ W}$$

$$P_{out_{150}} = 0.61 \times 15.7$$

$$P_{out_{150}} = 9.64 \text{ W}$$

$$P_{out_{200}} = 0.82 \times 20.93$$

$$P_{out_{200}} = 17.34 \text{ W}$$

$$P_{out_{250}} = 0.971 \times 26.16$$

$$P_{out_{250}} = 25.57 \text{ W}$$

$$P_{out_{300}} = 1.164 \times 31.46$$

$$P_{out_{300}} = 36.57 \text{ W}$$

$$P_{out_{350}} = 1.337 \times 36.63$$

$$P_{out_{350}} = 48.97 \text{ W}$$

$$P_{out_{400}} = 1.526 \times 41.86$$

$$P_{out_{400}} = 63.88 \text{ W}$$

$$P_{out_{450}} = 1.681 \times 47.1$$

$$P_{out_{450}} = 79.193 \text{ W}$$

$$P_{out_{500}} = 1.824 \times 52.33$$

$$P_{out_{500}} = 95.46 \text{ W}$$

$$P_{out_{528}} = 1.916 \times 58.61$$

$$P_{out_{528}} = 104.31 \text{ W}$$

• **Perhitungan P_{out} berbeban diameter 0.50 mm**

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

$$P_{out_{100}} = 0.347 \times 10.46$$

$$P_{out_{100}} = 3.63 \text{ W}$$

$$P_{out_{150}} = 0.380 \times 15.7$$

$$P_{out_{150}} = 5.97 \text{ W}$$

$$P_{out_{200}} = 0.480 \times 20.93$$

$$P_{out_{200}} = 10.05 \text{ W}$$

$$Pout_{250} = 0.554 \times 26.16$$

$$Pout_{250} = 14.50 \text{ W}$$

$$Pout_{300} = 0.644 \times 31.46$$

$$Pout_{300} = 20.221 \text{ W}$$

$$Pout_{350} = 0.739 \times 36.63$$

$$Pout_{350} = 27.07 \text{ W}$$

$$Pout_{400} = 0.827 \times 41.86$$

$$Pout_{400} = 34.64 \text{ W}$$

$$Pout_{450} = 0.919 \times 47.1$$

$$Pout_{450} = 43.32 \text{ W}$$

$$Pout_{500} = 1.024 \times 52.33$$

$$Pout_{500} = 53.63 \text{ W}$$

$$Pout_{533} = 1.026 \times 58.61$$

$$Pout_{533} = 55.85 \text{ W}$$

• **Perhitungan $Pout$ berbeban diameter 0.55 mm**

$$Pout = T \cdot \omega$$

$$Pout_{100} = 0.208 \times 10.46$$

$$Pout_{100} = 2.18 \text{ W}$$

$$Pout_{150} = 0.228 \times 15.7$$

$$Pout_{150} = 3.582 \text{ W}$$

$$Pout_{200} = 0.341 \times 20.93$$

$$Pout_{200} = 7.15 \text{ W}$$

$$Pout_{250} = 0.445 \times 26.16$$

$$Pout_{250} = 11.64 \text{ W}$$

$$Pout_{300} = 0.526 \times 31.46$$

$$Pout_{300} = 16.52 \text{ W}$$

$$Pout_{350} = 0.607 \times 36.63$$

$$Pout_{350} = 22.25 \text{ W}$$

$$Pout_{400} = 0.691 \times 41.86$$

$$Pout_{400} = 28.95 \text{ W}$$

$$P_{out_{450}} = 0.765 \times 47.1$$

$$P_{out_{450}} = 36.069 \text{ W}$$

$$P_{out_{500}} = 0.837 \times 52.33$$

$$P_{out_{500}} = 43.81 \text{ W}$$

$$P_{out_{520}} = 0.513 \times 58.61$$

$$P_{out_{520}} = 27.96 \text{ W}$$

4. Perhitungan Efisiensi

- Perhitungan *Efficiency* tidak berbeban diameter 0.45 mm

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = \frac{2.66}{7.7} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = 34,63\%$$

$$\eta_{150} = \frac{2.66}{7.7} \times 100\%$$

$$\eta_{150} = 34,63\%$$

$$\eta_{200} = \frac{4.63}{12.9} \times 100\%$$

$$\eta_{200} = 35,95\%$$

$$\eta_{250} = \frac{6.88}{22.1} \times 100\%$$

$$\eta_{250} = 31,16\%$$

$$\eta_{300} = \frac{9.19}{32.3} \times 100\%$$

$$\eta_{300} = 28,46\%$$

$$\eta_{350} = \frac{12.08}{40,9} \times 100\%$$

$$\eta_{350} = 29,55\%$$

$$\eta_{400} = \frac{19.34}{67.2} \times 100\%$$

$$\eta_{400} = 28,78\%$$

$$\eta_{450} = \frac{27.69}{78.7} \times 100\%$$

$$\eta_{450} = 35,19\%$$

$$\eta_{500} = \frac{31.94}{94.1} \times 100\%$$

$$\eta_{500} = 33,94\%$$

$$\eta_{563} = \frac{34.94}{107.2} \times 100\%$$

$$\eta_{563} = 31,98\%$$

- **Perhitungan *Efficiency* tidak berbeban diameter 0.50 mm**

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = \frac{1.96}{7.9} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = 24,63\%$$

$$\eta_{150} = \frac{3.25}{10.5} \times 100\%$$

$$\eta_{150} = 30,98\%$$

$$\eta_{200} = \frac{4.74}{18.9} \times 100\%$$

$$\eta_{200} = 25,12\%$$

$$\eta_{250} = \frac{6.48}{33.6} \times 100\%$$

$$\eta_{250} = 19,29\%$$

$$\eta_{300} = \frac{7.20}{39.8} \times 100\%$$

$$\eta_{300} = 18,11\%$$

$$\eta_{350} = \frac{8.56}{54.8} \times 100\%$$

$$\eta_{350} = 15,62\%$$

$$\eta_{400} = \frac{11.01}{67.2} \times 100\%$$

$$\eta_{400} = 16,39\%$$

$$\eta_{450} = \frac{12.99}{75.3} \times 100\%$$

$$\eta_{450} = 17,25\%$$

$$\eta_{500} = \frac{15.23}{90.2} \times 100\%$$

$$\eta_{500} = 16,89\%$$

$$\eta_{562} = \frac{17.97}{102.9} \times 100\%$$

$$\eta_{562} = 17,461\%$$

- **Perhitungan *Efficiency* tidak berbeban diameter 0.55 mm**

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = \frac{2.08}{5.2} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = 40,01\%$$

$$\eta_{150} = \frac{3.36}{8.3} \times 100\%$$

$$\eta_{150} = 40,51\%$$

$$\eta_{200} = \frac{5.04}{14.5} \times 100\%$$

$$\eta_{200} = 34,76\%$$

$$\eta_{250} = \frac{6.77}{32.6} \times 100\%$$

$$\eta_{250} = 20,78\%$$

$$\eta_{300} = \frac{8.22}{40.8} \times 100\%$$

$$\eta_{300} = 20,14\%$$

$$\eta_{350} = \frac{9.84}{47} \times 100\%$$

$$\eta_{350} = 20,95\%$$

$$\eta_{400} = \frac{11.95}{63.8} \times 100\%$$

$$\eta_{400} = 18,74\%$$

$$\eta_{450} = \frac{14.04}{70.9} \times 100\%$$

$$\eta_{450} = 19,80\%$$

$$\eta_{500} = \frac{16.33}{84.5} \times 100\%$$

$$\eta_{500} = 19,33\%$$

$$\eta_{551} = \frac{5.66}{101} \times 100\%$$

$$\eta_{551} = 5,60\%$$

- **Perhitungan *Efficiency* berbeban diameter 0.45 mm**

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = \frac{5.27}{9.5} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = 55,52\%$$

$$\eta_{150} = \frac{9.64}{22.8} \times 100\%$$

$$\eta_{150} = 42,32\%$$

$$\eta_{200} = \frac{17.34}{40.5} \times 100\%$$

$$\eta_{200} = 42,83\%$$

$$\eta_{250} = \frac{25.57}{62.6} \times 100\%$$

$$\eta_{250} = 40,84\%$$

$$\eta_{300} = \frac{36.57}{85.8} \times 100\%$$

$$\eta_{300} = 42,62\%$$

$$\eta_{350} = \frac{48.97}{110,7} \times 100\%$$

$$\eta_{350} = 44,24\%$$

$$\eta_{400} = \frac{63.88}{136.5} \times 100\%$$

$$\eta_{400} = 46,80\%$$

$$\eta_{450} = \frac{79.19}{174.6} \times 100\%$$

$$\eta_{450} = 45,35\%$$

$$\eta_{500} = \frac{95.46}{205.8} \times 100\%$$

$$\eta_{500} = 46,38\%$$

$$\eta_{528} = \frac{104.31}{221.5} \times 100\%$$

$$\eta_{528} = 47,09\%$$

- **Perhitungan *Efficiency* berbeban diameter 0.50 mm**

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = \frac{3.63}{9.4} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = 38,65\%$$

$$\eta_{150} = \frac{5.97}{20.4} \times 100\%$$

$$\eta_{150} = 29,30\%$$

$$\eta_{200} = \frac{10.05}{40.7} \times 100\%$$

$$\eta_{200} = 24,69\%$$

$$\eta_{250} = \frac{14.50}{64.5} \times 100\%$$

$$\eta_{250} = 22,49\%$$

$$\eta_{300} = \frac{20.22}{84} \times 100\%$$

$$\eta_{300} = 24,07\%$$

$$\eta_{350} = \frac{27.07}{109.9} \times 100\%$$

$$\eta_{350} = 24,64\%$$

$$\eta_{400} = \frac{34.64}{134.5} \times 100\%$$

$$\eta_{400} = 25,75\%$$

$$\eta_{450} = \frac{43.32}{164.9} \times 100\%$$

$$\eta_{450} = 26,27\%$$

$$\eta_{500} = \frac{53.63}{202.6} \times 100\%$$

$$\eta_{500} = 26,47\%$$

$$\eta_{533} = \frac{55.85}{224.9} \times 100\%$$

$$\eta_{533} = 24,831\%$$

- **Perhitungan *Efficiency* berbeban diameter 0.55 mm**

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = \frac{2.18}{5.1} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = 42,81\%$$

$$\eta_{150} = \frac{3.58}{8.8} \times 100\%$$

$$\eta_{150} = 40,71\%$$

$$\eta_{200} = \frac{7.15}{39.2} \times 100\%$$

$$\eta_{200} = 18,24\%$$

$$\eta_{250} = \frac{11.64}{59.1} \times 100\%$$

$$\eta_{250} = 19,71\%$$

$$\eta_{300} = \frac{16.52}{76.7} \times 100\%$$

$$\eta_{300} = 21,55\%$$

$$\eta_{350} = \frac{22.25}{107,3} \times 100\%$$

$$\eta_{350} = 20,74\%$$

$$\eta_{400} = \frac{28.95}{132.3} \times 100\%$$

$$\eta_{400} = 21,88\%$$

$$\eta_{450} = \frac{36.06}{163.3} \times 100\%$$

$$\eta_{450} = 22,08\%$$

$$\eta_{500} = \frac{43.81}{200.5} \times 100\%$$

$$\eta_{500} = 21,85\%$$

$$\eta_{520} = \frac{27.96}{221,9} \times 100\%$$

$$\eta_{520} = 12,60\%$$

5. Perhitungan Torsi Teori

- Perhitungan Torsi teori tidak berbeban diameter 0.45 mm

$$F_{100} = BIL$$

$$1.82 = B \times 0.18 \times 4.98$$

$$B_{100} = 0.002 T$$

$$\Phi_{100} = \pi RBL$$

$$\Phi_{100} = 3.14 \times 2.49 \times 0.002 \times 4.98$$

$$\Phi_{100} = 0.0791 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{100} = \left(\frac{z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{100} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0791 \times 0.18$$

$$T_{100} = 0.249 Nm$$

$$F_{150} = BIL$$

$$2.11 = B \times 0.25 \times 4.98$$

$$B_{150} = 0.001 T$$

$$\Phi_{150} = \pi RBL$$

$$\Phi_{150} = 3.14 \times 2.49 \times 0.001 \times 4.98$$

$$\Phi_{150} = 0.0606 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{150} = \left(\frac{z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{150} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.06 \times 0.25$$

$$T_{150} = 0.265 Nm$$

$$F_{200} = BIL$$

$$2.35 = B \times 0.43 \times 4.98$$

$$B_{200} = 0.001 T$$

$$\Phi_{200} = \pi RBL$$

$$\Phi_{200} = 3.14 \times 2.49 \times 0.001 \times 4.98$$

$$\Phi_{200} = 0.0392 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{200} = \left(\frac{z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{200} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.039 \times 0.43$$

$$T_{200} = 0.295 \text{ Nm}$$

$$F_{250} = BIL$$

$$2.51 = B \times 0.63 \times 4.98$$

$$B_{250} = 0.0008 \text{ T}$$

$$\Phi_{250} = \pi RBL$$

$$\Phi_{250} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0008 \times 4.98$$

$$\Phi_{250} = 0.0286 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{250} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{250} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.02 \times 0.63$$

$$T_{250} = 0.316 \text{ Nm}$$

$$F_{300} = BIL$$

$$2.75 = B \times 0.8 \times 4.98$$

$$B_{300} = 0.0007 \text{ T}$$

$$\Phi_{300} = \pi RBL$$

$$\Phi_{300} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0007 \times 4.98$$

$$\Phi_{300} = 0.0247 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{300} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{300} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.02 \times 0.8$$

$$T_{300} = 0.346 \text{ Nm}$$

$$F_{350} = BIL$$

$$2.95 = B \times 0.99 \times 4.98$$

$$B_{350} = 0.0006 \text{ T}$$

$$\Phi_{350} = \pi RBL$$

$$\Phi_{350} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0006 \times 4.98$$

$$\Phi_{350} = 0.0214 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{350} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{350} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.02 \times 0.99$$

$$T_{350} = 0.371 \text{ Nm}$$

$$F_{400} = BIL$$

$$3.3 = B \times 1.36 \times 4.98$$

$$B_{400} = 0.0005 \text{ T}$$

$$\Phi_{400} = \pi RBL$$

$$\Phi_{400} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0005 \times 4.98$$

$$\Phi_{400} = 0.0174 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{400} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{400} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.017 \times 1.36$$

$$T_{400} = 0.415 \text{ Nm}$$

$$F_{450} = BIL$$

$$4.2 = B \times 1.6 \times 4.98$$

$$B_{450} = 0.0005 \text{ T}$$

$$\Phi_{450} = \pi RBL$$

$$\Phi_{450} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0005 \times 4.98$$

$$\Phi_{450} = 0.0188 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{450} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{450} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.018 \times 1.6$$

$$T_{450} = 0.528 \text{ Nm}$$

$$F_{500} = BIL$$

$$4.36 = B \times 1.92 \times 4.98$$

$$B_{500} = 0.0004 \text{ T}$$

$$\Phi_{500} = \pi RBL$$

$$\Phi_{500} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0004 \times 4.98$$

$$\Phi_{500} = 0.0163 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{500} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{500} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.016 \times 1.92$$

$$T_{500} = 0.548 \text{ Nm}$$

$$F_{563} = BIL$$

$$4.5 = B \times 2.19 \times 4.98$$

$$B_{563} = 0.0004 \text{ T}$$

$$\Phi_{563} = \pi RBL$$

$$\Phi_{563} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0004 \times 4.98$$

$$\Phi_{563} = 0.014 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{563} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{563} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.014 \times 2.19$$

$$T_{563} = 0.566 \text{ Nm}$$

- **Perhitungan Torsi teori tidak berbeban diameter 0.50 mm**

$$F_{100} = BIL$$

$$1.34 = B \times 0.13 \times 4.98$$

$$B_{100} = 0.002 \text{ T}$$

$$\Phi_{100} = \pi RBL$$

$$\Phi_{100} = 3.14 \times 2.49 \times 0.002 \times 4.98$$

$$\Phi_{100} = 0.0741 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{100} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{100} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0741 \times 0.13$$

$$T_{100} = 0.168 \text{ Nm}$$

$$F_{150} = BIL$$

$$1.48 = B \times 0.2 \times 4.98$$

$$B_{150} = 0.0016 \text{ T}$$

$$\Phi_{150} = \pi RBL$$

$$\Phi_{150} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0016 \times 4.98$$

$$\Phi_{150} = 0.0532 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{150} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{150} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.05 \times 0.2$$

$$T_{150} = 0.186 \text{ Nm}$$

$$F_{200} = BIL$$

$$1.62 = B \times 0.36 \times 4.98$$

$$B_{200} = 0.0009 \text{ T}$$

$$\Phi_{200} = \pi RBL$$

$$\Phi_{200} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0009 \times 4.98$$

$$\Phi_{200} = 0.032 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{200} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{200} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.032 \times 0.36$$

$$T_{200} = 0.203 \text{ Nm}$$

$$F_{250} = BIL$$

$$1.77 = B \times 0.64 \times 4.98$$

$$B_{250} = 0.0006 \text{ T}$$

$$\Phi_{250} = \pi RBL$$

$$\Phi_{250} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0006 \times 4.98$$

$$\Phi_{250} = 0.019 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{250} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{250} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.019 \times 0.64$$

$$T_{250} = 0.222 \text{ Nm}$$

$$F_{300} = BIL$$

$$1.64 = B \times 0.76 \times 4.98$$

$$B_{300} = 0.0004 \text{ T}$$

$$\Phi_{300} = \pi RBL$$

$$\Phi_{300} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0004 \times 4.98$$

$$\Phi_{300} = 0.0155 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{300} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{300} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0155 \times 0.76$$

$$T_{300} = 0.206 \text{ Nm}$$

$$F_{350} = BIL$$

$$1.67 = B \times 1.05 \times 4.98$$

$$B_{350} = 0.0003 T$$

$$\Phi_{350} = \pi RBL$$

$$\Phi_{350} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0003 \times 4.98$$

$$\Phi_{350} = 0.0114 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{350} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{350} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.011 \times 1.05$$

$$T_{350} = 0.210 \text{ Nm}$$

$$F_{400} = BIL$$

$$1.88 = B \times 1.27 \times 4.98$$

$$B_{400} = 0.0003 T$$

$$\Phi_{400} = \pi RBL$$

$$\Phi_{400} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0003 \times 4.98$$

$$\Phi_{400} = 0.0106 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{400} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{400} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0106 \times 1.27$$

$$T_{400} = 0.236 \text{ Nm}$$

$$F_{450} = BIL$$

$$1.97 = B \times 1.45 \times 4.98$$

$$B_{450} = 0.0002 T$$

$$\Phi_{450} = \pi RBL$$

$$\Phi_{450} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0002 \times 4.98$$

$$\Phi_{450} = 0.0097 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{450} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{450} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.00971 \times 1.45$$

$$T_{450} = 0.248 \text{ Nm}$$

$$F_{500} = BIL$$

$$2.08 = B \times 1.74 \times 4.98$$

$$B_{500} = 0.0002 T$$

$$\Phi_{500} = \pi RBL$$

$$\Phi_{500} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0002 \times 4.98$$

$$\Phi_{500} = 0.0085 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{500} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{500} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.008 \times 1.74$$

$$T_{500} = 0.261 \text{ Nm}$$

$$F_{563} = BIL$$

$$2.19 = B \times 1.99 \times 4.98$$

$$B_{563} = 0.0002 \text{ T}$$

$$\Phi_{563} = \pi RBL$$

$$\Phi_{563} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0002 \times 4.98$$

$$\Phi_{563} = 0.007 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{563} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{561} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.007 \times 1.99$$

$$T_{561} = 0.275 \text{ Nm}$$

- **Perhitungan Torsi teori tidak berbeban diameter 0.55 mm**

$$F_{100} = BIL$$

$$1.82 = B \times 0.18 \times 4.98$$

$$B_{100} = 0.003 \text{ T}$$

$$\Phi_{100} = \pi RBL$$

$$\Phi_{100} = 3.14 \times 2.49 \times 0.003 \times 4.98$$

$$\Phi_{100} = 0.102 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{100} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{100} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.102 \times 0.18$$

$$T_{100} = 0.178 \text{ Nm}$$

$$F_{150} = BIL$$

$$2.11 = B \times 0.16 \times 4.98$$

$$B_{150} = 0.002 \text{ T}$$

$$\Phi_{150} = \pi RBL$$

$$\Phi_{150} = 3.14 \times 2.49 \times 0.002 \times 4.98$$

$$\Phi_{150} = 0.0687 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{150} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{150} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.068 \times 0.16$$

$$T_{150} = 0.192 \text{ Nm}$$

$$F_{200} = BIL$$

$$2.35 = B \times 0.28 \times 4.98$$

$$B_{200} = 0.001 \text{ T}$$

$$\Phi_{200} = \pi RBL$$

$$\Phi_{200} = 3.14 \times 2.49 \times 0.001 \times 4.98$$

$$\Phi_{200} = 0.0441 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{200} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{200} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.04 \times 0.28$$

$$T_{200} = 0.216 \text{ Nm}$$

$$F_{250} = BIL$$

$$2.51 = B \times 0.63 \times 4.98$$

$$B_{250} = 0.0006 \text{ T}$$

$$\Phi_{250} = \pi RBL$$

$$\Phi_{250} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0006 \times 4.98$$

$$\Phi_{250} = 0.0211 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{250} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{250} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.021 \times 0.63$$

$$T_{250} = 0.232 \text{ Nm}$$

$$F_{300} = BIL$$

$$2.75 = B \times 0.79 \times 4.98$$

$$B_{300} = 0.0005 \text{ T}$$

$$\Phi_{300} = \pi RBL$$

$$\Phi_{300} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0005 \times 4.98$$

$$\Phi_{300} = 0.0170 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{300} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{300} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.170 \times 0.79$$

$$T_{300} = 0.235 \text{ Nm}$$

$$F_{350} = BIL$$

$$2.95 = B \times 0.91 \times 4.98$$

$$B_{350} = 0.0004 \text{ T}$$

$$\Phi_{350} = \pi RBL$$

$$\Phi_{350} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0004 \times 4.98$$

$$\Phi_{350} = 0.0151 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{350} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{350} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0151 \times 0.91$$

$$T_{350} = 0.241 \text{ Nm}$$

$$F_{400} = BIL$$

$$3.3 = B \times 1.24 \times 4.98$$

$$B_{400} = 0.0003 \text{ T}$$

$$\Phi_{400} = \pi RBL$$

$$\Phi_{400} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0003 \times 4.98$$

$$\Phi_{400} = 0.0118 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{400} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{400} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.011 \times 1.24$$

$$T_{400} = 0.256 \text{ Nm}$$

$$F_{450} = BIL$$

$$4.2 = B \times 1.38 \times 4.98$$

$$B_{450} = 0.0003 \text{ T}$$

$$\Phi_{450} = \pi RBL$$

$$\Phi_{450} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0003 \times 4.98$$

$$\Phi_{450} = 0.0110 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{450} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{450} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.011 \times 1.38$$

$$T_{450} = 0.268 \text{ Nm}$$

$$F_{500} = BIL$$

$$4.36 = B \times 1.65 \times 4.98$$

$$B_{500} = 0.0002 \text{ T}$$

$$\Phi_{500} = \pi RBL$$

$$\Phi_{500} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0002 \times 4.98$$

$$\Phi_{500} = 0.009 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{500} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{500} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.009 \times 1.65$$

$$T_{500} = 0.280 \text{ Nm}$$

$$F_{563} = BIL$$

$$4.5 = B \times 1.98 \times 4.98$$

$$B_{563} = 0.0002 \text{ T}$$

$$\Phi_{563} = \pi RBL$$

$$\Phi_{563} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0002 \times 4.98$$

$$\Phi_{563} = 0.002 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{563} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{563} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.002 \times 1.98$$

$$T_{563} = 0.086 \text{ Nm}$$

- **Perhitungan Torsi teori berbeban diameter 0.45 mm**

$$F_{100} = BIL$$

$$2.48 = B \times 0.18 \times 4.98$$

$$B_{100} = 0.003 \text{ T}$$

$$\Phi_{100} = \pi RBL$$

$$\Phi_{100} = 3.14 \times 2.49 \times 0.003 \times 4.98$$

$$\Phi_{100} = 0.099 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{100} = \left(\frac{z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{100} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.099 \times 0.18$$

$$T_{100} = 0.312 \text{ Nm}$$

$$F_{150} = BIL$$

$$2.72 = B \times 0.39 \times 4.98$$

$$B_{150} = 0.0015 \text{ T}$$

$$\Phi_{150} = \pi RBL$$

$$\Phi_{150} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0015 \times 4.98$$

$$\Phi_{150} = 0.050 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{150} = \left(\frac{z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{150} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.050 \times 0.39$$

$$T_{150} = 0.342 \text{ Nm}$$

$$F_{200} = BIL$$

$$3.43 = B \times 0.78 \times 4.98$$

$$B_{200} = 0.0009 \text{ T}$$

$$\Phi_{200} = \pi RBL$$

$$\Phi_{200} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0009 \times 4.98$$

$$\Phi_{200} = 0.031 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{200} = \left(\frac{z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{200} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.031 \times 0.78$$

$$T_{200} = 0.431 \text{ Nm}$$

$$F_{250} = BIL$$

$$3.96 = B \times 1.24 \times 4.98$$

$$B_{250} = 0.0006 \text{ T}$$

$$\Phi_{250} = \pi RBL$$

$$\Phi_{250} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0006 \times 4.98$$

$$\Phi_{250} = 0.022 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{250} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{250} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.229 \times 1.24$$

$$T_{250} = 0.498 Nm$$

$$F_{300} = BIL$$

$$4.6 = B \times 1.62 \times 4.98$$

$$B_{300} = 0.0006 T$$

$$\Phi_{300} = \pi RBL$$

$$\Phi_{300} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0006 \times 4.98$$

$$\Phi_{300} = 0.0204 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{300} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{300} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0204 \times 1.62$$

$$T_{300} = 0.579 Nm$$

$$F_{350} = BIL$$

$$5.28 = B \times 2.13 \times 4.98$$

$$B_{350} = 0.0005 T$$

$$\Phi_{350} = \pi RBL$$

$$\Phi_{350} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0005 \times 4.98$$

$$\Phi_{350} = 0.0178 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{350} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{350} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0178 \times 2.13$$

$$T_{350} = 0.664 Nm$$

$$F_{400} = BIL$$

$$5.91 = B \times 2.62 \times 4.98$$

$$B_{400} = 0.0004 T$$

$$\Phi_{400} = \pi RBL$$

$$\Phi_{400} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0004 \times 4.98$$

$$\Phi_{400} = 0.0162 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{400} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{400} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0162 \times 2.62$$

$$T_{400} = 0.744 \text{ Nm}$$

$$F_{450} = BIL$$

$$6.57 = B \times 3.25 \times 4.98$$

$$B_{450} = 0.0004 \text{ T}$$

$$\Phi_{450} = \pi RBL$$

$$\Phi_{450} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0004 \times 4.98$$

$$\Phi_{450} = 0.0145 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{450} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{450} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0145 \times 3.25$$

$$T_{450} = 0.827 \text{ Nm}$$

$$F_{500} = BIL$$

$$7.32 = B \times 3.99 \times 4.98$$

$$B_{500} = 0.0004 \text{ T}$$

$$\Phi_{500} = \pi RBL$$

$$\Phi_{500} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0004 \times 4.98$$

$$\Phi_{500} = 0.0131 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{500} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{500} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0131 \times 3.99$$

$$T_{500} = 0.921 \text{ Nm}$$

$$F_{563} = BIL$$

$$7.33 = B \times 4.45 \times 4.98$$

$$B_{528} = 0.0003 \text{ T}$$

$$\Phi_{528} = \pi RBL$$

$$\Phi_{528} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0003 \times 4.98$$

$$\Phi_{528} = 0.0118 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{528} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{528} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0118 \times 4.45$$

$$T_{528} = 0.922 \text{ Nm}$$

• **Perhitungan Torsi teori berbeban diameter 0.50 mm**

$$F_{100} = BIL$$

$$1.82 = B \times 0.18 \times 4.98$$

$$B_{100} = 0.002 \text{ T}$$

$$\Phi_{100} = \pi RBL$$

$$\Phi_{100} = 3.14 \times 2.49 \times 0.002 \times 4.98$$

$$\Phi_{100} = 0.0791 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{100} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{100} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.791 \times 0.18$$

$$T_{100} = 0.249 \text{ Nm}$$

$$F_{150} = BIL$$

$$2.11 = B \times 0.25 \times 4.98$$

$$B_{150} = 0.001 \text{ T}$$

$$\Phi_{150} = \pi RBL$$

$$\Phi_{150} = 3.14 \times 2.49 \times 0.001 \times 4.98$$

$$\Phi_{150} = 0.0606 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{150} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{150} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.06 \times 0.25$$

$$T_{150} = 0.265 \text{ Nm}$$

$$F_{200} = BIL$$

$$2.35 = B \times 0.43 \times 4.98$$

$$B_{200} = 0.001 \text{ T}$$

$$\Phi_{200} = \pi RBL$$

$$\Phi_{200} = 3.14 \times 2.49 \times 0.001 \times 4.98$$

$$\Phi_{200} = 0.0392 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{200} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{200} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.039 \times 0.43$$

$$T_{200} = 0.295 \text{ Nm}$$

$$F_{250} = BIL$$

$$2.51 = B \times 0.63 \times 4.98$$

$$B_{250} = 0.0008 \text{ T}$$

$$\Phi_{250} = \pi RBL$$

$$\Phi_{250} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0008 \times 4.98$$

$$\Phi_{250} = 0.0286 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{250} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{250} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.02 \times 0.63$$

$$T_{250} = 0.316 \text{ Nm}$$

$$F_{300} = BIL$$

$$2.75 = B \times 0.8 \times 4.98$$

$$B_{300} = 0.0007 \text{ T}$$

$$\Phi_{300} = \pi RBL$$

$$\Phi_{300} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0007 \times 4.98$$

$$\Phi_{300} = 0.0247 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{300} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{300} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.02 \times 0.8$$

$$T_{300} = 0.346 \text{ Nm}$$

$$F_{350} = BIL$$

$$2.95 = B \times 0.99 \times 4.98$$

$$B_{350} = 0.0006 \text{ T}$$

$$\Phi_{350} = \pi RBL$$

$$\Phi_{350} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0006 \times 4.98$$

$$\Phi_{350} = 0.0214 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{350} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{350} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.02 \times 0.99$$

$$T_{350} = 0.371 \text{ Nm}$$

$$F_{400} = BIL$$

$$3.3 = B \times 1.36 \times 4.98$$

$$B_{400} = 0.0005 \text{ T}$$

$$\Phi_{400} = \pi RBL$$

$$\Phi_{400} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0005 \times 4.98$$

$$\Phi_{400} = 0.0174 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{400} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{400} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.017 \times 1.36$$

$$T_{400} = 0.415 \text{ Nm}$$

$$F_{450} = BIL$$

$$4.2 = B \times 1.6 \times 4.98$$

$$B_{450} = 0.0005 \text{ T}$$

$$\Phi_{450} = \pi RBL$$

$$\Phi_{450} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0005 \times 4.98$$

$$\Phi_{450} = 0.0188 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{450} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{450} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.018 \times 1.6$$

$$T_{450} = 0.528 \text{ Nm}$$

$$F_{500} = BIL$$

$$4.36 = B \times 1.92 \times 4.98$$

$$B_{500} = 0.0004 \text{ T}$$

$$\Phi_{500} = \pi RBL$$

$$\Phi_{500} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0004 \times 4.98$$

$$\Phi_{500} = 0.0163 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{500} = \left(\frac{z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{500} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.016 \times 1.92$$

$$T_{500} = 0.548 \text{ Nm}$$

$$F_{533} = BIL$$

$$4.5 = B \times 2.19 \times 4.98$$

$$B_{533} = 0.0004 \text{ T}$$

$$\Phi_{533} = \pi RBL$$

$$\Phi_{533} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0004 \times 4.98$$

$$\Phi_{533} = 0.014 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{533} = \left(\frac{z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{533} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.014 \times 2.19$$

$$T_{533} = 0.566 \text{ Nm}$$

- **Perhitungan Torsi teori tidak berbeban diameter 0.55 mm**

$$F_{100} = BIL$$

$$1.49 = B \times 0.17 \times 4.98$$

$$B_{100} = 0.003 \text{ T}$$

$$\Phi_{100} = \pi RBL$$

$$\Phi_{100} = 3.14 \times 2.49 \times 0.003 \times 4.98$$

$$\Phi_{100} = 0.107 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{100} = \left(\frac{z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{100} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.107 \times 0.10$$

$$T_{100} = 0.187 \text{ Nm}$$

$$F_{150} = BIL$$

$$1.63 = B \times 0.17 \times 4.98$$

$$B_{150} = 0.002 \text{ T}$$

$$\Phi_{150} = \pi RBL$$

$$\Phi_{150} = 3.14 \times 2.49 \times 0.002 \times 4.98$$

$$\Phi_{150} = 0.0689 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{150} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{150} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.068 \times 0.17$$

$$T_{150} = 0.205 \text{ Nm}$$

$$F_{200} = BIL$$

$$2.35 = B \times 0.73 \times 4.98$$

$$B_{200} = 0.002 \text{ T}$$

$$\Phi_{200} = \pi RBL$$

$$\Phi_{200} = 3.14 \times 2.49 \times 0.002 \times 4.98$$

$$\Phi_{200} = 0.0240 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{200} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{200} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0240 \times 0.73$$

$$T_{200} = 0.307 \text{ Nm}$$

$$F_{250} = BIL$$

$$3.18 = B \times 1.15 \times 4.98$$

$$B_{250} = 0.0006 \text{ T}$$

$$\Phi_{250} = \pi RBL$$

$$\Phi_{250} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0006 \times 4.98$$

$$\Phi_{250} = 0.0198 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{250} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{250} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0198 \times 1.15$$

$$T_{250} = 0.400 \text{ Nm}$$

$$F_{300} = BIL$$

$$3.76 = B \times 1.54 \times 4.98$$

$$B_{300} = 0.0005 \text{ T}$$

$$\Phi_{300} = \pi RBL$$

$$\Phi_{300} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0005 \times 4.98$$

$$\Phi_{300} = 0.0175 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{300} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{300} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0175 \times 0.79$$

$$T_{300} = 0.473 \text{ Nm}$$

$$F_{350} = BIL$$

$$4.34 = B \times 2.1 \times 4.98$$

$$B_{350} = 0.0004 \text{ T}$$

$$\Phi_{350} = \pi RBL$$

$$\Phi_{350} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0004 \times 4.98$$

$$\Phi_{350} = 0.0148 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{350} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{350} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.0148 \times 2.1$$

$$T_{350} = 0.546 \text{ Nm}$$

$$F_{400} = BIL$$

$$4.94 = B \times 2.61 \times 4.98$$

$$B_{400} = 0.0004 \text{ T}$$

$$\Phi_{400} = \pi RBL$$

$$\Phi_{400} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0004 \times 4.98$$

$$\Phi_{400} = 0.0136 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{400} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{400} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.013 \times 2.61$$

$$T_{400} = 0.621 \text{ Nm}$$

$$F_{450} = BIL$$

$$5.47 = B \times 3.2 \times 4.98$$

$$B_{450} = 0.0003 \text{ T}$$

$$\Phi_{450} = \pi RBL$$

$$\Phi_{450} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0003 \times 4.98$$

$$\Phi_{450} = 0.0122 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{450} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{450} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.012 \times 3.2$$

$$T_{450} = 0.688 \text{ Nm}$$

$$F_{500} = BIL$$

$$5.98 = B \times 4.01 \times 4.98$$

$$B_{500} = 0.0003 \text{ T}$$

$$\Phi_{500} = \pi RBL$$

$$\Phi_{500} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0003 \times 4.98$$

$$\Phi_{500} = 0.010 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{500} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{500} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.010 \times 4.01$$

$$T_{500} = 0.752 \text{ Nm}$$

$$F_{520} = BIL$$

$$3.67 = B \times 4.41 \times 4.98$$

$$B_{520} = 0.0001 \text{ T}$$

$$\Phi_{520} = \pi RBL$$

$$\Phi_{520} = 3.14 \times 2.49 \times 0.0001 \times 4.98$$

$$\Phi_{520} = 0.005 \text{ wb/m}^2$$

$$T_{520} = \left(\frac{Z}{2\pi}\right)\Phi I$$

$$T_{520} = \left(\frac{11}{2 \times 3.14}\right) 0.005 \times 4.41$$

$$T_{520} = 0.462 \text{ Nm}$$

6. Perhitungan Error Persen

- Perhitungan Error Persen Pada Diameter Lilian 0.45mm tidak berbeban

$$\text{Error Persen} = \left(\frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}}\right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = \left(\frac{0.249 - 0.254}{0.249} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = 2.24 \%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = \left(\frac{0.288 - 0.295}{0.288} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = \left(\frac{0.321 - 0.329}{0.321} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = 2.27 \%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = \left(\frac{0.343 - 0.351}{0.343} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = 2.27 \%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = \left(\frac{0.376 - 0.385}{0.376} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = \left(\frac{0.403 - 0.413}{0.403} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = \left(\frac{0.451 - 0.462}{0.451} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = 2.6 \%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = \left(\frac{0.575 - 0.588}{0.575} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = \left(\frac{0.596 - 0.610}{0.596} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{563} = \left(\frac{0.616 - 0.630}{0.616} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{563} = 2.25 \%$$

- **Perhitungan Error Persen Pada Diameter Lilitan 0.50mm tidak berbeban**

$$\text{Error Persen} = \left(\frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = \left(\frac{0.183 - 0.187}{0.183} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = 2.24 \%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = \left(\frac{0.202 - 0.207}{0.202} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = 2.27 \%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = \left(\frac{0.221 - 0.226}{0.221} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = \left(\frac{0.242 - 0.247}{0.242} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = 2.27 \%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = \left(\frac{0.224 - 0.229}{0.224} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = 2.28 \%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = \left(\frac{0.228 - 0.233}{0.228} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = 2.28 \%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = \left(\frac{0.257 - 0.263}{0.257} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = \left(\frac{0.269 - 0.275}{0.269} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = \left(\frac{0.284 - 0.291}{0.284} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{562} = \left(\frac{0.299 - 0.306}{0.299} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{562} = 2.27 \%$$

- **Perhitungan Error Persen Pada Diameter Lilitan 0.55mm tidak berbeban**

$$\text{Error Persen} = \left(\frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = \left(\frac{0.194 - 0.198}{0.194} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = \left(\frac{0.209 - 0.214}{0.209} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = 2.24 \%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = \left(\frac{0.235 - 0.240}{0.235} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = \left(\frac{0.253 - 0.359}{0.253} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = \left(\frac{0.256 - 0.261}{0.256} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = \left(\frac{0.262 - 0.268}{0.262} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = \left(\frac{0.279 - 0.285}{0.279} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = \left(\frac{0.291 - 0.298}{0.291} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = \left(\frac{0.305 - 0.312}{0.305} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{551} = \left(\frac{0.094 - 0.096}{0.094} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{551} = 2.23 \%$$

- **Perhitungan Error Persen Pada Diameter Lilitan 0.45mm berbeban**

$$\text{Error Persen} = \left(\frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = \left(\frac{0.492 - 0.504}{0.492} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = \left(\frac{0.601 - 0.616}{0.601} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = \left(\frac{0.810 - 0.828}{0.810} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = \left(\frac{0.955 - 0.977}{0.955} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = \left(\frac{1.139 - 1.164}{1.139} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = \left(\frac{1.307 - 1.337}{1.307} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = \left(\frac{1.492 - 1.526}{1.492} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = 2.21 \%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = \left(\frac{1.644 - 1.681}{1.644} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = \left(\frac{1.783 - 1.824}{1.783} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{528} = \left(\frac{1.874 - 1.916}{1.874} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{528} = 2.24 \%$$

- **Perhitungan Error Persen Pada Diameter Lilitan 0.50mm berbeban**

$$\text{Error Persen} = \left(\frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = \left(\frac{0.339 - 0.347}{0.339} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = 2.27 \%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = \left(\frac{0.372 - 0.380}{0.372} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = \left(\frac{0.469 - 0.480}{0.469} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = \left(\frac{0.542 - 0.554}{0.542} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = \left(\frac{0.629 - 0.664}{0.629} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = \left(\frac{0.722 - 0.739}{0.722} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = \left(\frac{0.809 - 0.827}{0.809} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = \left(\frac{0.899 - 0.919}{0.899} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = 2.28 \%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = \left(\frac{1.002 - 1.024}{1.002} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{533} = \left(\frac{1.003 - 1.024}{1.003} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{533} = 2.26 \%$$

- **Perhitungan Error Persen Pada Diameter Lilitan 0.55mm berbeban**

$$\text{Error Persen} = \left(\frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = \left(\frac{0.204 - 0.208}{0.204} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{100} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = \left(\frac{0.223 - 0.228}{0.223} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{150} = 2.24 \%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = \left(\frac{0.334 - 0.341}{0.334} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{200} = 2.27 \%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = \left(\frac{0.435 - 0.445}{0.435} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{250} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = \left(\frac{0.514 - 0.526}{0.514} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{300} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = \left(\frac{0.594 - 0.607}{0.594} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{350} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = \left(\frac{0.676 - 0.691}{0.676} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{400} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = \left(\frac{0.748 - 0.765}{0.748} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{450} = 2.25 \%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = \left(\frac{0.818 - 0.837}{0.818} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{500} = 2.26 \%$$

$$\text{Error Persen}_{520} = \left(\frac{0.094 - 0.096}{0.094} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error Persen}_{520} = 2.23 \%$$

Tabel Data Pengujian

Tabel 4.1 Pengujian Resistansi Motor BLDC

Diameter lililtan	Fasa A-B	Fasa B-C	Fasa C-A
Diameter 0.45mm	0.342 Ω	0.352 Ω	0.358 Ω
Diameter 0.50mm	0.326 Ω	0.346 Ω	0.338 Ω
Diameter 0.55mm	0.318 Ω	0.320 Ω	0.333 Ω

Tabel 4.2 Pengujian Induktansi Motor BLDC

Diameter lililtan	Fasa A-B	Fasa B-C	Fasa C-A
Diameter 0.45mm	0.445 mH	0.435 mH	0.486 mH
Diameter 0.50mm	0.380 mH	0.429 mH	0.432 mH
Diameter 0.55mm	0.429 mH	0.491 mH	0.525 mH

Tabel 4.3 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.45mm tidak berbeban

<i>Rpm</i>	<i>Current input (A)</i>	<i>Voltage input (V)</i>	<i>P input (watt)</i>	<i>Ft (Kg)</i>	<i>F (N)</i>	<i>Torque (Nm)</i>	<i>P output (watt)</i>	<i>Efficiency (%)</i>
100	0.15	51.79	7.7	0.182	1.82	0.254	2.666	34.635
150	0.25	51.84	12.9	0.211	2.11	0.295	4.637	35.951
200	0.43	51.48	22.1	0.235	2.35	0.329	6.887	31.163
250	0.63	51.32	32.3	0.251	2.51	0.351	9.194	28.467
300	0.80	51.20	40.9	0.275	2.75	0.385	12.089	29.557
350	0.99	51.13	50.6	0.295	2.95	0.413	15.129	29.900
400	1.36	49.42	67.2	0.330	3.30	0.462	19.342	28.783
450	1.60	49.21	78.7	0.420	4.20	0.588	27.694	35.190
500	1.92	49	94.1	0.436	4.36	0.610	31.944	33.947
563	2.19	48.98	107.2	0.450	4.50	0.630	34.288	31.985

Tabel 4.4 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.50mm tidak berbeban

<i>Rpm</i>	<i>Current input (A)</i>	<i>Voltage input (V)</i>	<i>P input (watt)</i>	<i>Ft (Kg)</i>	<i>F (N)</i>	<i>Torque (Nm)</i>	<i>P output (watt)</i>	<i>Efficiency (%)</i>
100	0.15	52.86	7.9	0.134	1.34	0.187	1.963	24.855
150	0.20	52.77	10.5	0.148	1.48	0.207	3.253	30.981
200	0.36	52.70	18.9	0.162	1.62	0.226	4.747	25.120
250	0.64	52.59	33.6	0.177	1.77	0.247	6.484	19.297
300	0.76	52.44	39.8	0.164	1.64	0.229	7.209	18.114
350	1.05	52.27	54.8	0.167	1.67	0.233	8.564	15.629
400	1.27	52.13	67.2	0.188	1.88	0.263	11.019	16.397
450	1.45	51.99	75.3	0.197	1.97	0.275	12.990	17.251
500	1.74	51.84	90.2	0.208	2.08	0.291	15.239	16.895
562	1.99	51.71	102.9	0.219	2.19	0.306	17.970	17.464

Tabel 4.5 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.55mm tidak berbeban

<i>Rpm</i>	<i>Current input (A)</i>	<i>Voltage input (V)</i>	<i>P input (W)</i>	<i>Ft (Kg)</i>	<i>F (N)</i>	<i>Torque (Nm)</i>	<i>P output (watt)</i>	<i>Efficiency (%)</i>
100	0.10	51.99	5.2	0.142	1.42	0.198	2.080	40.014
150	0.16	51.87	8.3	0.153	1.53	0.214	3.362	40.517
200	0.28	51.66	14.5	0.172	1.72	0.240	5.040	34.763
250	0.63	51.43	32.6	0.185	1.85	0.259	6.777	20.788
300	0.79	51.16	40.8	0.187	1.87	0.261	8.220	20.148
350	0.91	51.12	47	0.192	1.92	0.268	9.847	20.951
400	1.24	50.72	63.8	0.204	2.04	0.285	11.957	18.741
450	1.38	50.39	70.9	0.213	2.13	0.298	14.045	19.809
500	1.65	50	84.5	0.223	2.23	0.312	16.338	21.335
551	1.98	50.34	101	0.069	0.69	0.096	5.662	5.605

Tabel 4.6 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.45mm berbeban

<i>Rpm</i>	<i>Current input (A)</i>	<i>Voltage input (V)</i>	<i>P input (W)</i>	<i>Ft (Kg)</i>	<i>F (N)</i>	<i>Torque (Nm)</i>	<i>P output (watt)</i>	<i>Efficiency (%)</i>
100	0.19	50.02	9.5	0.36	3.6	0.504	5.275	55.528
150	0.46	49.76	22.8	0.43	4.39	0.614	9.649	42.321
200	0.82	49.51	40.5	0.59	5.92	0.828	17.349	42.838
250	1.27	49.35	62.6	0.69	6.98	0.977	25.570	40.846
300	1.75	49.04	85.8	0.83	8.32	1.164	36.574	42.627
350	2.27	48.78	110.7	0.95	9.55	1.337	48.978	44.244

400	2.82	48.41	136.5	1.09	10.9	1.526	63.888	46.804
450	3.63	48.12	174.6	1.20	12.01	1.681	79.193	45.357
500	4.31	47.73	205.8	1.30	13.03	1.824	95.466	46.387
528	4.66	47.34	221.5	1.36	13.69	1.916	104.314	47.094

Tabel 4.7 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.50mm berbeban

Rpm	Current input (A)	Voltage input (V)	P input (W)	Ft (Kg)	F (N)	Torque (Nm)	P output (watt)	Efficiency (%)
100	0.18	52.69	9.4	0.248	2.48	0.347	3.634	38.659
150	0.39	52.49	20.4	0.272	2.72	0.380	5.978	29.306
200	0.78	52.25	40.7	0.343	3.42	0.480	10.052	24.698
250	1.24	52.07	64.5	0.396	3.96	0.544	14.506	22.491
300	1.62	51.86	84	0.46	4.60	0.644	20.221	24.073
350	2.13	51.62	109.9	0.528	5.28	0.739	27.079	24.64
400	2.62	51.36	134.5	0.591	5.91	0.827	34.640	25.755
450	3.25	51.06	164.9	0.657	6.57	0.919	43.322	26.272
500	3.99	50.79	202.6	0.732	7.32	1.028	53.631	26.471
533	4.45	50.54	224.9	0.733	7.33	1.026	55.852	24.834

Tabel 4.8 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.55mm berbeban

Rpm	Current input (A)	Voltage input (V)	P input (W)	Ft (Kg)	F (N)	Torque (Nm)	P output (watt)	Efficiency (%)
100	0.10	51.99	5.1	0.149	1.49	0.208	2.182	42.810
150	0.17	51.87	8.8	0.163	1.63	0.228	3.582	40.713
200	0.73	51.66	39.2	0.244	2.44	0.341	7.150	18.241
250	1.15	51.43	59.1	0.318	3.18	0.445	11.649	19.711
300	1.54	51.16	76.7	0.376	3.76	0.526	16.528	21.550
350	2.1	51.12	107.3	0.434	5.28	0.607	22.258	20.744
400	2.61	50.72	132.3	0.494	4.94	0.691	28.954	21.885
450	3.2	50.39	163.3	0.547	5.47	0.765	36.069	22.087
500	4.01	50	200.5	0.598	5.98	0.837	43.813	21.852
520	4.41	50.34	221.9	0.367	3.67	0.513	27.964	12.602

LAMPIRAN 2
TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS JEMBER



Gambar 1. Pengujian resistansi motor BLDC



Gambar 2. Pengujian Induktansi Motor BLDC



Gambar 3. Pembongkaran skema Motor BLDC



Gambar 4. Proses Peleburan Varnish pada Motor BLDC



Gambar 5. Proses Penambahan Isolator dengan menggunakan kertas Pripsan



Gambar 6. Hasil Pemasangan Isolator pada Motor BLDC



Gambar 7. Proses Penggulungan lilitan 0.45mm



Gambar 8. Hasil Penggulungan diameter lilitan 0.45mm