



**KARAKTERISTIK UNJUK KERJA MOTOR BLDC 500 W TERHADAP
JUMLAH LILITAN DAN DIAMETER LILITAN STATOR**

SKRIPSI

Oleh

**Iqbal Hardiansyah Putra
NIM. 141910201037**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**KARAKTERISTIK UNJUK KERJA MOTOR BLDC 500 W TERHADAP
JUMLAH LILITAN DAN DIAMETER LILITAN STATOR**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Iqbal Hardiansyah Putra
NIM. 141910201037

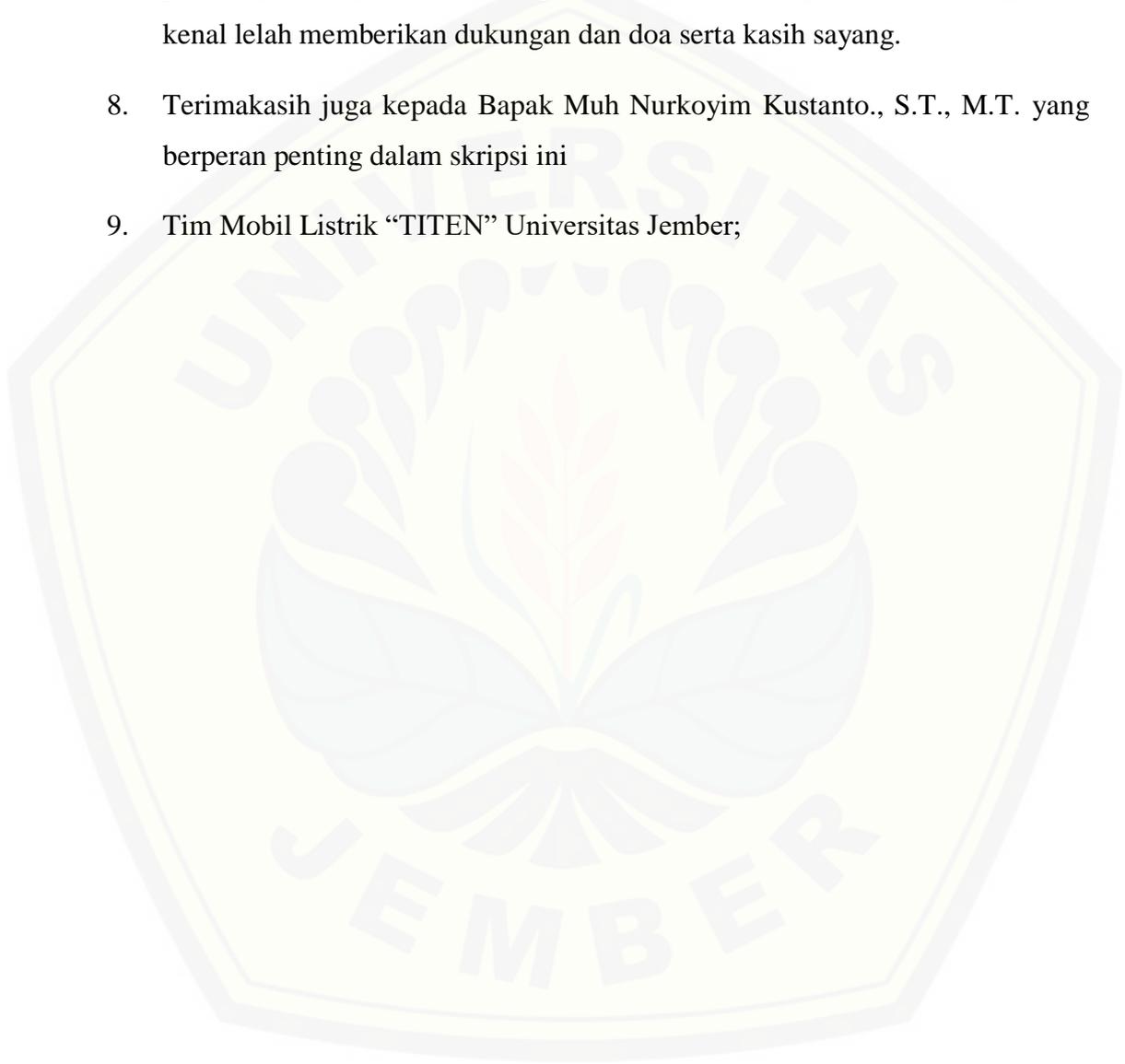
**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT, atas segala limpahan karunia dan rahmat-Nya yang teramat besar;
2. Nabi Muhammad SAW, yang menjadi panutan dalam menjalani hidup sebagai bekal kehidupan akhirat;
3. Keluargaku, Ayahanda Fathur Rosyid dan Ibunda Nurul Aini, serta kakak-kakakku tercinta yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tidak kenal lelah, dan doa yang tiada hentinya tucurahkan dengan sepenuh hati;
4. Semua dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Samsul Bachri Mm, S.T.,MMT selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak RB. Moch. Gozali, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji 1 dan bapak Suprihadi Prasetyono, S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberikan saran dan arahan menuju kearah yang benar dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Guru-guru kusejak taman kanak-kanak sampai dengan SMA yang tidak kenal lelah memberikan ilmunya, membimbingdan mendidik menuju arah yang lebih baik sehingga sampai kejenjang perguruan tinggi;
6. Saudari Luvita Eka Margayanti yang telah menemani dan memberikan dukungan sejak awal penelitian hingga akhir.

7. Kelompok penelitian yaitu Apik Hidayat, Joni Pranata, Muzaki Alhasan, yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, serta teman-temanku terutama untuk Fahma Tangguh Septindra ikhsani .A.M.D yang telah baik hati untuk membantu ngeprint skripsi saya yang memberikan kertas tak pernah perhitungan dan keluarga Teknik Elektro angkatan 2014 yang tidak kenal lelah memberikan dukungan dan doa serta kasih sayang.
8. Terimakasih juga kepada Bapak Muh Nurkoyim Kustanto., S.T., M.T. yang berperan penting dalam skripsi ini
9. Tim Mobil Listrik “TITEN” Universitas Jember;



MOTTO

Barang siapa beriman kepada Allah dan hari akhir, maka hendaklah ia berkata baik atau diam.

(Nabi Muhammad SAW)

Amalan yang lebih dicintai Allah adalah amalan yang terus-menerus dilakukan walaupun sedikit.

(Nabi Muhammad SAW)

Menyesali nasib tidak akan mengubah keadaan.

Terus berkarya dan bekerjalah yang membuat kita berharga.

(K.H. Abdurrahman Wahid)

Kemuliaan seseorang adalah agamanya, hargadirinya (kehormatannya) adalah akalnya, sedangkan ketinggian kedudukannya adalah akhlaknya.

(HR. Tirmidzi)

Menyia-nyiakan waktu lebih buruk dari kematian. Karena kematian memisahkanmu dari dunia sementara menyia-nyiakan waktu memisahkanmu dari Allah.

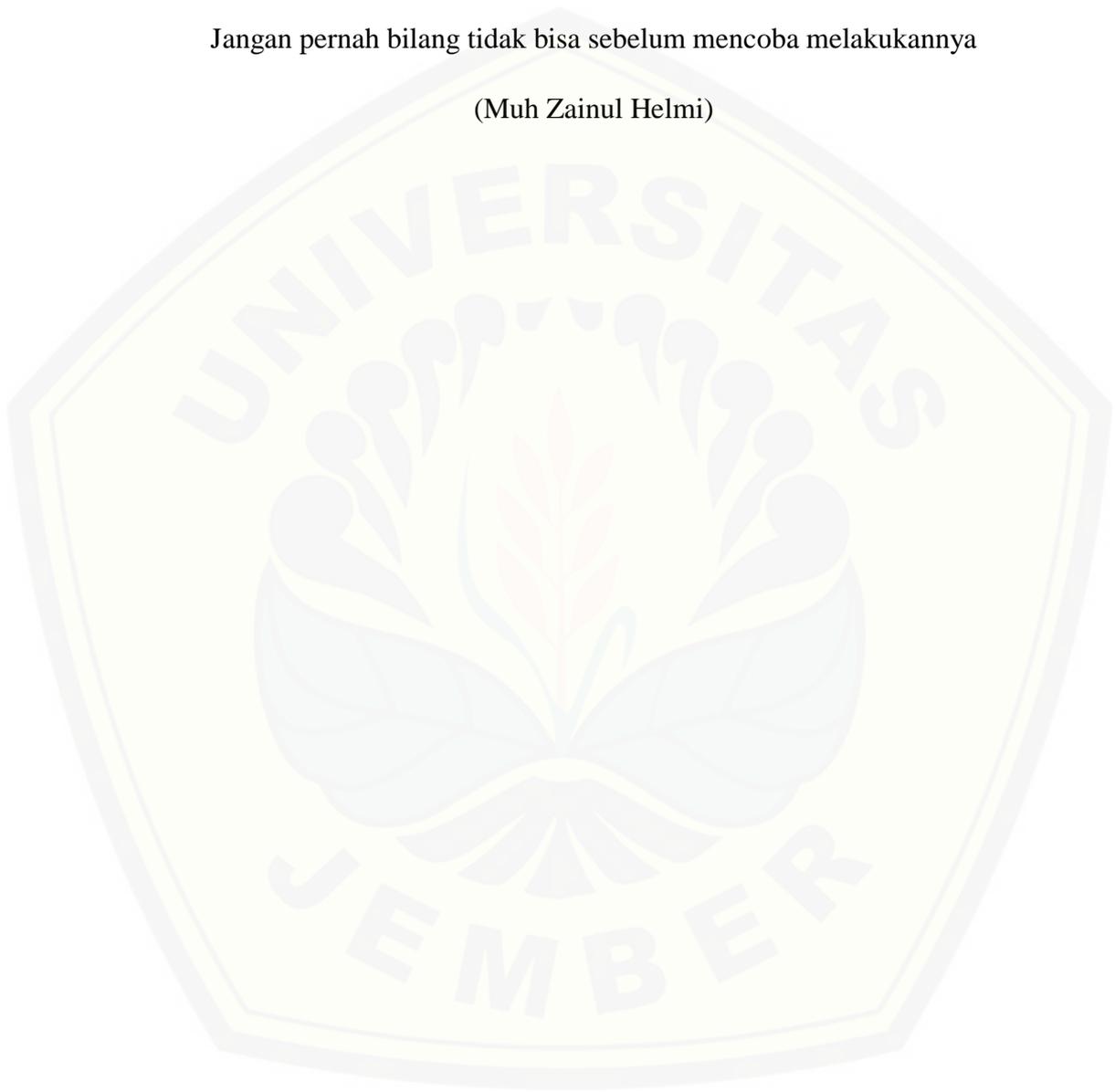
(Imam IbnuQoyyim)

Kegagalan terjadi ketika kita sudah menyerah.

(B.J Habibi)

Jangan pernah bilang tidak bisa sebelum mencoba melakukannya

(Muh Zainul Helmi)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Iqbal Hardiansyah Putra

NIM : 141910201037

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “KARAKTERISTIK UNJUK KERJA MOTOR BLDC 500W TERHADAP JUMLAH LILITAN DAN DIAMETER LILITAN STATOR” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada 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 ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 15 Januari 2019

Yang menyatakan,

Iqbal Hardiansyah Putra

NIM 141910201037

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK UNJUK KERJA MOTOR BLDC 500 W TERHADAP
JUMLAH LILITAN DAN DIAMETER LILITAN STATOR**

Oleh

Iqbal Hardiansyah Putra

NIM 141910201037

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Samsul Bachri M., ST.,MMT

Dosen Pembimbing Anggota : RB. Moch. Gozali, ST., MT

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Karakteristik Unjuk Kerja Motor BLDC Terhadap Jumlah Lilitan dan Diameter Lilitan Stator" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

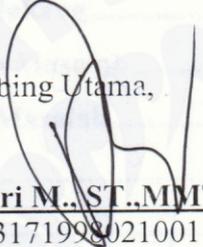
Hari : Selasa

Tanggal : 15 Januari 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

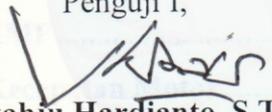
Pembimbing Utama,


Samsul Bachri M., ST., MMT
NIP 196403171998021001

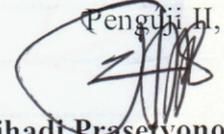
Pembimbing Anggota,


RB. Moch. Gozali, ST., MT
NIP 196906081999031002

Penguji I,


Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP197008261997021001

Penguji II,


Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP197004041996011001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 196612151995032001

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO	iv
PERNYATAAN.....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Motor	5
2.1.1 Jenis – Jenis Motor	5
2.2 Kuat Medan Magnet	8
2.3 EMF	9
2.4 Kecepatan Motor	10
2.5 Solenoida	10
2.6 Winding Motor BLDC	11
2.7 Cara Kerja Motor BLDC	14
2.8 Persamaan Fluks	16
2.9 Persamaan Torsi.....	16
2.10 Hubungan Star dan Delta Pada Motor Induksi Tiga Fasa.....	17
BAB 3. METODELOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.2 Tahapan Penelitian.....	21
3.3 Diagram Alir (Flowchart) Penelitian.....	22
3.4 Blok Diagram Penelitian.....	24

3.5 Alat dan Bahan	24
3.6 Spesifikasi Motor BLDC EMOTO.....	25
3.6.1 Motor BLDC Emoto	25
3.6.2 Driver Motor BLDC EMOTO	25
3.7 Rencana Pengujian.....	26
3.8 Rumus Dasar pengujian.....	28
<i>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</i>	30
4.1 Hasil Skema Lilitan Motor BLDC	30
4.2 Pengujian Karakteristik Motor BLDC	31
4.3 Pengujian Karakteristik Motor BLDC	33
<i>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</i>	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi Motor <i>Brushed</i>	6
Gambar 2.2 Konstruksi Motor Brushless dengan Sensor Hall Sumber	8
Gambar 2.3 Medan Magnet pada Solenoida	10
Gambar 2.4 Kemampuan Hantar Arus Kawat <i>Email</i> berdasarkan <i>American wire</i>	11
Gambar 2.5 Motor 3 Phase dengan skema lilitan	11
Gambar 2.6 Skema 3- phasee lilitan	12
Gambar 2.7 Skema 3- phasee lilitan	12
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	21
Gambar 3.2 Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) pada Motor Listrik BLDC Emoto	23
Gambar 3.3 Blok Diagram Penelitian	24
Gambar 3.4 Pengujian karakteristik Motor BLDC	26
Gambar 3.5 Pengujian Karakteristik Motor BLDC	27
Gambar 4.1 Skema motor BLDC 500W	30
gambar 4.2 Alat Uji Karakteristik Motor BLDC	31
gambar 4.3 Penggantian diameter lilitan 0.65mm dan 0.70mm	32
gambar 4.4 Alat Uji Karakteristik Motor BLDC	33
gambar 4.5 Karakteristik Motor BLDC tidak berbeban Rpm terhadap <i>current input</i>	38

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Perencanaan Jadwal Penelitian	20
Tabel 3.2 Data Percobaan Pengujian lilitan 0.55 mm	27
Tabel 3. 3 Data Percobaan Pengujian lilitan 0.65 mm	28
Tabel 3.4 Data Percobaan Pengujian lilitan 0.7 mm	28
Tabel 4.1 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.55mm.....	35
Tabell 4.2 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.65mm.....	36
Tabel 4.3 Hasil Pengujian pada Motor BLDC diameter 0.70mm.....	37
Tabel 4.7 Perbandingan Data Hasil Pengujian dan Data Hasil Perhitungan Diameter 0.55mm.....	43
Tabel 4.7 Perbandingan Data Hasil Pengujian dan Data Hasil Perhitungan Diameter 0.65mm.....	43
Tabel 4.7 Perbandingan Data Hasil Pengujian dan Data Hasil Perhitungan Diameter 0.70mm.....	44

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Sejak tahun 1980-an konsep baru motor listrik telah banyak berkembang. Isu mengenai penghematan penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) dan pemanasan global dapat disebut pendorong berkembangnya teknologi motor listrik. Penggunaan motor listrik salah satunya dapat digunakan sebagai media penggerak transportasi, seperti mobil listrik. Mobil listrik yang menggunakan motor listrik memiliki kelebihan konvensional, yakni tanpa adanya emisi pembuangan yang dapat mencemari lingkungan.

Kebutuhan akan motor yang memiliki efisiensi, kecepatan maupun torsi tinggi serta biaya perawatan yang relatif rendah semakin meningkat. Secara umum motor listrik yang digunakan saat ini, yakni motor listrik DC dan motor induksi. Motor listrik jenis ini belum dapat memenuhi kebutuhan yang diinginkan. Pada motor DC memiliki tingkat efisiensi yang tinggi karena penggunaan tegangan DC pada rotor untuk menggerakkan motor. Hanya saja motor DC memiliki biaya perawatan yang tinggi. Hal ini muncul akibat digunakannya *brush* (sikat) yang cepat rusak karena saat motor berputar akan timbul *arching* pada *brush* akibat komutasi. Sedangkan pada motor induksi memiliki kecepatan lebih tinggi dari motor DC karena motor induksi tidak menggunakan *brush* untuk komutasi, biaya perawatan yang lebih rendah. Namun motor induksi memiliki tingkat efisiensi lebih rendah dibanding motor DC dan cepat Panas (Abe Dharmawan, 2009)

Pada perkembangan teknologi, penggunaan motor listrik semakin berkembang. Motor listrik DC dikembangkan tanpa menggunakan sikat yang dikenal dengan sebutan motor listrik BLDC (*Brushless* DC). Dibandingkan dengan motor DC, motor BLDC memiliki tingkat efisiensi, performa yang lebih tinggi, serta biaya perawatan yang rendah. Penggunaan motor BLDC diterapkan pada alat transportasi seperti sepeda listrik, sepeda motor listrik, kursi roda listrik, mobil listrik, dll.

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 0.65 mm dan 0.70 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.

Untuk membangun suatu mobil listrik, terkadang motor listrik BLDC yang digunakan tidak sesuai dengan kebutuhan. Sehingga hasil yang diharapkan dari mobil listrik ini tidak sesuai dengan target. Salah satu cara untuk mencapai target tersebut ialah dengan memodifikasi motor listrik yang didapat dari hasil pabrikan untuk mendapat performa yang diinginkan.

Pada penelitian ini dilakukan perubahan diameter lilitan yang akan diharapkan menambah performa dari motor BLDC. Modifikasi yang dilakukan ialah menambah lebar diameter kawat email dengan jumlah lilitan yang lebih sedikit sebelum dilakukan perubahan. Sebelum melakukan modifikasi tersebut, dilakukan uji karakteristik performa dari motor BLDC. Setelah dilakukannya uji

karakteristik dilanjutkan dengan perubahan diameter yang nantinya akan diuji ulang sesuai dengan parameter sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa hal yang menjadi rumusan masalah diantaranya :

1. Bagaimana pengaruh penggantian diameter kawat email dan jumlah lilitan pada motor BLDC jenis Emoto terhadap kecepatan dan torsi?
2. Bagaimana Kecepatan dan Torsi Motor BLDC jenis Emoto menggunakan metode star setelah dilakukannya perubahan diameter kawat email dan jumlah lilitan?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian rumusan masalah tersebut, maka batasan masalah pada penelitian ini diantaranya :

Studi hanya menggunakan Motor BLDC jenis Emoto

1. Tidak membahas pengaruh inner motor, outer rotor, magnet, fluks
2. Pengujian tidak menggunakan pembebanan
3. Diameter lilitan 0,65 mm dan 0,7 mm
4. Harus dilakukan Perubahan luasan slot stator
5. Tidak membahas Baterai Motor, dan Kontrol Motor
6. Menggunakan tegangan sumber 48 Volt

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam melaksanakan penelitian ini diantaranya :

1. Untuk dapat membandingkan performa dari Motor BLDC jenis Emoto ketika dilakukan perubahan kawat email pada lilitan Motor
2. Menganalisa pengaruh penggunaan metode star pada Motor BLDC.

1.5 Manfaat

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

1. Mendukung pengembangan ilmu pengetahuan mengenai motor BLDC
2. Mengembangkan energi alternatif yang dapat mengurangi penggunaan bahan bakar minyak hasil dari fosil
3. Mengembangkan energi alternatif yang dapat mengurangi emisi pembungan penyebab polusi udara
4. Sebagai referensi selanjutnya pengaruh diameter kawat email dan jumlah kawat email terhadap performa Motor BLDC

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini diulas berbagai publikasi resmi yang berhubungan dengan konsep motor BLDC dan mencakup dengan penelitian ini. seluruh teori dan konsep pada daftar pustaka ini akan nantiya digunakan untuk menunjang analisis pembahasan terhadap hasil penelitian yang akan dilakukan. berikut ini adalah teori dan konsep yang berhubungan dengan masala studi analisis yang akan dibahas.

2.1 Motor

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, 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 elektro magnet. 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, dan teman teman)

2.1.1 Jenis – Jenis Motor

Terdapat bebrapa jenis motor yang ada, diantaranya yaitu :

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.

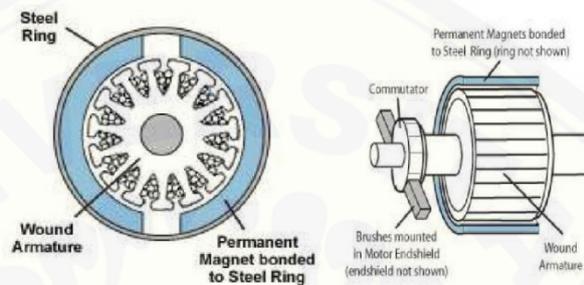
2. Motor DC

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 dua 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/techonology/articles/AC-brushless-brushedmotors.html>

b) *Brushlees* 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 dari pemberian 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*.

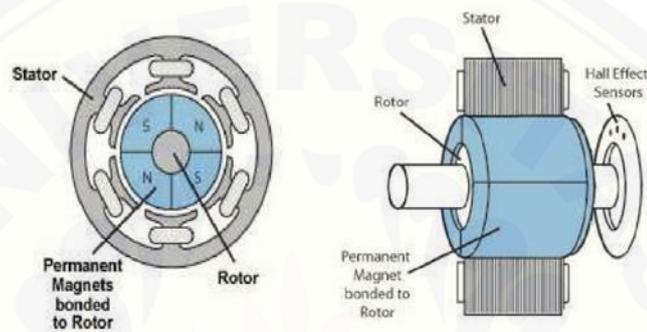
Pada umumnya *encoder* lebih banyak digunakan pada motor BLDC komersial karena *encoder* cenderung mampu menentukan *timing* komutasi lebih presisi dibandingkan dengan menggunakan sensor *hall*. Hal ini terjadi karena pada *encoder*, kode komutasi telah ditetapkan secara *fixed* berdasarkan banyak *pole* 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 penggeraknya.

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>.

2.2 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):

$$B = \frac{\mu Ni}{2l}$$

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 *hallelfect* sensor, sehingga untuk mengetahui pergerakan dari motor jenis ini bias dilakukan dengan cara mendeteksi dari BEMF dan *zero-crossing*.

2.3 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 :

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

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

Dimana :

B = Kerapatan medan magnet yang dihasilkan rotor (Tesla)

N = Banyaknya lilitan pada belitan stator per phasa

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.

2.4 Kecepatan Motor

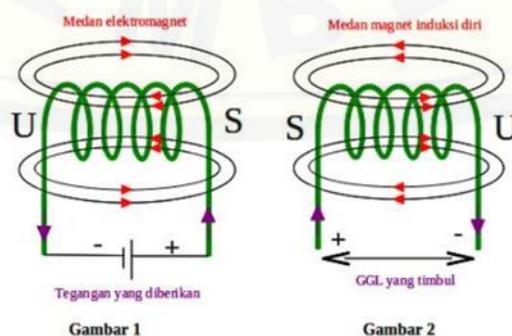
Rotor merupakan bagian penting juga pada motor yang berfungsi untuk menggerakkan atau membuat motor berputar. Perputaran tersebut terjadi akibat adanya gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh stator. Untuk mengetahui putaran pada motor, bisa menggunakan persamaan berikut ini.

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

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

2.5 Solenoida

Solenoida merupakan sebuah kumparan kawat yang terdiri dari beberapa lilitan (*loop*). Saat arus listrik mengalir solenoida, 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.

gauge (AWG)

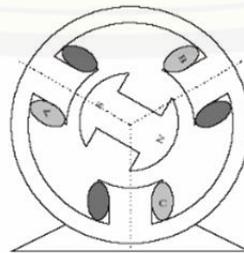
No	Diameter Kawat (mm)	Kemampuan Hantar Arus (khA) (Ampere)
1.	0,1	0,016 s/d 0,024
2.	0,2	0,064 s/d 0,094
3.	0,3	0,141 s/d 0,212
4.	0,4	0,251 s/d 0,377
5.	0,5	0,390 s/d 0,588
6.	0,6	0,566 s/d 0,849
7.	0,7	0,770 s/d 1,160
8.	0,8	1,010 s/d 1,510
9.	0,9	1,270 s/d 1,910
10.	1,0	1,570 s/d 2,360
11.	1,5	3,530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

Gambar 2.4 Kemampuan Hantar Arus Kawat *Email* berdasarkan *American wire*

Sumber : Mustofa, 2010

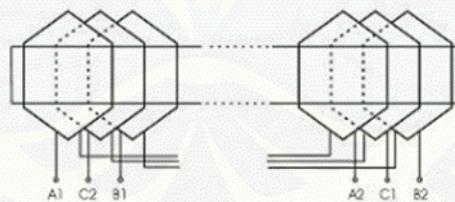
2.6 Winding Motor BLDC

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.

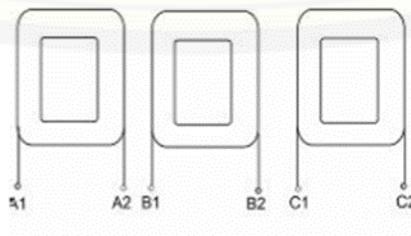


Gambar 2.5 Motor 3 Phase dengan skema lilitan

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.

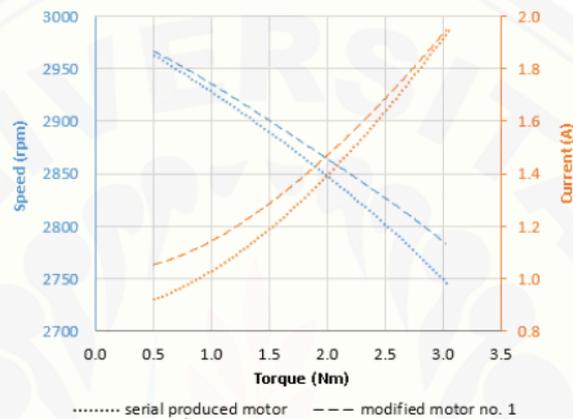


Gambar 2.6 Skema 3- phasee lilitan

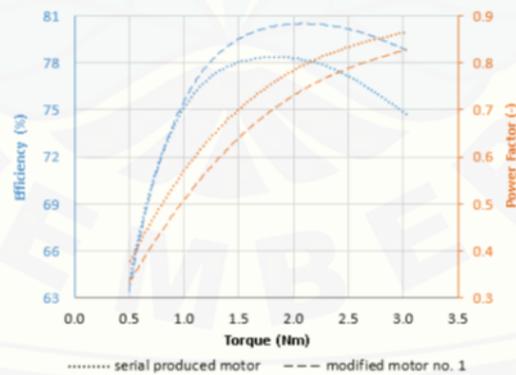


Gambar 2.7Skema 3- phasee lilitan

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 dibandingkan antara torsi dan kecepatan dari perubahan diameter lilitan pada gambar.



Gambar 2.8 Perbandingan Motor Pabrik dan Motor Modifikasi diameter lilitan yaitu torsi, arus dan kecepatan.



Gambar 2.9 Grafik Perbandingan Motor Pabrik dan Motor Modifikasi diameter lilitan yaitu efisiensi, torsi dan daya

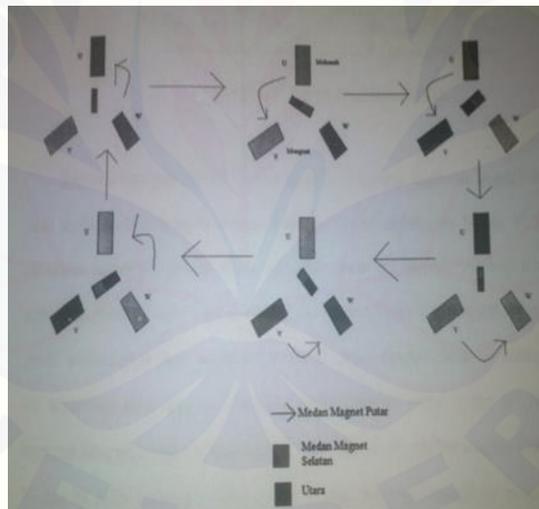
2.7 Cara Kerja Motor BLDC

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.

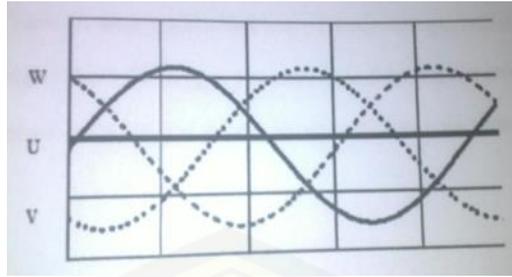
$$n_s = \frac{120f}{p}$$

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



Gambar 2.10 Medan Magnet Putar Stator dan Perputaran Rotor

Berdasarkan gambar 2.10, 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 2.11 Tegangan Stator BLDC

Berdasarkan gambar 2.11, ketika stator 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 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 BLDC dapat berputar.

2.8 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:

$$F = F_1 \sin \delta$$

Karena

$$F_1 = B i l$$

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

$$F = B i l \sin \delta$$

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:

$$B = \frac{\phi_m}{A_r} = \frac{\lambda_m}{A_r} = \frac{\lambda_m}{l r}$$

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:

$$\phi_{rs} = \lambda_m \cos \vartheta$$

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.

2.9 Persamaan Torsi

Torsi T yang dihasilkan oleh arus pada sisi koil adalah :

$$T = r \cdot F$$

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

$$T = 2r \cdot p \cdot F$$

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

$$T = p \cdot i \cdot \lambda_m \cdot \sin \delta$$

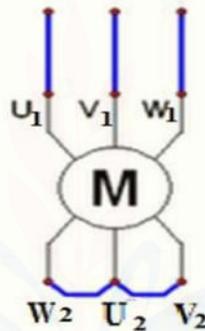
dimana T adalah torsi, r adalah radius koil, merupakan *flux linkage*.

2.10 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) yg sama dirangkai seperti membentuk hurup 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.

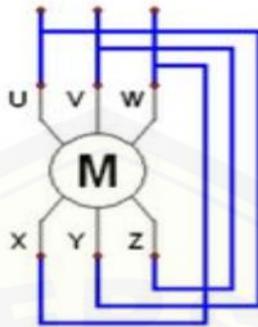


Gambar 2.12 Hubungan Star

Rangkaian delta adalah peralatan listrik 3 fase dimana didalamnya terdiri dari 3 unit/bagian yg sama (belitan misalnya) dirangkai seperti membentuk bangun segitiga dimana ujung-ujungnya adalah tersambung sbg line, dan tdk mempunyai netral. Bila ingin mendapatkan netralnya biasanya diambil dari ground dengan syarat sumber tegangannya juga digroundkan. 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 2.13 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 menjadihubungan 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.

BAB 3. METODELOGI PENELITIAN

Pada penelitian yang dilakukan ini, untuk memperoleh data dan hasil dari penelitian yang sesuai dengan tujuan, maka dilakukan beberapa tahapan proses. Adapun kegiatan yang dilakukan sebagaimana dapat di jelaskan dalam susunan seperti berikut.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Skripsi yang berjudul “Karakteristik Unjuk Kerja Motor BLDC 500 W Terhadap Jumlah Lilitan Dan Diameter Stator “. Penelitian ini dilakukan di Ruang Workshop Mobil Listik Fakultas Teknik Universitas Jember, jl. Veteran, No, 03, Patrang, Kabupaten Jember. Waktu penelitian dilaksanakan selama 6 bulan. Pada bulan Juni 2018 sampai November 2018.

Tabel 3.1. Perencanaan Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulanke-/Minggu																				
		Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4				Bulan 5				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Studi Literatur	■	■																			
2	Perancangan			■	■	■	■															
3	Ujikarakteristik							■	■	■	■											
4	Pengambilan Data											■	■	■	■	■						
5	Analisa data															■	■	■	■	■		
6	Kesimpulan dan Saran																	■	■	■	■	■

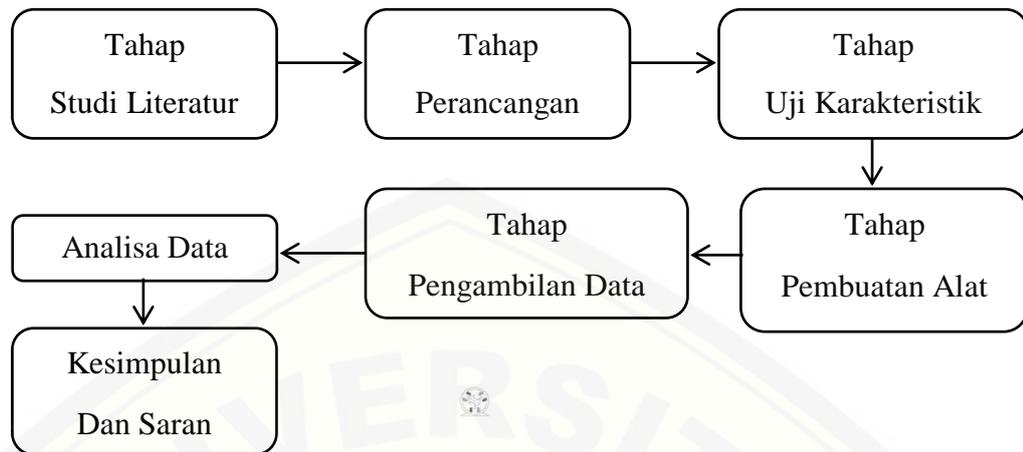
Gambarr 1

Keterangan :



: Kegiatan dilaksanakan

3.2 Tahapan Penelitian



Gambar3.1Tahapan

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 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 lainnya. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

2. Tahap Perancangan

Tahap ini adalah tahap untuk merancang bagaimana motor BLDC dapat dimodifikasi ulang. Tahapan ini menghitung berapa diameter kawat email dan jumlah lilitan, serta kecepatan dan torsi berdasarkan parameter perancangan yang telah ditentukan.

3. Tahap Uji Karakteristik

Tahap pengambilan data pada motor BLDC produksi pabrik sebelum dimodifikasi ulang. Karakteristik motor BLDC mencakup kecepatan motor, torsi motor, dll.

4. Tahap Pembuatan Alat

Pembuatan alat disesuaikan dengan hal yang direncanakan pada langkah awal penelitian, mulai dari alat untuk memasang kawat email, diameter kawat email yang akan digunakan, perbedaan jumlah diameter lilitan.

5. Tahap Pengambilan Data

Pada tahap ini ialah dilakukannya pengambilan data dari kegiatan uji karakteristik. Data yang diperoleh yakni karakteristik motor BLDC produksi pabrik dan motor BLDC yang sudah dimodifikasi dengan mengganti kawat email dan diameter lilitan.

6. Analisa Data

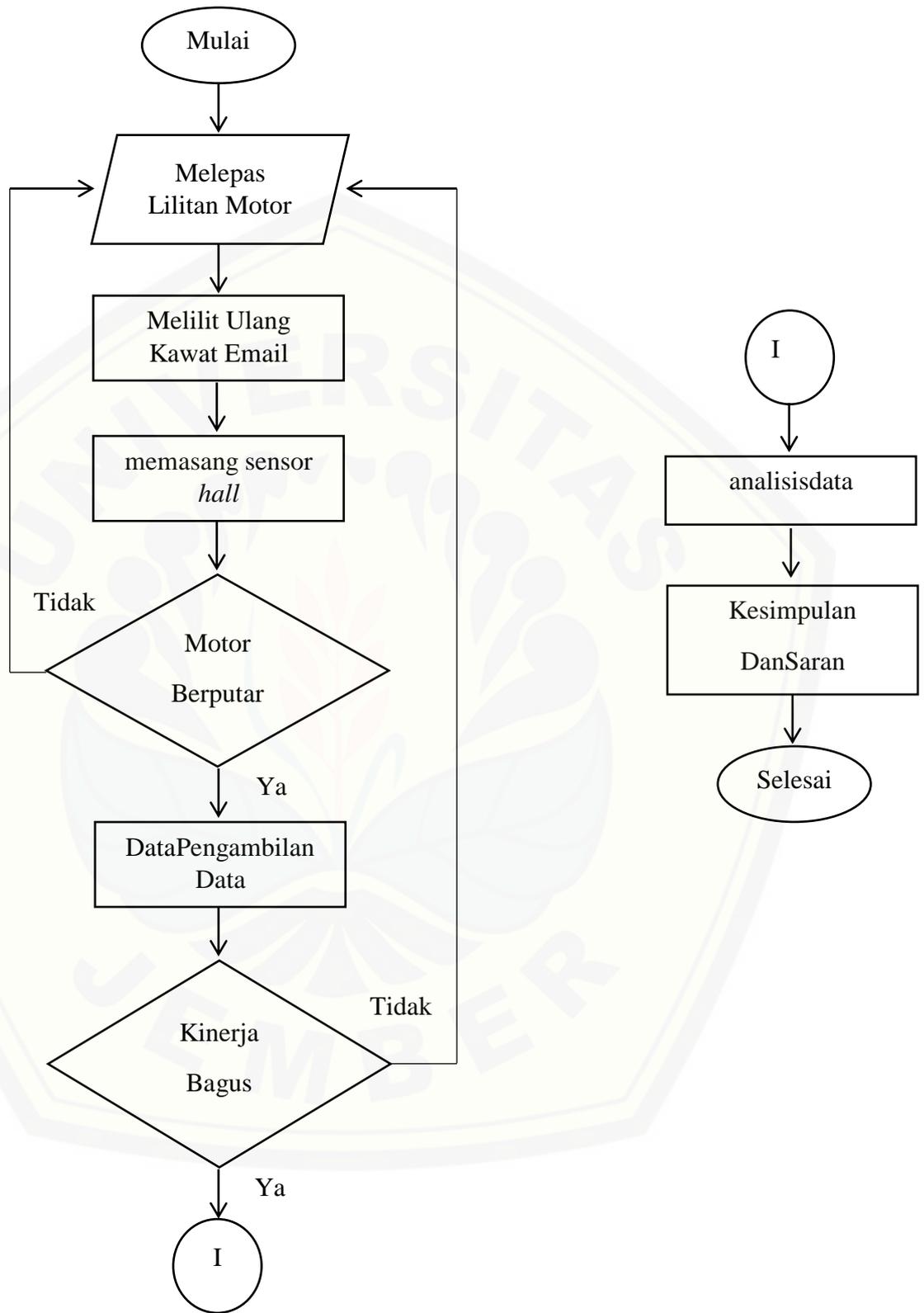
Analisa data dilakukan setelah mendapatkan hasil data dari data yang didapat yaitu membandingkan performa motor produksi pabrik dan setelah dilakukannya perubahan diameter kawat email serta jumlah lilitan.

7. Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan diambil dari hasil analisis yang telah melalui beberapa kali uji program sehingga mendapat hasil sesuai yang direncanakan.

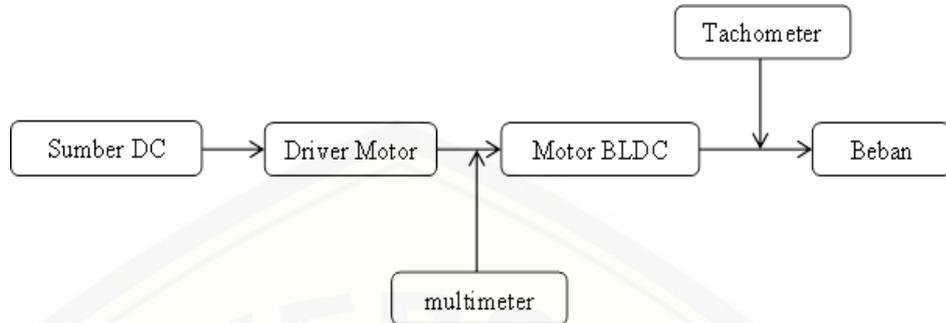
3.3 Diagram Alir (Flowchart) Penelitian

Pada Flowchart motor listrik BLDC Emoto akan berisi mengenai proses inti memodifikasi kawat email mulai melepas lilitan motor yang masih tersambung dengan kumparan. Kemudian melilit kawat email sesuai yang ditentukan dan pasang sensor *hall*. Gabungkan dengan stator dan dioperasikan untuk mengetahui dan analisis data yang sudah diperoleh.



Gambar 3.2 Diagram Alir (Flowchart) pada Motor Listrik BLDC Emoto

3.4 Blok Diagram Penelitian



Gambar 3.3 Blok Diagram Penelitian
Pada Motor Listrik BLDC Emoto

prinsip kerja dari penelitian ini dapat digambarkan pada blok diagram diatas. Sumber DC yang digunakan berasal dari baterai 48 *Volts*. Pengujian motor ini untuk mendapatkan karakteristik kecepatan dan torsi dengan menggunakan alat ukur multimeter dan tachometer yang disambungkan langsung terhadap beban. Data yang akan diambil menggunakan beberapa parameter yang selanjutnya akan dianalisa dari hasil tersebut. Pada hal ini menganalisa performa motor saat sebelum dilakukanya perubahan diameter kawat email dan jumlah lilitan serta setelah dimodikasi dibandingkan akan lebih baik dan bagus yang mana dari perubahannya.

3.5 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang perlu dipersiapkan dalam melakukan penelirian, diantaranya:

1. Tachometer
2. Multimeter
3. Alat Gunung Manual
4. Treker
5. Solder
6. Cutter
7. Motor BLDC Emoto

8. Kawat Email sebesar 0,65 mm dan 0,7 mm
9. Baterai 48 *Volts*.
10. Kertas mika /pripsan
11. Varnish
12. Driver Motor BLDC Emoto

3.6 Spesifikasi Motor BLDC EMOTO

3.6.1 Motor BLDC Emoto

1. Tipe : Motor DC Brushless (BLDC)
2. Sistem pengereman : Tromol
3. Vsuplai : DC 48V (power suplai not included)
4. Daya : 500 Watt
5. Speed : 50-60 km/jam
6. Torsi : 200 Kg.cm
7. Motor langsung pasang pada Ban (ban *not included*)
8. Dimensi motor : diameter 27 cm x lebar 5 cm
 - a. Berat motor + kontroller : 8,7 Kg

3.6.2 Driver Motor BLDC EMOTO

1. Nilai Tegangan : 48 V
2. Nilai Arus : 31A
3. Nilai Daya : 500 W
4. *Matching* motor : *brushless* motor
5. Nilai Tegangan minimum :41V
6. Tegangan *Throttle* : 1V to 4.2V
7. Sudut Fasa : 60/120 derajat
8. *Brake level* : *Low/High*
9. *Heat dissipation* : *Natural cooling*
10. Temperatur : -20 derajat sampai 50 derajat
11. Tingkat Proteksi : IP55
12. Dimensi :15cm(L)x8cm(W)x4cm(H)

3.7 Rencana Pengujian

Tahap pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian terhadap Motor BLDC Emoto 500 W yaitu pada perubahan jumlah lilitan dan diameter stator , kemudian pengujian ini terdapat 2 tahap yaitu uji karakteristik motor sebelum dililit berupa uji torsi, uji kecepatan dan uji efisiensi. Setelah itu pengujian yang kedua berupa dilakukanya perubahan jumlah lilitan, yaitu uji torsi, uji kecepatan, dan uji efisiensi. Pengujian yang dilakukan adalah menganalisa perbandingan antara motor pabrikan yang menggunakan kawat email ukuran 0,55 mm dengan perubahan kawat email 0,65 mm dan 0,7 mm.



Gambar 3.4 Pengujian karakteristik Motor BLDC



Gambar 3.5 Pengujian Karakteristik Motor BLDC

Tabel 3.2 Data Percobaan Pengujian lilitan 0.55 mm

<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>

Tabel 3. 3 Data Percobaan Pengujian lilitan 0.65 mm

<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>

Tabel 3.4 Data Percobaan Pengujian lilitan 0.7 mm

<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>

3.8 Rumus Dasar pengujian

Torsi di dapat dari :

$$T = F \cdot r$$

Dimana :

T = Torsi

F = Gaya

r = Jari-jari

Efisiensi didapat dari :

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

Dimana :

η = Efisiensi

P_l = Power on motor shaft

P_{in} = Power on the motor

Power on motor shaft didapat dari :

$$P_l = T L \cdot \omega$$

Dimana :

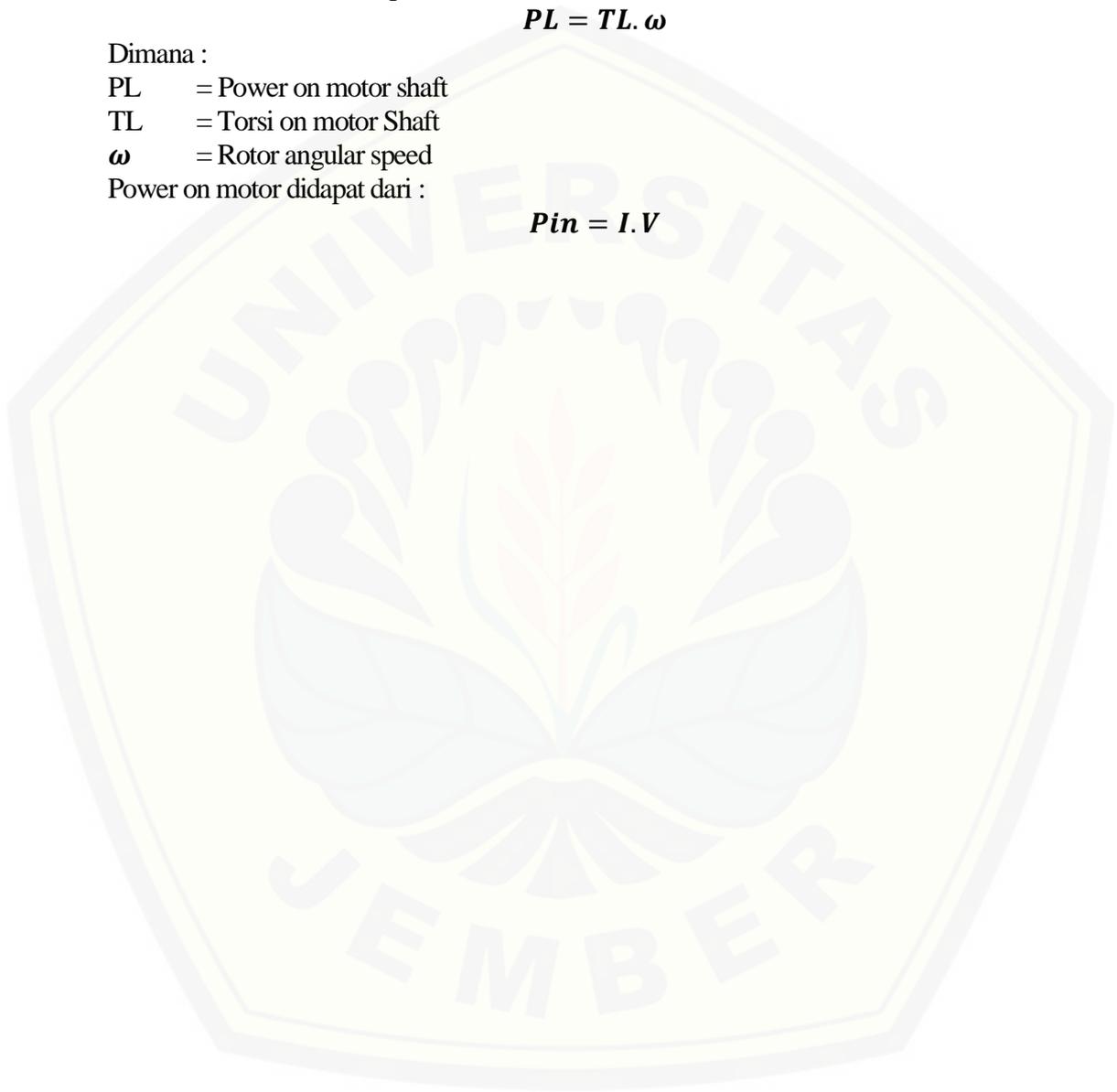
P_l = Power on motor shaft

$T L$ = Torsi on motor Shaft

ω = Rotor angular speed

Power on motor didapat dari :

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



DAFTAR PUSTAKA

- Anibal T, D., & Fernando, F. (n.d.). *Efficiency Testing of Electric Induction Motors. IEEE*, 1-10.
- Azzumar, M. (2012). *PEMODELAN DAN SIMULASI BRUSHLESS DC MOTOR KECIL UNTUK APLIKASI AKTUATOR SIRIP ROKET*. Depok: UNIVERSITAS INDONESIA.
- Bayu Setia Pambudi, (2017) Analisis Unjuk Kerja Motor BLDC 500 W Terhadap Perubahan Diameter Lilitan Stator. Universitas Jember
- Dharmawan, A. (2009). PENGENDALIAN MOTOR BRUSHLESS DC DENGAN METODE PWM SINUSSOIDAL MENGGUNAKAN ATMEGA16. *Univeritas Indonesia*, 1-45.
- Hanselmen, D. (2006). *Brushless Permanent Magnet Motor Design*. Lebanon, Ohio: Magna Physics Publishing .
- 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>
- 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*, 5-1

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

TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS JEMBER

Lampiran 1.

1. Perhitungan Omega

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\omega_{551} = 551 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

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

$$\omega_{592} = 592 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{592} = 60.287 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{596} = 596 \frac{2 \times 3.14}{60}$$

$$\omega_{596} = 62.381 \text{ rad/s}$$

2. Perhitungan Torsi (r = 0.14m)

Perhitungan Torsi diameter 0.55mm pabrikan

$$T = F \cdot r$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

• **Perhitungan Torsi diameter 0.65mm modifikasi**

$$T = F \cdot r$$

$$T_{100} = 3.35 \times 0.14$$

$$T_{100} = 0.469 \text{ Nm}$$

$$T_{200} = 3.95 \times 0.14$$

$$T_{200} = 0.553 \text{ Nm}$$

$$T_{300} = 4.65 \times 0.14$$

$$T_{300} = 0.651 \text{ Nm}$$

$$T_{400} = 5.63 \times 0.14$$

$$T_{400} = 0.788 \text{ Nm}$$

$$T_{500} = 6 \times 0.14$$

$$T_{500} = 0.84 \text{ Nm}$$

$$T_{592} = 6.95 \times 0.14$$

$$T_{592} = 0.973 \text{ Nm}$$

• **Perhitungan Torsi diameter 0.70mm modifikasi**

$$T = F \cdot r$$

$$T_{100} = 3.58 \times 0.14$$

$$T_{100} = 0.501 \text{ Nm}$$

$$T_{200} = 4 \times 0.14$$

$$T_{200} = 0.56 \text{ Nm}$$

$$T_{300} = 4.70 \times 0.14$$

$$T_{300} = 0.658 \text{ Nm}$$

$$T_{400} = 5.40 \times 0.14$$

$$T_{400} = 0.756 \text{ Nm}$$

$$T_{500} = 6.50 \times 0.14$$

$$T_{500} = 0.91 \text{ Nm}$$

$$T_{596} = 7.21 \times 0.14$$

$$T_{596} = 1,009 \text{ Nm}$$

3. Perhitungan *Pout*

Perhitungan *Pout* tidak berbeban diameter 0.55mm

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

$$P_{out_{100}} = 0.198 \times 10.46$$

$$P_{out_{100}} = 2.08 \text{ W}$$

$$P_{out_{200}} = 0.240 \times 20.93$$

$$P_{out_{200}} = 5.04 \text{ W}$$

$$P_{out_{300}} = 0.261 \times 31.46$$

$$P_{out_{300}} = 8.22 \text{ W}$$

$$P_{out_{400}} = 0.285 \times 41.86$$

$$P_{out_{400}} = 11.95 \text{ W}$$

$$P_{out_{500}} = 0.312 \times 52.33$$

$$P_{out_{500}} = 19.22 \text{ W}$$

$$P_{out_{551}} = 0.096 \times 58.61$$

$$P_{out_{551}} = 5.64 \text{ W}$$

- Perhitungan *Pout* diameter 0.65mm modifikasi

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

$$P_{out_{100}} = 0.497 \times 10.46$$

$$P_{out100} = 5.198 \text{ W}$$

$$P_{out200} = 0.553 \times 20.93$$

$$P_{out200} = 11.574 \text{ W}$$

$$P_{out300} = 0.651 \times 31.46$$

$$P_{out300} = 20.441 \text{ W}$$

$$P_{out400} = 0.749 \times 41.86$$

$$P_{out400} = 31.353 \text{ W}$$

$$P_{out500} = 0.84 \times 52.33$$

$$P_{out500} = 43.957 \text{ W}$$

$$P_{out592} = 0.84 \times 58.61$$

$$P_{out592} = 60.287 \text{ W}$$

- **Perhitungan P_{out} diameter 0.70mm modifikasi**

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

$$P_{out100} = 0.501 \times 10.46$$

$$P_{out100} = 5.242 \text{ W}$$

$$P_{out200} = 0.56 \times 20.93$$

$$P_{out200} = 11.720 \text{ W}$$

$$P_{out300} = 0.658 \times 31.46$$

$$P_{out300} = 20.661 \text{ W}$$

$$P_{out400} = 0.756 \times 41.86$$

$$P_{out400} = 31.646 \text{ W}$$

$$P_{out500} = 0.91 \times 52.33$$

$$P_{out500} = 47.620 \text{ W}$$

$$P_{out596} = 1.009 \times 58.61$$

$$P_{out596} = 62.966 \text{ W}$$

4. Perhitungan Efisiensi

Perhitungan *Efficiency* diameter 0.55mm pabrikan

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- **Perhitungan *Efficiency* diameter 0.65mm modifikasi**

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

$$\eta_{100} = \frac{5.201}{12} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = 43.341\%$$

$$\eta_{200} = \frac{11.576}{31} \times 100\%$$

$$\eta_{200} = 37.341\%$$

$$\eta_{300} = \frac{20.441}{57.2} \times 100\%$$

$$\eta_{300} = 35.736\%$$

$$\eta_{400} = \frac{31.353}{102} \times 100\%$$

$$\eta_{400} = 30.738\%$$

$$\eta_{500} = \frac{43.957}{160.3} \times 100\%$$

$$\eta_{500} = 27.421\%$$

$$\eta_{592} = \frac{60.287}{250.3} \times 100\%$$

$$\eta_{592} = 24.085\%$$

- **Perhitungan *Efficiency* diameter 0.70mm modifikasi**

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

$$\eta_{100} = \frac{5.242}{13.1} \times 100\%$$

$$\eta_{100} = 40.015\%$$

$$\eta_{200} = \frac{11.720}{32.2} \times 100\%$$

$$\eta_{200} = 36.397\%$$

$$\eta_{300} = \frac{20.661}{59.2} \times 100\%$$

$$\eta_{300} = 34.9\%$$

$$\eta_{400} = \frac{31.646}{104.1} \times 100\%$$

$$\eta_{400} = 30.399\%$$

$$\eta_{500} = \frac{47.620}{163.2} \times 100\%$$

$$\eta_{500} = 29.178\%$$

$$\eta_{596} = \frac{62.966}{255.1} \times 100\%$$

$$\eta_{596} = 24.682\%$$



Gambar 1. Pembongkaran skema Motor BLDC



Gambar 2. Proses Peleburan Varnish pada Motor BLDC



Gambar 3. Proses Penambahan Isolator dengan menggunakan kertas Pripsan



Gambar 4. Hasil Pemasangan Isolator pada Motor BLDC



Gambar 5. Proses Penggulungan lilitan 0.65mm



Gambar 6. Hasil Penggulungan diameter lilitan 0.65mm