



**ANALISIS PERBANDINGAN UNJUK KERJA MOTOR *BRUSHLESS* DC  
DENGAN MENGGUNAKAN *DYNAMOMETER* GENERATOR**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Muhammad Baroq Arkham**

**NIM 181910201120**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2022**



**ANALISIS PERBANDINGAN UNJUK KERJA MOTOR *BRUSHLESS* DC  
DENGAN MENGGUNAKAN *DYNAMOMETER* GENERATOR**

**SKRIPSI**

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

Oleh:

**Muhammad Baroq Arkham**

**NIM 181910201120**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2022**

**PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Kedua orang tua saya, Almarhumah ibu Asriyatun dan bapak Nadam Zain yang telah membesarkan, mendidik, dan selalu mendoakan penulis serta kakak saya Dyah Ayu Larasati Zain.
4. Dosen pembimbing saya, bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T. dan bapak Guido Dias Kalandro, S.ST.,M.Eng.
5. Guru-guru TK Khoirul Huda, MI Khoirul Huda, SMP Negeri 4 Waru, SMA Negeri 2 Sidoarjo dan dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Jember atas ilmu-ilmu yang telah diberikan selama ini semoga menjadi amal jariyah kelak di akhirat.
6. Keluarga Besar SATELITE 2018.
7. Keluarga Besar Tim Mobil Listrik TITEN Fakultas Teknik Universitas Jember.
8. Almamater Teknik Elektro Universitas Jember.

**MOTTO**

“Hidup itu adalah seberapa sungguh-sungguh kita bercerita.”

(Ricky Elson)

“Niscaya Allah SWT akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.”

(Q.S. Al-Mujadalah Ayat 11)

“Jangan hanya berkata kamu sudah membaca banyak buku. Tunjukkan bahwa melalui buku-buku tersebut kamu telah belajar berfikir lebih baik, menjadi seseorang yang bijak memilih, memilah, dan merenung.”

(Henry Manampiring)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Baroq Arkham

NIM : 181910201120

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ANALISIS PERBANDINGAN UNJUK KERJA MOTOR *BRUSHLESS* DC DENGAN MENGGUNAKAN *DYNAMOMETER* GENERATOR” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 5 Oktober 2022

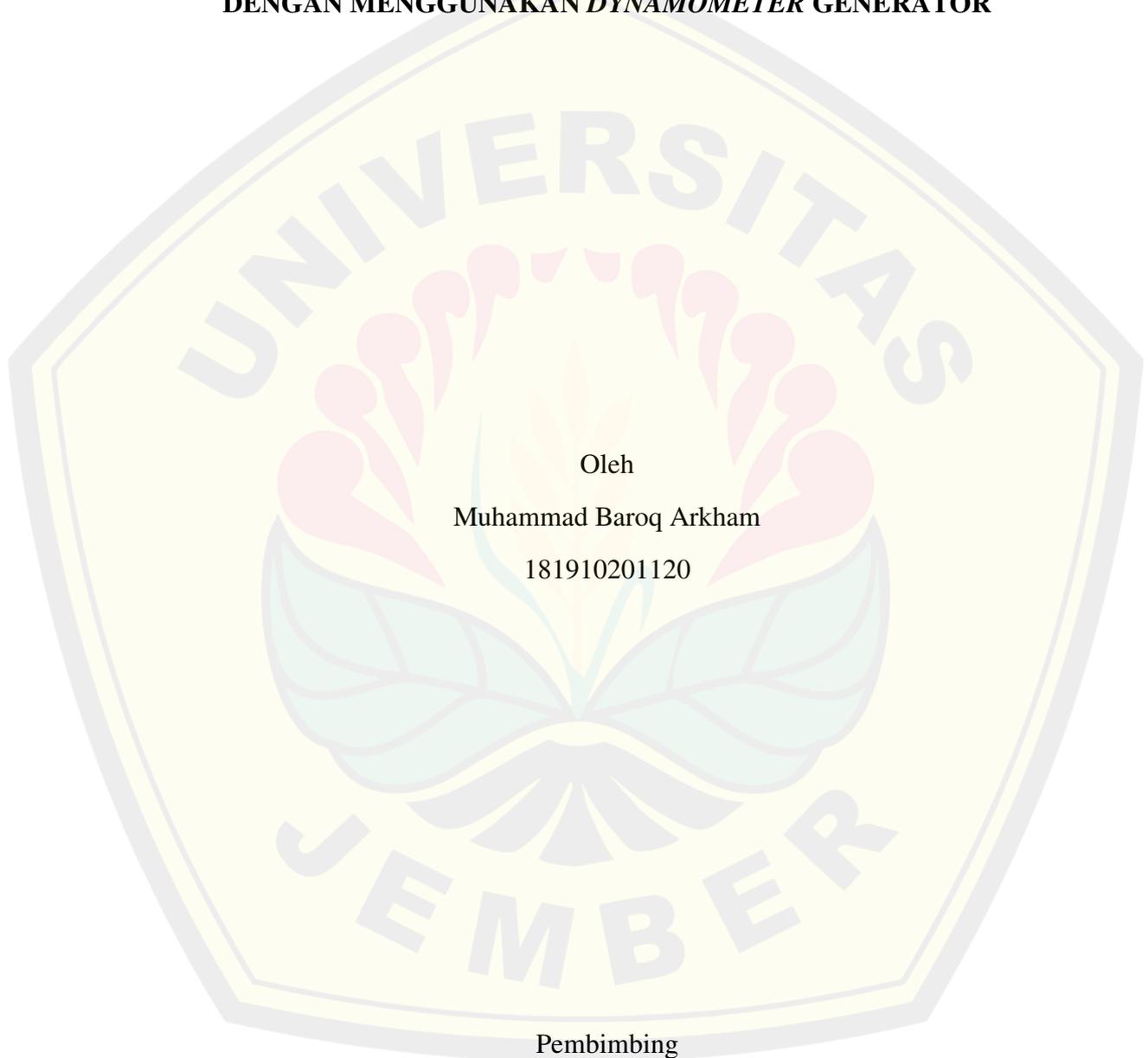
Yang menyatakan,

M. Baroq Arkham

NIM 181910201120

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERBANDINGAN UNJUK KERJA MOTOR *BRUSHLESS* DC  
DENGAN MENGGUNAKAN *DYNAMOMETER* GENERATOR**



Oleh  
Muhammad Baroq Arkham  
181910201120

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Guido Dias Kalandro, S.ST. M.Eng.

**PENGESAHAN**

Skripsi yang berjudul “Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Motor *Brushless* DC Dengan Menggunakan *Dynamometer* Generator” Karya Muhammad Baroq Arkham telah disetujui pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 5 Oktober 2022

Tempat : Fakultas Teknik, Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua



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

NIP. 197008261997021001

Anggota I



Guido Dias Kalandro, S.ST., M.Eng.

NRP. 760015734

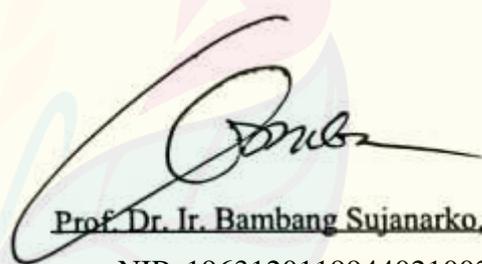
Anggota II



Ir. Widyono Hadi., M.T.

NIP. 196104141989021001

Anggota III



Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

NIP. 1963120119944021002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Jember

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

NIP. 197008261997021001

**RINGKASAN**

**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR *BRUSHLESS* DC DENGAN MENGGUNAKAN *DYNAMOMETER* GENERATOR:** Muhammad Baroq Arkham, 181910201120: 2022: 102 halaman: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

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. 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. 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 untuk pengaplikasian mobil listrik, industri dan aplikasi lainnya. Pada penelitian ini motor BLDC digunakan sebagai penggerak mobil listrik dengan tipe urban konsep. Untuk mengetahui unjuk kerja motor BLDC dengan menggunakan *dynamometer* generator perlu dilakukan beberapa pengujian yang akan dilakukan secara bertahap. Pengujian variasi motor BLDC 220 watt, 250 watt, dan 1000 watt tanpa adanya beban serta menggunakan variasi beban lampu 90 watt, 130 watt, dan 160 watt. Adapun hasil penelitian ini yaitu nilai rpm akan berbanding lurus dengan arus dan pembebanan lampu, kemudian nilai torsi akan berbanding terbalik dengan rpm dan akan berbanding lurus dengan nilai pembebanan lampu.

Motor BLDC dengan nilai efisiensi tertinggi pada pembebanan lampu 90 watt terjadi pada motor BLDC 250 W dan nilai efisiensi tertinggi pada pembebanan lampu 130 dan 160 watt terjadi pada motor BLDC 1000 W.



## PRAKATA

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Segala puji dan syukur selalu penulis panjatkan kepada Allah SWT, Sang Pencipta alam semesta dan isinya. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada suri tauladan kita, Nabi Besar Muhammad SAW.

Dengan selesainya karya tulis ini, penulis bersyukur kepada Allah SWT, Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Almarhumah ibu Asriyatun dan bapak Nadam Zain. Serta kakak saya Dyah Ayu Larasati Zain yang telah mencurahkan segalanya untuk penulis mulai dari kosong;
2. Bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Guido Dias Kalandro, S.ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing anggota yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam proses penulisan skripsi;
3. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. dan Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis;
4. Bapak Ir. Gamma Aditya Rahardi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing selama penulis menempuh studi dengan ramah dan baik;
5. Guru-guru pendidik TK Khoirul Huda, MI Khoirul Huda, SMP Negeri 4 Waru, SMA Negeri 2 Sidoarjo dan dosen-dosen pendidik Teknik Elektro Universitas Jember yang telah mendidik penulis hingga saat ini;
6. Ricky Elson yang telah menginspirasi bagi penulis untuk selalu berfikir kritis, dan selalu percaya bahwa ditangan anak bangsa teknologi dapat berkembang hingga saat ini;
7. Teman-teman UKM TITEN Fachry, Ihsan, Firman, Alwi, Ian, Dewandy, Dhani, Rosyid, Palupi, Ariz, dan teman-teman yang lain yang telah

- membantu, menemani, dan menjadi rekan kerja penulis selama berorganisasi;
8. Rekan-rekan Chiken Thunder X Jekma Riski, Lufias, dan Lailia yang telah menemani penulis selama kerja praktik dan perkuliahan;
  9. Teman-teman KKN 09 yang telah menemani dan menghibur selama masa akhir perkuliahan;
  10. Dulur-dulur Teknik Elektro Angkatan 2018 Universitas Jember (SATELITE) yang senantiasa menemani dan membantu selama perkuliahan;
  11. Almamater Universitas Jember yang penulis cintai dan banggakan;
  12. Dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih atas segalanya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Oleh karena itu, penulis meminta maaf yang sebesar-besarnya atas segala kekurangan dalam karya tulis ini, serta penulis berharap supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

*Wassalamu'alaikum Warhmatullahi Wabarakatuh*

Jember, 5 Oktober 2022

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>PENGESAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Motor Listrik .....</b>	<b>4</b>
2.1.1 Jenis – Jenis Motor .....	4
<b>2.2 Prinsip Kerja Motor BLDC.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Dinamo Generator .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Daya .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5 Torsi .....</b>	<b>14</b>
<b>2.6 Kecepatan Angular .....</b>	<b>14</b>
<b>2.7 Efisiensi.....</b>	<b>15</b>
<b>2.8 Rangkaian Penyearah .....</b>	<b>15</b>
<b>2.9 Data logger .....</b>	<b>16</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 Alat dan Bahan .....</b>	<b>19</b>

<b>3.4 Tahapan Penelitian</b> .....	19
<b>3.5 Variabel Penelitian</b> .....	21
<b>3.6 Perancangan Alat</b> .....	22
3.6.1 Blok Diagram Sistem Keseluruhan.....	22
3.6.2 Desain Alat.....	24
3.6.3 Sistem Akuisisi Data .....	24
<b>3.7 Spesifikasi Motor BLDC</b> .....	26
3.7.1 Motor BLDC 220 Watt.....	26
3.7.2 Motor BLDC 250 Watt.....	27
3.7.3 Motor BLDC 1000 Watt.....	27
3.7.4 Driver Kontrol Motor BLDC.....	27
3.7.5 Driver Kontrol Motor BLDC.....	27
3.7.6 Motor BLDC Sebagai Generator .....	28
<b>3.8 Spesifikasi Sistem Transmisi</b> .....	28
<b>3.9 Rumus Dasar Perhitungan Peforma Motor</b> .....	28
3.9.1 Perhitungan Daya Keluaran Motor (W).....	28
3.9.2 Perhitungan Torsi Motor ( $\tau$ ).....	29
3.9.3 Perhitungan Efisiensi Motor ( $\eta_m$ ).....	29
<b>3.11 Rencana Pengujian</b> .....	30
3.11.1 Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus .....	31
3.11.2 Pengujian Pengaruh Pembebanan Terhadap Torsi Motor BLDC.....	32
3.11.3 Pengujian Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Motor BLDC .....	32
<b>3.12 Teknik Analisis Data</b> .....	33
3.12.1 Analisis Pengaruh RPM Motor BLDC Terhadap Nilai Arus .....	33
3.12.2 Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Torsi Motor BLDC .....	33
3.12.3 Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Motor BLDC .....	33
<b>BAB 4. PEMBAHASAN</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1 Perencanaan Kebutuhan Daya</b> .....	34
<b>4.2 Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC</b> .....	35
4.2.1 Pengujian Tanpa Beban .....	36
4.2.2 Pengujian Dengan Pembebanan Lampu .....	38
4.2.3 Daya Keluaran Motor BLDC.....	47

<b>4.3 Analisis Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Torsi Motor BLDC</b> .....	53
<b>4.4 Analisis Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Efisiensi Motor BLDC</b> .....	61
<b>4.5 Analisis Unjuk Kerja Motor BLDC</b> .....	70
4.5.1 Perbandingan Unjuk Kerja Daya masukan dan Daya Keluaran Motor BLDC.....	70
4.5.2 Perbandingan Torsi Motor BLDC .....	73
4.4.3 Perbandingan Efisiensi Motor BLDC.....	76
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>80</b>
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	80
<b>5.2 Saran</b> .....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>82</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>84</b>

### DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengaruh Variasi Kecepatan Terhadap Kebutuhan Daya .....	34
Tabel 4.2 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 220 Watt Tanpa Pembebanan Lampu .....	36
Tabel 4.3 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 250 Watt Tanpa Pembebanan Lampu .....	36
Tabel 4.4 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 1000 Watt Tanpa Pembebanan Lampu .....	37
Tabel 4.5 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt .....	39
Tabel 4.6 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt .....	39
Tabel 4.7 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt .....	40
Tabel 4.8 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt .....	41
Tabel 4.9 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt .....	42
Tabel 4.10 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt .....	42
Tabel 4.11 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt .....	44
Tabel 4. 12 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt .....	44
Tabel 4.13 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt .....	45
Tabel 4. 14 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt .....	47
Tabel 4. 15 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt .....	47

Tabel 4. 16 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt .....	48
Tabel 4. 17 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt .....	49
Tabel 4. 18 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt .....	49
Tabel 4. 19 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt .....	50
Tabel 4. 20 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt .....	51
Tabel 4.21 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt .....	51
Tabel 4. 22 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt .....	52
Tabel 4. 23 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt.....	53
Tabel 4. 24 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt.....	53
Tabel 4. 25 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt.....	54
Tabel 4. 26 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt.....	56
Tabel 4. 27 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt.....	56
Tabel 4. 28 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt.....	57
Tabel 4. 29 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt.....	58
Tabel 4. 30 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt.....	59

Tabel 4. 31 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt.....	59
Tabel 4. 32 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt.....	62
Tabel 4. 33 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt.....	62
Tabel 4. 34 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt.....	63
Tabel 4. 35 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt.....	64
Tabel 4. 36 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt.....	65
Tabel 4. 37 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt.....	66
Tabel 4. 38 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt.....	67
Tabel 4. 39 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt.....	68
Tabel 4. 40 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt.....	68

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Konstruksi Motor Brushed DC .....	5
Gambar 2.2 Konstruksi Motor Brushless DC dengan Sensor Hall Sumber .....	7
Gambar 2.3 Six Step Komutasi Motor BLDC .....	8
Gambar 2.4 Tegangan Stator BLDC .....	9
Gambar 2.5 Dinamometer Generator .....	10
Gambar 2.6 Rangkaian Konfersian Energi pada Dinamometer Generator .....	11
Gambar 2.7 Rangkaian Penyearah Gelombang 3 Fasa .....	16
Gambar 2.8 Rangkaian Data Logger .....	17
Gambar 3.1 Flowchart Tahap Penelitian .....	20
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem .....	23
Gambar 3.3 Desain Alat Uji Motor BLDC .....	24
Gambar 3.4 Flowchart Sistem Akuisisi Data .....	25
Gambar 3.5 Rangkaian Keseluruhan Sistem Akuisisi Data .....	26
Gambar 3.6 Flowchart Tahap Pengujian .....	30
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC Tanpa Pembebanan Lampu .....	38
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 90 Watt .....	41
Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 130 Watt .....	43
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 160 Watt .....	46
Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Torsi Motor BLDC 220 W .....	55
Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Torsi Motor BLDC 250 W .....	57
Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Torsi Motor BLDC 1000 W .....	60

Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Efisiensi Motor BLDC 220 Watt .....	63
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Efisiensi Motor BLDC 250 Watt .....	66
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Efisiensi Motor BLDC 1000 Watt .....	69
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Daya Masukan dan Daya Keluaran Dengan Pembebanan Lampu 90 Watt .....	71
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Daya Masukan dan Daya Keluaran Dengan Pembebanan Lampu 130 Watt .....	72
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Daya Masukan dan Daya Keluaran Dengan Pembebanan Lampu 160 Watt .....	73
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Torsi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 90 Watt.....	74
Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Torsi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 130 Watt.....	75
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Torsi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 160 Watt.....	76
Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan Efisiensi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 90 W.....	77
Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Efisiensi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 130 W.....	78
Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan Efisiensi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 160 W.....	79

## 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 (Dharmawan Abe, 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 untuk pengaplikasian mobil listrik, industri dan aplikasi lainnya, motor BLDC banyak digunakan karena motor ini memiliki karakteristik yang sama dengan motor *Direct Current* (DC) tetapi tidak menggunakan sikat untuk beroperasi sehingga biaya perawatan yang

dibutuhkan rendah dan lebih praktis, kecepatan yang lebih baik, kemudian memiliki perbandingan karakteristik torsi dan respons dinamis yang lebih besar. Dalam penentuan motor listrik

Dari permasalahan tersebut, penulis mencoba untuk melakukan suatu pengkajian untuk mengetahui karakteristik motor BLDC yang digunakan pada Mobil Listrik Urban Konsep. Pengkajian ini dilakukan dengan pengujian perbandingan unjuk kerja motor BLDC yang digunakan pada Mobil Listrik Urban Konsep dengan *dynamometer* generator. Terdapat beberapa tipe motor BLDC yang dapat digunakan pada Mobil Urban Konsep yaitu motor BLDC dengan daya 220 Watt, 250 Watt, dan 1000 Watt. Karena terdapat beberapa tipe motor BLDC dengan perbedaan daya nominal, sehingga penulis perlu untuk melakukan penelitian sebagai Tugas Akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik (ST) yang berjudul “**Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Motor *Brushless* DC Dengan Menggunakan *Dynamometer* Generator**”.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun beberapa rumusan masalah yang dibuat untuk melakukan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh nilai rpm terhadap arus motor BLDC ?
2. Bagaimana pengaruh nilai pembebanan terhadap torsi motor BLDC ?
3. Bagaimana karakteristik dari kerja motor BLDC dengan variasi pembebanan terhadap efisiensi motor BLDC ?

### **1.3 Batasan Masalah**

Berdasarkan dari pemaparan rumusan masalah diatas, agar pembahasan tidak terlalu meluas maka diperlukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Menggunakan motor BLDC dengan daya nominal 220 watt, 250 watt, dan 1000 watt.
2. Tidak membahas mengenai sistem transmisi yang digunakan.
3. Tidak membahas mengenai baterai dan kontrol motor.

4. Pengujian unjuk kerja dilakukan dengan menggunakan dinamometer jenis generator.
5. Pengujian unjuk kerja dilakukan secara statis pada alat uji motor BLDC.
6. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan nilai pembebanan.
7. Generator dibebani dengan variasi beban lampu 90, 130, dan 160 watt.
8. Efisiensi generator yang digunakan sebagai dinamometer diasumsikan 80%.
9. Efisiensi transmisi yang berupa *chain* dan *sprocket* diasumsikan 95%.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Pada penelitian yang akan dilakukan ini memiliki beberapa tujuan diantaranya sebagai berikut:

1. Memahami pengaruh rpm motor BLDC terhadap nilai arus.
2. Memahami pengaruh nilai pembebanan terhadap torsi motor BLDC.
3. Mengetahui performa dari motor BLDC dengan variasi pembebanan terhadap efisiensi motor BLDC.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dapat mengetahui pengaruh rpm motor BLDC terhadap nilai arus.
2. Dapat mengetahui pengaruh nilai pembebanan terhadap torsi motor BLDC.
3. Dapat mengetahui performa dari motor BLDC dengan variasi pembebanan terhadap efisiensi motor BLDC.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Motor Listrik

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan sebagai 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 beberapa jenis motor, diantaranya yaitu :

##### 1. Motor AC

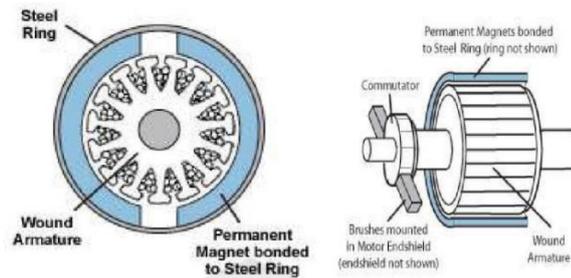
Motor arus bolak – balik menggunakan arus listrik yang membalikan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian dasar listrik : “*stator*” dan “*rotor*”. *Stator* merupakan komponen listrik statis. *Rotor* merupakan komponen listrik yang berputar.

##### 2. Motor DC

Motor arus searah (*Direct Current*), menggunakan arus langsung yang tidak langsung atau *direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas. Secara umum motor DC dibagi atas dua macam, yaitu :

##### 1) *Brushed* Motor

Motor DC dengan sikat yang berfungsi sebagai pengaruh arus pada kumparan, sehingga arah putaran motor akan selalu sama.

Gambar 2.1 Konstruksi Motor *Brushed* DC

(Sumber : Iqbal Hardiansyah Putra,2019)

2) *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. Apabila dibandingkan dengan motor DC jenis lainnya, BLDC memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan kecepatan yang lebih tinggi akibat tidak menggunakan sikat (*brush*). Kemudian apabila dibandingkan dengan motor induksi, BLDC memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena *rotor* dan torsi awal yang lebih besar, 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, yaitu *rotor* bagian yang bergerak dan terbuat dari permanen magnet kemudian *stator* bagian yang tidak bergerak dan 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 untuk menciptakan medan magnet putar dari *stator* untuk menarik magnet *rotor*. Dengan 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* atau *encoder*. Pada sensor *hall*, untuk *timing* komutasi ditentukan dengan cara mendeteksi medan magnet pada *rotor* dengan menggunakan 3 buah sensor *hall* untuk mendapatkan 6 kombinasi *timing* yang berbeda, sedangkan pada *encoder*, untuk *timing* ditentukan dengan cara menghitung jumlah *pole* (kutub) yang ada pada *encoder*.

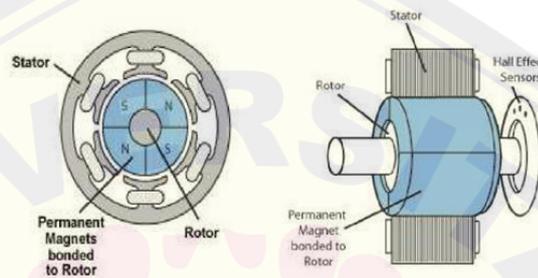
Pada umumnya *encoder* lebih banyak digunakan pada motor BLDC komersial karena *encoder* mampu menentukan *timing* komutasi yang lebih presisi dibandingkan dengan menggunakan sensor *hall*. Hal ini terjadi karena pada *encoder*, untuk kode komutasi telah ditetapkan secara *fixed* berdasarkan oleh banyaknya *pole* dari motor dan kode inilah yang digunakan untuk menentukan *timing* komutasi. Namun karena kode komutasi *encoder* ditetapkan secara *fixed* berdasarkan banyaknya *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, tetapi terdapat kelemahan dari sensor *hall* tersebut adalah ketika posisi sensor *hall* tidak tepat akan terjadi kesalahan dalam penentuan *timing* komutasi atau bahkan tidak didapatkan 6 kombinasi *timing* yang berbeda.

Beberapa kelebihan *Brushless* DC motor dibandingkan dengan motor DC sebagai berikut :

- 1) Lebih tahan lama, karena tidak memerlukan perawatan terhadap sikat (*brush*).
- 2) Memiliki tingkat efisiensi 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, 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* DC dengan Sensor *Hall* Sumber

(Sumber : Iqbal Hardiansyah Putra,2019)

## 2.2 Prinsip Kerja Motor BLDC

Motor *Brushless* DC Motor dapat bekerja ketika *stator* yang terbuat dari kumparan diberikan tegangan AC 3 fasa. Karena adanya arus yang melewati kumparan pada *stator* menimbulkan medan magnet ( $B$ ) yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{2 \cdot l} \quad (2.1)$$

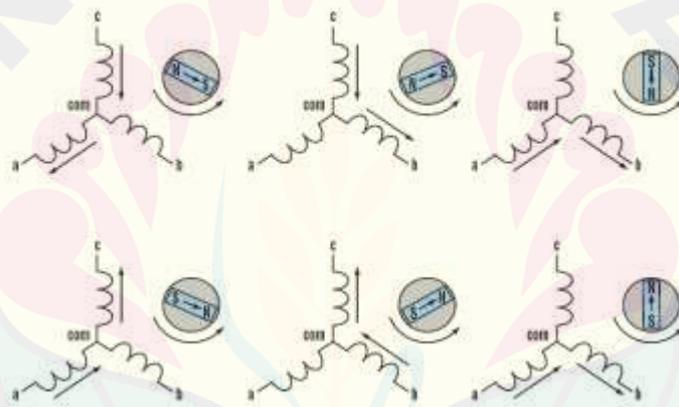
Dimana  $N$  merupakan jumlah lilitan,  $i$  merupakan arus,  $l$  merupakan panjang lilitan dan  $\mu$  merupakan permeabilitas bahan. Nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah – ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi tersebut dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terjadinya medan putar magnet dengan kecepatan  $N_s$

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (2.2)$$

Dimana  $f$  merupakan frekuensi tegangan masukan dinyatakan dalam Hz persatuan detik,  $p$  merupakan jumlah kutub (*pole*) pada *rotor* dan 120 didapat dalam 1 putaran ( $360^\circ$ ) per 3 fasa motor (Christian & Nugraha, 2013).

Motor BLDC berputar sebagai akibat dari interaksi magnet permanen pada *rotor* dengan medan magnet yang dihasilkan ketika tegangan DC terhubung pada satu kumparan *stator*. Untuk menjaga rotasi, orientasi dari medan magnet di *stator* harus diputar secara berurutan. Hal ini dilakukan dengan menghubungkan tegangan DC pada kumparan *stator* berikutnya agar *rotor* berputar (Mpc, 2016).

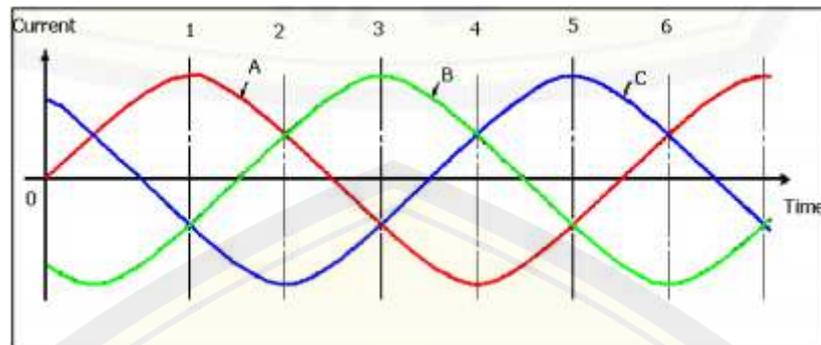
Pada gambar 2.3 berikut ditunjukkan bentuk arah putar *stator* dan *rotor* pada motor BLDC.



Gambar 2.3 *Six Step* Komutasi Motor BLDC

(Sumber : Rizky Akbar,2017)

Pada gambar 2.4 berikut ditunjukkan bentuk sinyal pada tegangan *stator* motor BLDC yang berupa sinyal 3 fasa.



Gambar 2.4 Tegangan *Stator* BLDC

(Sumber : Abdul Kharis Ismail,2019)

Ketika *stator* A diberikan tegangan negatif maka akan timbul medan magnet dengan polaritas negatif sedangkan B dan C yang diberikan tegangan positif akan memiliki polaritas positif. Akibat adanya perbedaan polaritas antara medan magnet kumparan *stator* dan magnet *rotor*, sisi positif medan magnet *rotor* akan berputar mendekati medan magnet *stator* A, sedangkan sisi negatifnya akan berputar mengikuti medan magnet *stator* B dan C. Akibat tegangan yang digunakan berupa tegangan AC *sinusoidal*, medan magnet *stator* A,B, dan C akan berubah – ubah polaritasnya dan besarnya mengikuti perubahan tegangan *sinusoidal* AC. Ketika A dan B memiliki medan magnet negatif akibat mendapatkan tegangan negatif dan C 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* C dan sebaliknya bagian positif akan berputar menuju medan magnet *stator* A dan B.

Selanjutnya ketika B memiliki medan magnet negatif, dan A serta C memiliki medan magnet positif, bagian positif magnet permanen akan berputar menuju B dan bagian negatif akan menuju A dari kumparan C. Karena tegangan AC *sinusoidal* yang digunakan berlangsung secara kontinyu, 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*. Hal inilah yang menyebabkan *rotor* pada BLDC dapat berputar (Dharmawan Abe, 2009)

### 2.3 Dinamo Generator

Dinamometer adalah suatu mesin yang digunakan untuk mengukur torsi (*torque*) dan daya (*power*) yang diproduksi oleh suatu mesin motor atau penggerak berputar lain. Selain itu dinamometer juga digunakan untuk mengkarakterisasi torsi motor sebagai fungsi kecepatan. Dinamometer ini juga biasanya digunakan sebagai instrumen elektro-mekanis dasar untuk pengembangan motor dan motor *drive*.



Gambar 2.5 Dinamometer Generator

(Sumber : Rizky Akbar,2017)

Konstruksi dinamometer ini dapat dikatakan memiliki konstruksi yang tidak terlalu rumit. Adanya generator merupakan komponen inti yang berfungsi sebagai pengkonversi energi listrik yang nantinya disalurkan terhadap beban listrik. Selain itu dinamometer ini memiliki transmisi sebagai penghubung daya dari sistem penggerak terhadap *rotor* generator. Semua komponen tersebut ditumpu pada sebuah *frame* sebagai dudukan dari komponen dinamometer serta sistem penggerak yang akan diujikan.

Prinsip kerja dari dinamometer ini sama halnya dengan dinamometer yang lainnya, hanya saja penyerapan daya menggunakan pembebanan listrik. Secara detailnya prinsip kerja dari dinamometer ini yaitu ketika sistem penggerak berputar, maka rotor pada generator akan berputar karena diteruskannya daya oleh transmisi.

Berputarnya *rotor* pada generator ini akan menghasilkan fluks yang menembus dinding – dinding dari magnet permanen. Akibat terbentuknya fluks akan adanya beda potensial yang akan mengalir terhadap gulungan kawat tembaga terhadap inti besi. Daya listrik ini kemudian disalurkan terhadap pembebebanan listrik yang besarnya yaitu :

$$P = V.I \quad (\text{Untuk generator 1 fasa}) \quad (2.3)$$

$$P = V.I. \cos\phi \quad (\text{Untuk generator 3 fasa}) \quad (2.4)$$

Keterangan :

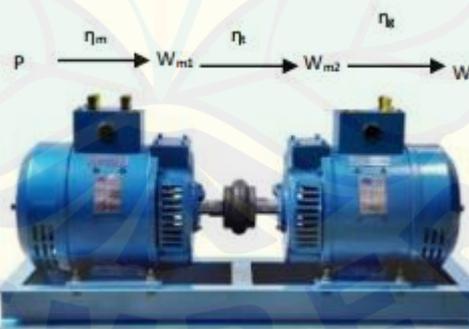
$P$  = Daya (Watt)

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus (Amper)

$\cos\phi$  = Sudut Fasa

Daya dari persamaan diatas merupakan daya yang dihasilkan oleh generator. Padahal dalam pengujian unjuk kerja suatu sistem penggerak terdapat beberapa hal yang ditinjau. Salah satunya yaitu daya keluaran sistem penggerak. Untuk dapat mengetahui daya keluaran dari sistem penggerak, diperlukanya data tambahan mengenai data generator yang digunakan dan juga sistem transmisi yang dipakai.



Gambar 2.6 Rangkaian Konfersian Energi pada Dinamometer Generator

(Sumber : Rizky Akbar,2017)

Dalam sistem dinamometer ini terdapat sistem pengkonfersian energi yang terjadi digenerator, sedangkan besarnya daya yag dapat diketahui hanyalah daya

masukan ( $P$ ) dan daya keluaran generator ( $W_L$ ). Sehingga diperlukan data mengenai efisiensi dari generator dan juga efisiensi dari sistem transmisi. Sehingga dapat mengetahui daya masukan motor dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_m = \frac{W_{m1}}{P} \quad (2.5)$$

Maka,

$$P_m = \frac{P}{\eta_m} \quad (2.6)$$

Keterangan :

$\eta_m$  = Efisiensi Motor

$W_{m1}$  = Daya Keluaran Motor

$P_m$  = Daya Masukan Motor

Kemudian efisiensi transmisi dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_t = \frac{W_{m2}}{W_{m1}} \quad (2.7)$$

Maka,

$$W_{m1} = \frac{W_{m2}}{\eta_t} \quad (2.8)$$

Keterangan :

$\eta_t$  = Efisiensi Transmisi

$W_{m1}$  = Daya Keluaran Motor

$W_{m2}$  = Daya Masukan Generator

Setelah diketahui efisiensi transmisi, selanjutnya efisiensi generator dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_g = \frac{W_L}{W_{m2}} \quad (2.9)$$

Maka,

$$W_{m2} = \frac{W_L}{\eta_g} \quad (2.10)$$

Keterangan :

$\eta g$  = Efisiensi Generator  
 $W_L$  = Daya Keluaran Generator

Dengan menggabungkan persamaan 2 dan 3, sehingga didapatkan nilai dari daya keluaran motor atau sistem penggerak lainnya sebagai berikut :

$$W_{m_1} = \frac{W_L}{\eta t} \quad (2.11)$$

Maka,

$$W_{m_1} = \frac{W_L}{\eta g \cdot \eta t} \quad (2.12)$$

Pada dasarnya dalam pengujian dengan menggunakan dynamometer ada beberapa parameter kerja lainnya yang merupakan tinjauan dari baik serta buruknya performa dari sistem penggerak. Sehingga diperlukan analisis dari data yang telah didapatkan.

Daya keluaran dari sistem penggerak merupakan daya mekanis yang berotasi. Sehingga daya mekanis ini dapat didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari banyaknya putaran yang terbentuk dengan besarnya momen yang ditimbulkan, sehingga berlaku persamaan sebagai berikut :

$$W_{ml} = \omega \cdot \tau \quad (2.13)$$

Nilai torsi diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\tau = \frac{W_{m_1}}{\omega} \quad (2.14)$$

Keterangan :

$\omega$  = Kecepatan Angular (rad/s)

$\tau$  = Torsi (Nm)

$W_{ml}$  = Daya Keluaran (Watt)

#### 2.4 Daya

Daya merupakan jumlah energi yang dihabiskan per satuan waktu. Dalam sistem SI, satuan daya adalah joule per detik (J/s), atau Watt. Persamaan daya elektrik seperti pada persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$P = V \cdot I$$

Keterangan :

$P$  = Daya (Watt)

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus (Amper)

Daya dalam sistem mekanik adalah kombinasi gaya dan perpindahan. Pada poros berputar daya ini juga dapat diartikan sebagai besarnya momen putar dengan kecepatan sudut tertentu, sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$W = \omega \cdot \tau \quad (2.15)$$

Keterangan :

$W$  = Daya (Watt)

$\omega$  = Kecepatan Angular (rad/s)

$\tau$  = Torsi atau momen putar (Nm)

## 2.5 Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja yaitu menggerakkan atau memindahkan mobil atau motor dari kondisi diam hingga berjalan. Untuk itu torsi berkaitan dengan akselerasi dan putaran bawah mesin.

Adapun perumusan torsi adalah sebagai berikut, piston bergerak menghasilkan gaya  $F$  yang memutar engkol dimana panjang sebesar  $b$ , sehingga torsi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\tau = F \cdot b \quad (2.16)$$

Keterangan :

$\tau$  = Torsi benda berputar (Nm)

$F$  = Gaya radial dari benda berputar (N)

$b$  = Jari – jari engkol (m)

## 2.6 Kecepatan Angular

Kecepatan angular merupakan kecepatan dari suatu benda yang bergerak melingkar karena adanya gaya sentrifugal dengan selang waktu tertentu. Kecepatan

angular ini biasa disebut dengan kecepatan sudut, besaran kecepatan sudut dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad (2.17)$$

Keterangan :

$\omega$  = Kecepatan Angular (rad/s)

$\theta$  = Banyaknya putaran

$t$  = Waktu yang ditempuh dalam satu putaran (s)

## 2.7 Efisiensi

Suatu mesin konversi energi tidak mungkin mengubah energi yang diterimanya menjadi energi yang diharapkan. Sebagian energi akan diubah menjadi energi yang tidak diharapkan atau biasa disebut *losses*. Proses tersebut merupakan sifat alami sehingga dikemukakan konsep efisiensi.

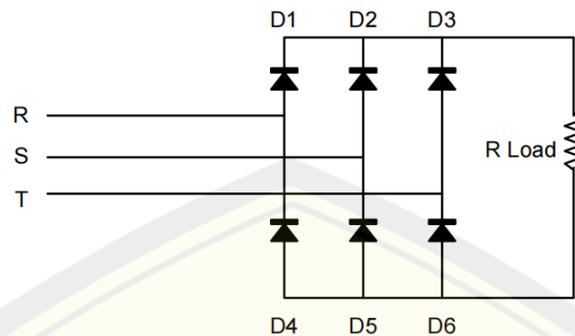
Apabila energi yang diterima oleh alat pengubah energi disebut masukan (*input*) dan energi yang diubah ke bentuk yang diharapkan disebut keluaran (*output*). Efisiensi didefinisikan sebagai hasil bagi keluaran dan masukan dikali seratus persen dan secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \cdot 100\% \quad (2.18)$$

## 2.8 Rangkaian Penyearah

Rangkaian penyearah gelombang penuh adalah rangkaian penyearah yang menggunakan empat buah dioda, penyearah ini mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Pada sistem penyearah ini bekerja secara menyeluruh yang menyearahkan semua siklus gelombang sinus. Jadi pada dioda satu dan dua bekerja pada siklus positif dan untuk dioda ketiga dan keempat bekerja pada siklus negatif. Sehingga pada rangkaian ini tidak membutuhkan *Transformator Center Tap* (CT). Tegangan DC dengan riak (*ripple*) lebih sedikit ketika menggunakan rangkaian penyearah gelombang penuh dari pada rangkaian penyearah setengah gelombang. Karena ada penggabungan siklus sinyal positif dan negatif yang telah dibalik

menjadi siklus positif sehingga gelombang yang dihasilkan lebih rapat (Dwinata, 2017).



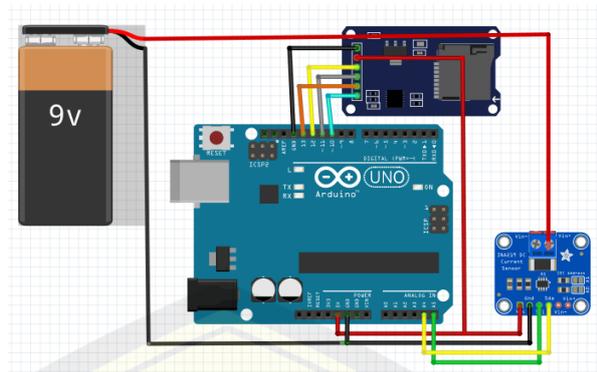
Gambar 2.7 Rangkaian Penyearah Gelombang 3 Fasa

(Sumber : <https://docplayer.info/33955336-Penyearah-tegangan-3-fasa.html>)

Pada penelitian ini rangkaian penyearah berfungsi untuk menyearahkan tegangan AC 3 Fasa menjadi DC yang akan dipasang setelah keluaran generator dan akan digunakan sebagai catu daya yang terhubung pada beban lampu. Pada rangkaian penyearah memiliki prinsip kerja yaitu dengan menggunakan 6 dioda yang disusun secara seri dan paralel, fungsi dioda ialah untuk menyearahkan tegangan AC 3 fasa menjadi DC. Penelitian ini menggunakan beban lampu 90, 130, dan 160 watt, yang mendapatkan tegangan dari generator dan disearahkan dengan rangkaian penyearah sesuai dengan gambar 2.7 gambar rangkaian penyearah 3 gelombang fasa.

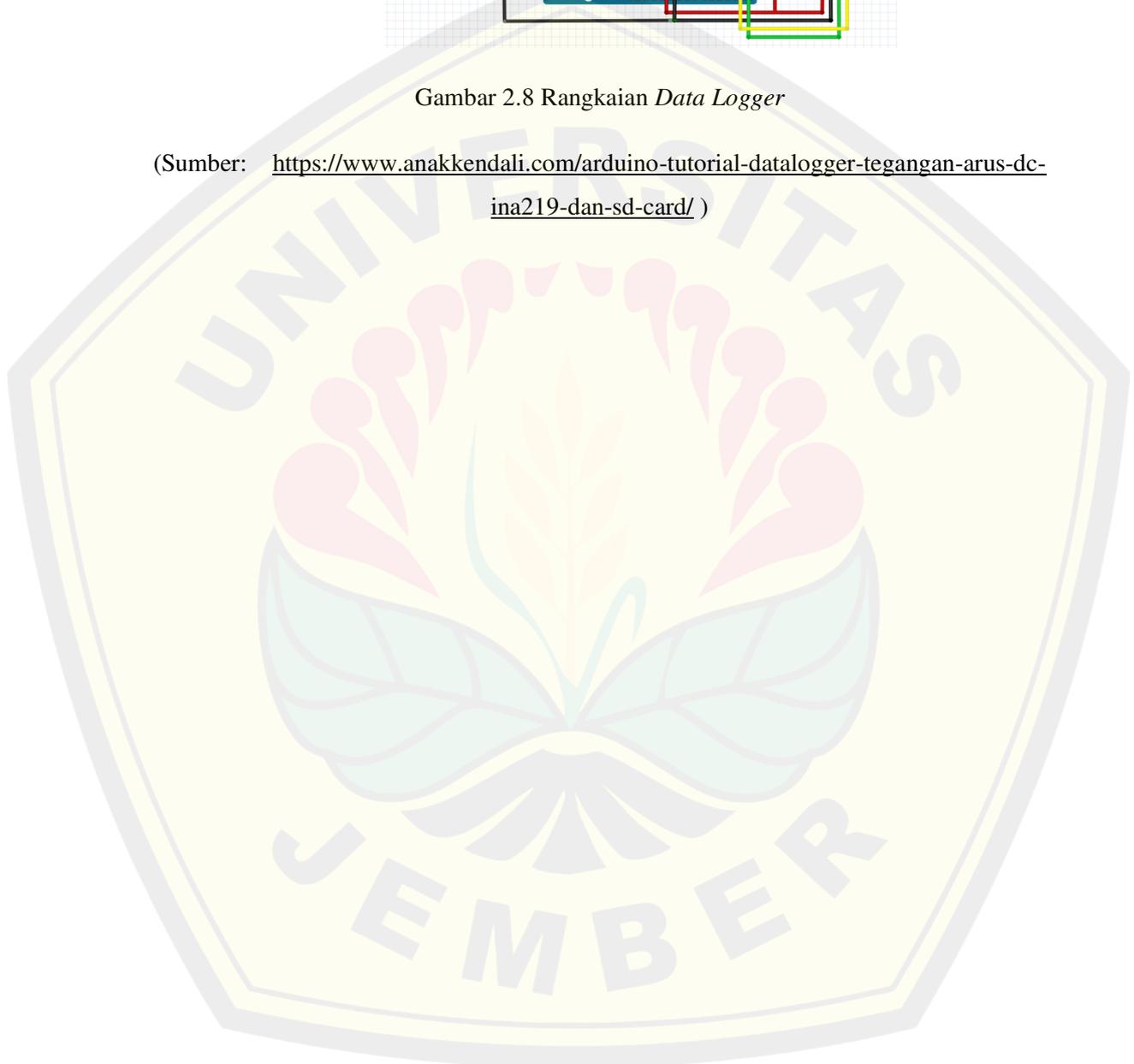
## 2.9 Data logger

Data logger adalah sebuah alat digital atau elektronik yang mencatat data dari waktu ke waktu. Atau secara singkat data logger adalah alat untuk melakukan data logging. Secara fisik alat data logger berukuran kecil dan perangkat ini dilengkapi dengan mikroprosesor dan memori internal yang digunakan untuk mencatat dan merekam data dan sensor.



Gambar 2.8 Rangkaian *Data Logger*

(Sumber: <https://www.anakkendali.com/arduino-tutorial-datalogger-tegangan-arus-dc-ina219-dan-sd-card/>)



**BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian “Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Motor *Brushless* Dc Dengan Menggunakan *Dynamometer* Generator ” yang dilaksanakan pada:

Tempat : Sekretariat Tim Mobil Listrik TITEN Fakultas Teknik, Universitas Jember

Alamat : Jl. Veteran No.3, Kecamatan Patrang, Kabupaten Jember

Waktu : Mei 2022 – Agustus 2022

**3.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian**

Waktu penelitian ini dimulai pada bulan Mei 2022 – Agustus 2022, dengan rincian jadwal pelaksanaan penelitian sebagai berikut:

Tabel 3.1 Rencana Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Jenis Kegiatan	Bulan Ke-1				Bulan Ke-2				Bulan Ke-3				Bulan Ke-4			
	Minggu				Minggu				Minggu				Minggu			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Desain dan Pembuatan Alat																
Pengujian Alat																
Pengambilan Data																
Analisis Data																
Penulisan Laporan																

Keterangan:

 : Kegiatan dilaksanakan

### 3.3 Alat dan Bahan

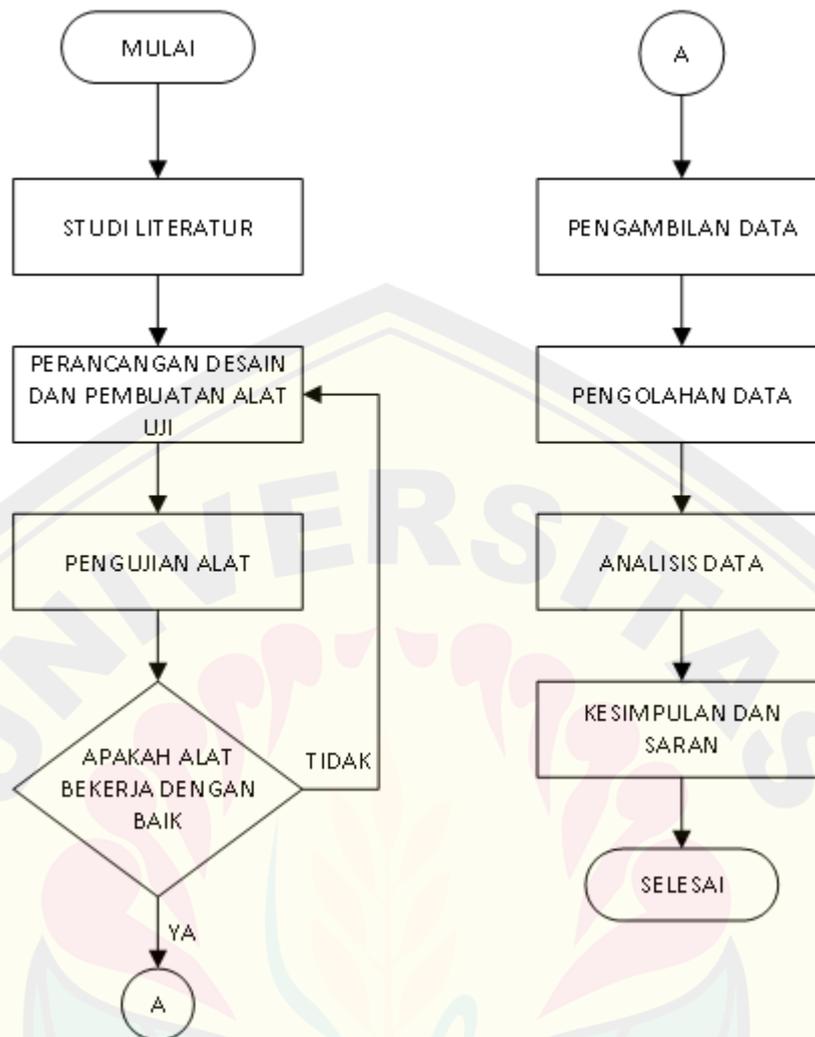
Dalam menunjang penelitian ini tentunya membutuhkan beberapa alat dan bahan, sehingga penelitian ini dapat bekerja dengan baik.

Adapun peralatan yang digunakan dalam mendukung penelitian ini antara lain:

1. Laptop/*Personal Computer* (PC)
2. Alat Ukur (Multimeter Analog/Digital, Tachometer, dan Wattmeter)
3. Alat Kerja (Gerinda, Bor, Solder, Alat Potong, Tang, Obeng, Cutter, Solasi, dan Kabel)
4. Motor BLDC 220 Watt
5. Motor BLDC 250 Watt
6. Motor BLDC 1000 Watt
7. Kontrol Motor BLDC
8. Baterai 36 Volt
9. Baterai 48 Volt
10. Dinamometer Generator ( Motor BLDC)
11. Transmisi (Rantai, dan Gear)
12. Rectifier
13. Data Logger
14. Lampu 30 watt, 60 watt, dan 100 watt

### 3.4 Tahapan Penelitian

Adapun dalam melakukan kegiatan penelitian ini terdapat beberapa tahapan-tahapan penelitian secara keseluruhan yang digunakan sebagai kerangka dalam penyelesaian masalah yang sebagaimana terlihat pada diagram alir berikut:



Gambar 3.1 *Flowchart* Tahap Penelitian

(Sumber: Data Pribadi, 2022)

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian “Analisis Peningkatan Unjuk Kerja Mobil Listrik Urban Konsep dengan Penggerak Motor BLDC” ini membutuhkan beberapa langkah penelitian. Tahapan kegiatan penelitian di lakukan antara lain:

1. Studi Literatur

Tahap pertama dalam pelaksanaan penelitian ini adalah dengan mencari berbagai macam literatur yang dinilai relevan dengan topik penelitian. Literatur diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya yang berupa buku, jurnal, e-book dan

media pembelajaran lainnya. Adapun yang menjadi fokus studi literatur adalah karakteristik unjuk kerja motor BLDC dengan pembebanan.

## 2. Perancangan Alat

Tahap kedua yaitu dengan melakukan proses perancangan terhadap alat yang digunakan pada penelitian. Setelah konsep alat diperoleh berdasarkan data dari sumber literatur maka dilakukan perancangan dan desain alat sehingga didapatkan bentuk dan desain alat yang efisien. Sehingga diharapkan dapat memaksimalkan kinerja dari motor BLDC tersebut dalam uji pembebanan.

## 3. Pembuatan Alat

Dilakukannya perancangan sistem alat, rancangan optimalisasi alat, dan meminimalisir kerusakan alat dan *error* pada alat. Mempertimbangkan pula apabila jarak antara motor BLDC dengan generator yang terlalu jauh atau terlalu dekat akan mempengaruhi hasil keluaran dari generator. Rancangan alat ditargetkan dapat bekerja dengan maksimal.

## 4. Pengambilan Data dan Analisa

Pada tahap ini, yaitu melakukan pengambilan data. Kemudian dilanjutkan dengan menganalisa data yang sudah diperoleh. Analisa data difokuskan pada hasil arus, torsi, dan daya keluaran generator.

## 5. Penyusunan Laporan

Tahap akhir dari proses penelitian yaitu menyusun analisa data yang sudah dilakukan kedalam bentuk laporan. Dari data yang sudah diperoleh maka selanjutnya dapat menarik kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

### 3.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2014). Berkaitan dengan penelitian ini, variabel yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini terdapat pada beban lampu dan daya motor BLDC, hal tersebut dilakukan untuk dapat menghasilkan variasi output dalam variabel terikat.

## 2. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini terdapat pada hasil arus, torsi dan daya dari masing-masing percobaan yang dilakukan dimana hal tersebut dapat memenuhi aspek dari variabel yaitu hasil akibat.

## 3. Variabel Terkontrol

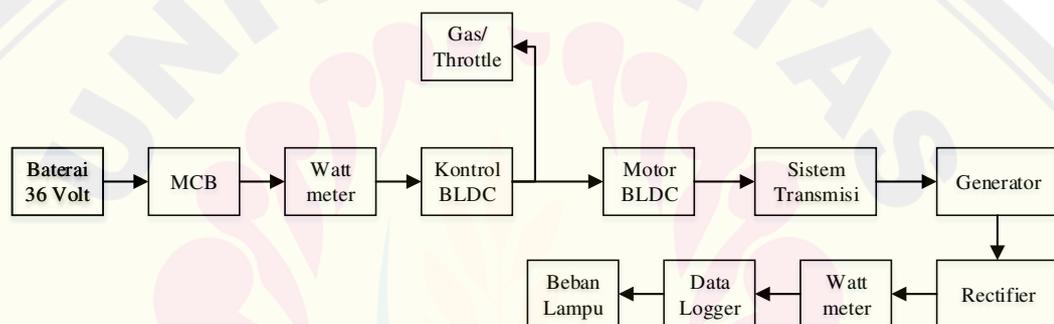
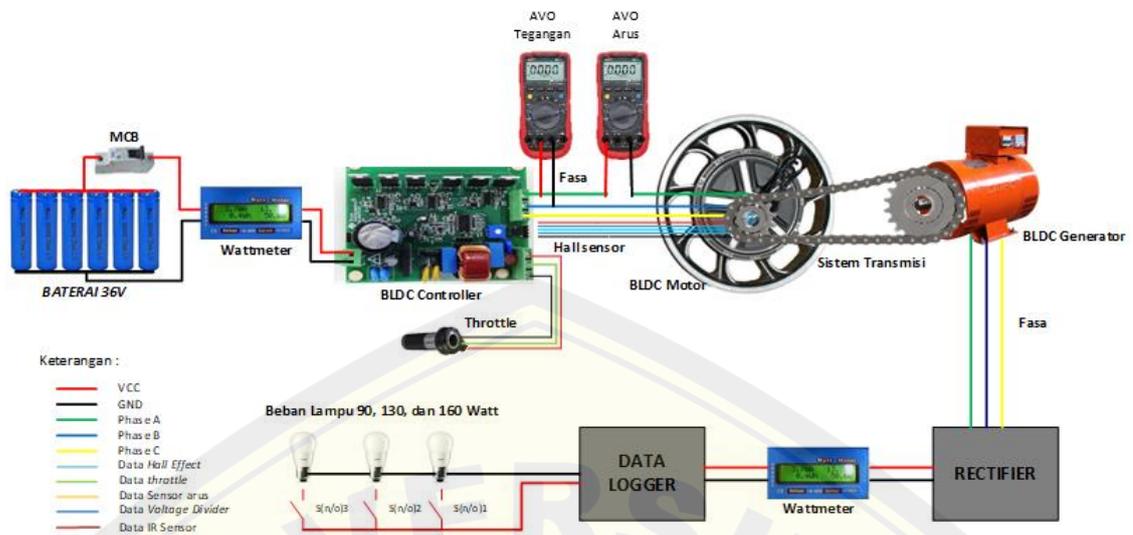
Variabel terkontrol merupakan variabel yang dapat dikontrol sehingga menghasilkan data konstan pada variabel bebas dan terikat sehingga tidak dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor diluar penelitian. Variabel terkontrol pada penelitian ini yaitu kecepatan putar, jenis, dan tipe motor.

### 3.6 Perancangan Alat

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan alat uji motor BLDC yang memiliki prinsip kerja yaitu menghubungkan antara motor BLDC dan generator untuk mengetahui performa dari motor BLDC dengan membandingkan 3 motor BLDC yang berbeda besaran nominal daya sehingga dapat menentukan kekurangan dan kelebihan dari setiap motor BLDC. Selain itu untuk mengetahui karakteristik dari motor BLDC, sehingga didapatkan besaran nominal daya dari motor BLDC yang optimal untuk digunakan pada mobil listrik urban konsep. Pengujian motor ini untuk mendapatkan karakteristik arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan generator dengan menggunakan alat ukur wattmeter yang dihubungkan langsung dengan beban. Data yang akan diambil menggunakan beberapa parameter dan selanjutnya akan dianalisa dari hasil tersebut.

#### 3.6.1 Blok Diagram Sistem Keseluruhan

Berikut merupakan diagram blok sistem penelitian.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem

(Sumber: Data Pribadi, 2022)

Pada gambar diagram blok sistem dapat dilihat bahwa baterai 36 volt sebagai sumber utama dalam menggerakkan motor BLDC dimana untuk sistem pengamanannya menggunakan MCB. Kemudian tegangan dan arus yang mengalir pada rangkaian diukur menggunakan wattmeter lalu untuk mengatur kecepatan putaran motor BLDC menggunakan *throttle*. Pada motor BLDC dikontrol menggunakan kontrol motor BLDC dari pabrik, kemudian motor BLDC dihubungkan dengan generator menggunakan transmisi yang mana keluaran generator akan disalurkan menggunakan rectifier 3 fasa dan diukur dengan wattmeter. Voltage divider dan sensor arus digunakan sebagai *data logger* untuk menyimpan data yang telah tercatat pada wattmeter dan yang terakhir terhubung pada beban lampu dengan variasi beban lampu 90, 130, dan 160 watt.

### 3.6.2 Desain Alat

Pada penelitian ini pendesaianan alat sangatlah diperlukan sebagai landasan dalam perencanaan pembuatan alat. Pendesaianan ini berbentuk gambar dengan 3 dimensi. Berikut merupakan desain alat yang akan digunakan untuk pengujian unjuk kerja motor BLDC :



**Isometri**

**Tampak Samping**

Gambar 3.3 Desain Alat Uji Motor BLDC

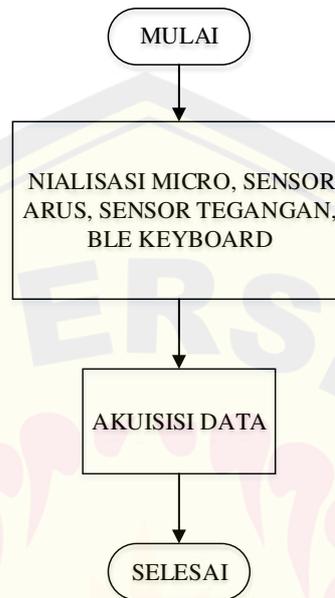
(Sumber: Data Pribadi,2022)

Pada gambar 3.3 dapat dilihat bahwasannya terdapat motor uji yang dihubungkan melalui transmisi dengan sebuah generator. Ketika motor berputar maka generator akan ikut berputar, sehingga generator menghasilkan daya listrik yang nantinya akan menjadi parameter dan dapat digunakan untuk mengetahui nilai arus, tegangan, dan daya keluaran motor sebagai parameter untuk menghitung nilai efisiensi motor.

### 3.6.3 Sistem Akuisisi Data

Dalam melakukan pengujian motor BLDC diperlukan sistem yang digunakan untuk melakukan akuisisi data. Sistem terdiri dari sensor yang akan digunakan untuk membaca nilai *output* pada pengujian atau biasa dikenal dengan data *logger*. Sistem sensor ini dilakukan kalibrasi terlebih dahulu sebelum

digunakan sebagai piranti akuisisi data. Adapun flowchart dari sistem akuisisi data adalah sebagai berikut :



Gambar 3.4 *Flowchart* Sistem Akuisisi Data

(Data Pribadi, 2022)

Adapun beberapa sensor yang digunakan memiliki fungsi masing-masing diantaranya sebagai berikut :

1. Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor ACS712 sensor ini berfungsi sebagai deteksi arus pada suatu rangkaian akuisisi data dan memiliki range atau batasan maksimal arus yang dibaca, terdapat 3 pin pada sensor tersebut yaitu vcc, out, dan ground.

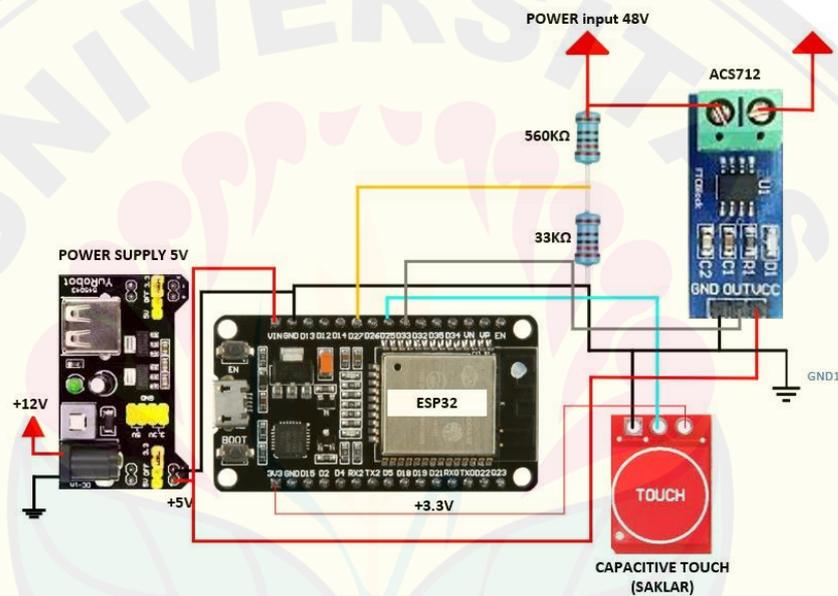
2. Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan pembagi tegangan dalam hal ini sensor tegangan merupakan dua resistor dengan prinsip pembagi tegangan. Pada mikrokontroler terdapat pin 5V sehingga tegangan yang masuk pada mikrokontroler harus sesuai atau kurang dari 5V.

### 3. ESP 32

ESP 32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh Espressif System dan merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Mikrokontroler ESP 32 sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi Internet Of Things.

Berikut merupakan rangkaian sistem akuisisi data yang digunakan dalam penelitian :



Gambar 3.5 Rangkaian Keseluruhan Sistem Akuisisi Data

(Data Pribadi,2022)

### 3.7 Spesifikasi Motor BLDC

#### 3.7.1 Motor BLDC 220 Watt

1. Tipe : Motor *Brushless* DC (BLDC)
2. Tegangan Suplai : 48 volt
3. Daya : 220 watt
4. Rentang Kecepatan : 20-30 km/jam
5. Torsi : 20 - 30 Nm

- 6. Berat Motor : 5 Kg
- 7. Jumlah Fasa : 3 Fasa

#### 3.7.2 Motor BLDC 250 Watt

- 1. Tipe : Motor *Brushless* DC (BLDC)
- 2. Tegangan Suplai : 48 volt
- 3. Daya : 250 watt
- 4. Rentang Kecepatan : 20-30 km/jam
- 5. Torsi : 20-32 Nm
- 6. Berat Motor : 6 Kg
- 7. Jumlah Fasa : 3 Fasa

#### 3.7.3 Motor BLDC 1000 Watt

- 1. Tipe : Motor *Brushless* DC (BLDC)
- 2. Tegangan Suplai : 48 volt
- 3. Daya : 1000 watt
- 4. Rentang Kecepatan : 20-40 km/jam
- 5. Torsi : 20-40 Nm
- 6. Berat Motor : 7 Kg
- 7. Jumlah Fasa : 3 Fasa

#### 3.7.4 Driver Kontrol Motor BLDC

- 1. Nilai Tegangan : 36 volt
- 2. Nilai Arus : 31 A
- 3. Nilai Daya : 250 watt
- 4. Tipe Kontrol : *Brushless* motor
- 5. Nilai Tegangan Minimum : 33 volt
- 6. Sudut Fasa : 120 derajat
- 7. *Heat Dissipation* : *Natural Cooling*
- 8. Berat : 1 Kg

#### 3.7.5 Driver Kontrol Motor BLDC

- 1. Nilai Tegangan : 48volt

2. Nilai Arus : 31 A
3. Nilai Daya : 1000 watt
4. Tipe Kontrol : *Brushless* motor
5. Nilai Tegangan Minimum : 33 volt
6. Sudut Fasa : 120 derajat
7. *Heat Dissipation* : *Natural Cooling*
8. Berat : 1 Kg

#### 3.7.6 Motor BLDC Sebagai Generator

1. Tipe : Motor *Brushless* DC (BLDC)
2. Tegangan Suplai : 48 volt
3. Daya : 350 watt
4. Rentang Kecepatan : 25-35 km/jam
5. Torsi : 25 - 35 Nm
6. Berat Motor : 6 Kg
7. Jumlah Fasa : 3 Fasa
8. Efisiensi : 80%

### 3.8 Spesifikasi Sistem Transmisi

1. Jenis Transmisi : Rantai dan *Sprocket*
2. Efisiensi : 95%

### 3.9 Rumus Dasar Perhitungan Peforma Motor

#### 3.9.1 Perhitungan Daya Keluaran Motor (W)

Besarnya daya keluaran dapat diketahui dengan mengukur daya yang dikeluarkan oleh generator kemudain membagi dengan efisiensi transmisi dan generatornya karena daya yang dikeluarkan oleh motor akan lebih besar dari pada yang dihasilkan generator. Pada pengujian ini dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut :

$$W = \frac{V.I}{\eta t. \eta g} \quad (3.1)$$

Dimana :

- $W$  = Daya keluaran motor  
 $V$  = Tegangan keluaran generator  
 $I$  = Arus keluaran generator  
 $\eta_t$  = Efisiensi transmisi  
 $\eta_g$  = Efisiensi generator

### 3.9.2 Perhitungan Torsi Motor ( $\tau$ )

Besarnya torsi dapat diketahui dengan perbandingan antara daya keluaran motor dengan kecepatan angular yang dihasilkan motor. Pada pengujian ini dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut :

$$\tau = \frac{60.W}{2.\pi.n} \quad (3.2)$$

Dimana :

- $\tau$  = Torsi motor (Nm)  
 $\pi$  = Phi (22/7 atau 3,14)  
 $n$  = Nilai kecepatan (rpm)

### 3.9.3 Perhitungan Efisiensi Motor ( $\eta_m$ )

Efisiensi merupakan nilai dari perbandingan antara daya keluaran motor dengan daya yang masuk terhadap motor. Pada pengujian ini dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut :

$$\eta_m = \frac{W}{P} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dimana :

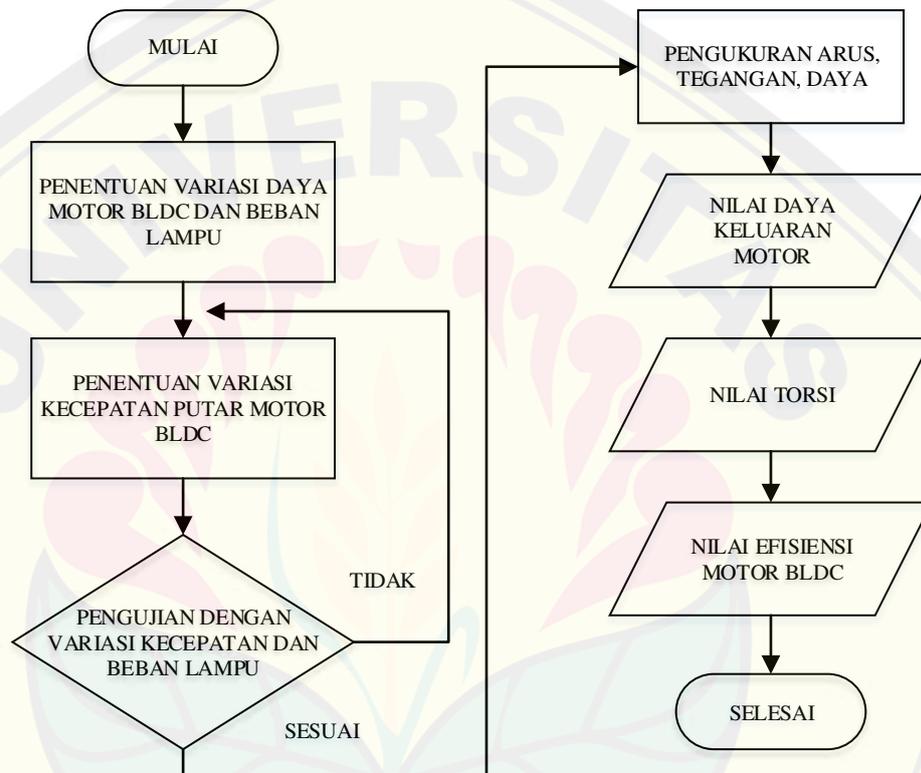
- $\eta_m$  = Efisiensi motor  
 $P$  = Daya masukan motor

### 3.10 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil data berupa tegangan, arus, daya, dan efisiensi. Waktu pengumpulan data dapat dilakukan pada pukul 10.00 WIB hingga 21.00 WIB. Pengujian dilakukan dalam tiga tahap yang berbeda. Pada

tahap pertama pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh rpm motor BLDC terhadap nilai arus. Kemudian pada tahap kedua pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi pembebanan lampu terhadap torsi motor BLDC. Pada tahap terakhir atau tahap ketiga pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi pembebanan lampu terhadap efisiensi motor BLDC.

### 3.11 Rencana Pengujian



Gambar 3.6 *Flowchart* Tahap Pengujian

(Data Pribadi, 2022)

Pengujian dilakukan dengan menetapkan daya nominal motor BLDC dan pembebanan lampu sebagai media pembebanan elektrik. Kemudian penentuan kecepatan putar motor BLDC, pengujian dilakukan dengan memutar motor BLDC sesuai variasi kecepatan putar motor yang telah ditetapkan. Proses pengujian dilakukan berulang beberapa kali sesuai variasi pembebanan lampu yang telah ditetapkan, kemudian dilakukan pengukuran arus, tegangan dengan menggunakan wattmeter serta pengukuran putar motor menggunakan perangkat tachometer.

Dalam suatu pengujian diperlukan suatu persiapan untuk mencegah adanya kerugian-kerugian baik pada produk maupun operator. Dalam pengujian unjuk kerja motor yang akan dilakukan terdapat beberapa hal yang perlu dilakukan yaitu :

1. Pemasangan *sprocket* pada motor uji dan poros generator
2. Kunci poros motor dan generator padaudukannya hingga rapat dengan menggunakan mur.
3. Pemasangan rantai yang menghubungkan motor uji dan poros generator serta atur posisi motor agar rantai lurus dan tidak terlalu tegang.
4. Cek tegangan baterai sudah memenuhi target atau belum ( $\pm 36$  volt).
5. Hubungkan kabel baterai dengan wattmeter dan pastikan kondisi kotak baterai dalam kondisi mati.
6. Hubungkan kabel keluaran wattmeter, *throttle*, dan motor terhadap kontrol dan pastikan tidak terbalik.
7. Hubungkan kabel dari generator terhadap rectifier.
8. Melakukan percobaan terhadap motor uji dan alat ukur berfungsi normal atau tidak.

#### 3.11.1 Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus

Pada pengujian pengaruh rpm terhadap arus tersebut memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui karakteristik arus terhadap variasi rpm motor BLDC. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data yaitu tanpa menggunakan pembebanan lampu dan menggunakan pembebanan lampu, pengujian tersebut dilakukan pada setiap variasi daya nominal motor BLDC. Pada pengujian ini akan diperoleh nilai daya keluaran generator dengan menggunakan rumus 2.3, dan keseluruhan data akan tersaji pada pembahasan. Perhitungan daya keluaran generator sebagai berikut :

$$P = V \cdot I$$

$$P = 4,23 \cdot 19,23$$

$$P = 81,72 \text{ Watt}$$

Adapun perolehan nilai daya keluaran motor BLDC dengan menggunakan rumus 3.1, dan keseluruhan data akan tersaji pada pembahasan. Perhitungan daya keluaran motor BLDC sebagai berikut :

$$W = \frac{V.I}{\eta t. \eta g}$$

$$W = \frac{4,23.19,32}{0,95.0,8}$$

$$W = \frac{81,72}{0,76}$$

$$W = 107,53 \text{ Watt}$$

### 3.11.2 Pengujian Pengaruh Pembebanan Terhadap Torsi Motor BLDC

Pada pengujian pengaruh pembebanan terhadap torsi motor BLDC tersebut memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui karakteristik torsi terhadap variasi pembebanan lampu. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data yaitu pada pembebanan lampu 90, 130, dan 160 watt, pengujian tersebut dilakukan pada setiap variasi daya nominal motor BLDC. Pada pengujian ini akan diperoleh nilai torsi dengan menggunakan persamaan 3.2, dan keseluruhan data akan tersaji pada pembahasan. Perhitungan torsi motor BLDC sebagai berikut :

$$\tau = \frac{60.W}{2.\pi.n}$$

$$\tau = \frac{60.107,53}{2,3,14.200}$$

$$\tau = 5,14 \text{ Nm}$$

### 3.11.3 Pengujian Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Motor BLDC

Pada pengujian pengaruh pembebanan terhadap efisiensi motor BLDC tersebut memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui karakteristik efisiensi terhadap variasi pembebanan lampu. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data yaitu pada pembebanan lampu 90, 130, dan 160 Watt, pengujian tersebut dilakukan pada setiap variasi daya nominal motor BLDC. Pada pengujian ini akan diperoleh nilai

efisiensi dengan menggunakan persamaan 3.3, dan keseluruhan data akan tersaji pada pembahasan. Perhitungan efisiensi motor BLDC sebagai berikut :

$$\eta = \frac{107,53}{155,5} \cdot 100\%$$

$$\eta = 0,6915 \cdot 100\%$$

$$\eta = 69,15 \%$$

### 3.12 Teknik Analisis Data

Dari data-data yang telah dikumpulkan, kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui korelasi dari beberapa variabel yang telah ditentukan dalam penelitian ini. Kemudian untuk melakukan analisis ditinjau dari data pada tiap variabel yang akan diperbandingkan.

#### 3.12.1 Analisis Pengaruh RPM Motor BLDC Terhadap Nilai Arus

Untuk membandingkan pengaruh rpm terhadap arus motor BLDC tanpa adanya beban lampu maupun dengan beban lampu, data-data yang telah didapatkan dari percobaan akan disajikan dalam bentuk tabel. Pembahasan yang akan dilakukan adalah mengenai perolehan nilai arus, daya masukan, dan daya keluaran. Pembahasan tersebut dilakukan pada setiap variasi daya nominal motor BLDC.

#### 3.12.2 Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Torsi Motor BLDC

Untuk membandingkan pengaruh pembebanan lampu terhadap nilai torsi motor BLDC, data-data yang telah didapatkan dari percobaan akan disajikan dalam bentuk tabel. Pembahasan yang akan dilakukan adalah mengenai perolehan nilai torsi dengan pembebanan lampu menggunakan persamaan 3.2. Pembahasan tersebut dilakukan pada setiap variasi daya nominal motor BLDC.

#### 3.12.3 Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Motor BLDC

Untuk membandingkan pengaruh pembebanan lampu terhadap efisiensi motor BLDC, data-data yang telah didapatkan dari percobaan akan disajikan dalam bentuk tabel. Pembahasan yang akan dilakukan adalah mengenai perolehan perhitungan nilai efisiensi motor dengan meninjau dari daya keluaran motor BLDC dan daya keluaran generator menggunakan persamaan 3.3. Pembahasan tersebut dilakukan pada setiap variasi daya nominal motor BLDC.

**BAB 4. PEMBAHASAN**

Untuk mengetahui unjuk kerja motor BLDC dengan menggunakan *dynamometer* generator perlu dilakukan beberapa pengujian yang akan dilakukan secara bertahap. Pegujian variasi motor BLDC 220 watt, 250 watt, dan 1000 watt tanpa adanya beban serta menggunakan variasi beban lampu 90 watt, 130 watt, dan 160 watt.

**4.1 Perencanaan Kebutuhan Daya**

Perencanaan kebutuhan daya kendaraan bertujuan untuk mengetahui minimum daya motor BLDC yang digunakan pada penelitian ini. Pada hal ini perlu melakukan perhitungan kebutuhan daya kendaraan dari segi mekanik. Nilai daya diperoleh dengan menggunakan persamaan 4.1.

$$P = Fr \times v \tag{4.1}$$

Dimana :

P = Daya motor (Watt)

Fr = Gaya hambatan total kendaraan (Kg)

v = Kecepatan rata-rata kendaraan (Km/jam)

Nilai gaya telah ditetapkan sesuai dengan tipe kendaraan dan selalu mengalami perubahan terhadap variasi kecepatan. Sehingga untuk mendapatkan nilai daya maksimal perlu melakukan perhitungan pada setiap variasi kecepatan, dengan maksimal kecepatan kendaraan sebesar 35 Km/h dan minimum kecepatan rata-rata kendaraan sebesar 23,76 Km/h yang dinyatakan pada Tabel 4.1 Pengaruh Variasi Kecepatan Terhadap Kebutuhan Daya.

Tabel 4.1 Pengaruh Variasi Kecepatan Terhadap Kebutuhan Daya

v	F	P
(m/s)	(N)	(Watt)
0	207,49	0

1	168,92	168,92
2	142,72	285,44
3	125,17	375,51
4	113,70	454,80
5	106,54	532,68
6	102,46	614,74
6,6	99,64	657,59

Jika ditinjau pada tabel 4.1, nilai daya yang perlu ditanggung oleh motor listrik apabila melaju dengan kecepatan rata-rata 6,6 m/s sebesar 657,59 Watt. Maka diperlukan motor BLDC yang mampu menghasilkan daya dengan rentang nilai sebesar 200 sampai 800 Watt. Berdasarkan hal tersebut penelitian dilakukan menggunakan motor BLDC dengan daya nominal sebesar 220, 250, dan 1000 Watt yang memiliki kecepatan maksimal diatas 400 rpm tanpa adanya pembebanan.

#### **4.2 Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC**

Percobaan dilakukan dengan menghubungkan motor BLDC terhadap dinamometer generator dan beban lampu. Kemudian motor BLDC yang telah dihubungkan terhadap beban akan diukur tegangan, arus, dan daya nya menggunakan wattmeter. Pengujian pengaruh rpm terhadap arus motor BLDC memiliki tujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik arus motor BLDC terhadap variasi rpm.

Proses pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan nilai rpm. Kemudian dilakukan pencatatan data setiap variasi nilai rpm untuk memudahkan dalam analisis data. Sehingga data yang didapatkan akan dibentuk dalam model grafik, data yang diambil pada pengujian tanpa beban adalah tegangan, arus, dan daya. Kemudian data yang diambil pada pengujian dengan beban adalah arus masukan, daya masukan, tegangan keluaran, dan arus keluaran.

#### 4.2.1 Pengujian Tanpa Beban

Pengujian tanpa beban pada pengaruh rpm terhadap arus motor BLDC bertujuan untuk mengetahui nilai rpm maksimal dari setiap motor BLDC yang dapat menghasilkan perolehan tegangan, arus, dan daya yang digunakan untuk menggerakkan motor BLDC pada setiap rpmnya.

Tabel 4.2 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 220 Watt Tanpa Pembebanan Lampu

RPM	$\omega$ (rad/m)	Tegangan Masukan (volt)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)
100	10.47	52.66	0.26	14.2
150	15.71	52.22	0.36	18.2
200	20.94	52.34	0.6	32.4
250	26.18	52.22	0.83	43.8
300	31.42	52.05	1	51.5
350	36.65	51.96	1.18	61.8
400	41.89	51.76	1.42	73.5
530	55.50	52.35	2	103.2

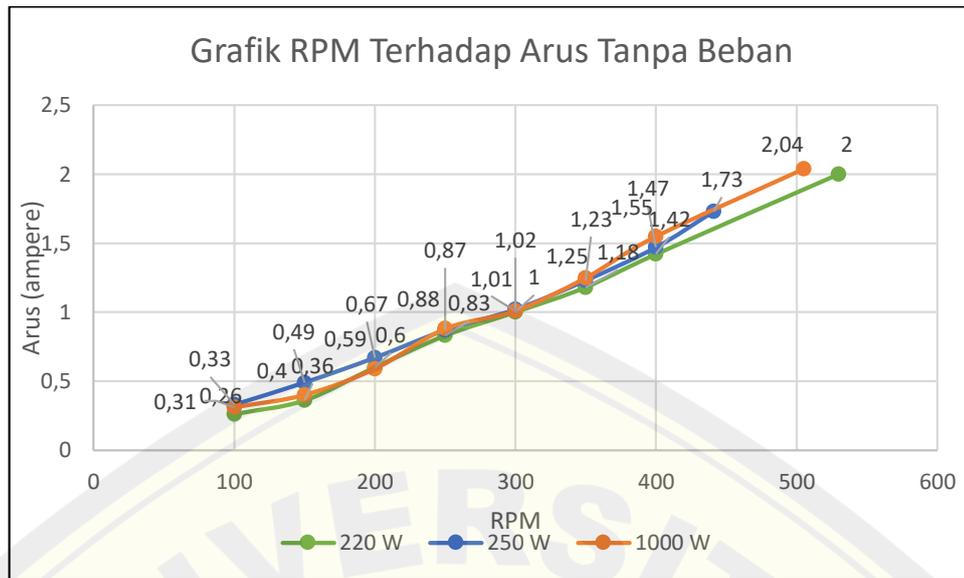
Tabel 4.3 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 250 Watt Tanpa Pembebanan Lampu

RPM	$\omega$ (rad/m)	Tegangan Masukan (volt)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)
100	10.47	52.82	0.33	17.4
150	15.71	52.6	0.49	24.7

200	20.94	52.5	0.67	34.1
250	26.18	52.32	0.87	44.4
300	31.42	52.17	1.02	54
350	36.65	52.03	1.23	66.5
400	41.89	51.84	1.47	76.6
441	46.18	51.68	1.73	86.3

Tabel 4.4 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 1000 Watt Tanpa Pembebanan Lampu

RPM	$\omega$ (rad/m)	Tegangan Masukan (volt)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)
100	10.47	51.15	0.31	15.3
150	15.71	51	0.4	22.4
200	20.94	50.93	0.59	33
250	26.18	50.77	0.88	43.4
300	31.42	50.64	1.01	50.6
350	36.65	50.49	1.25	63
400	41.89	50.29	1.55	73.4
505	52.88	50	2	100



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC Tanpa Pembebanan Lampu

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan parameter yang dapat menjelaskan karakteristik arus motor BLDC tanpa pembebanan. Arus yang dihasilkan oleh masing-masing motor BLDC selama pengambilan data ditunjukkan pada tabel 4.2 untuk motor 220 watt, tabel 4.3 untuk motor 250 watt, dan tabel 4.4 untuk motor 1000 watt.

Jika ditinjau dari grafik pada gambar 4.1 yang menggambarkan hubungan antara rpm terhadap arus pada setiap variasi motor BLDC, ditunjukkan bahwa nilai arus terendah pada motor 220W, 250W, dan 1000W saat rpm 100 berturut-urur sebesar 0,26 A, 0,33 A, dan 0,31 A. Kemudian nilai arus tertinggi pada motor BLDC 220W terjadi saat rpm 530 yaitu sebesar 2 A, Selanjutnya pada motor BLDC 250W terjadi pada saat rpm 441 yaitu sebesar 1,73 A dan yang terakhir pada motor BLDC 1000W terjadi saat rpm 505 yaitu sebesar 2 A.

#### 4.2.2 Pengujian Dengan Pembebanan Lampu

Pada pengujian sebelumnya, setiap motor BLDC memiliki nilai rpm tertinggi yang berbeda-beda oleh sebab itu perlu menentukan nilai batas untuk rpm tertinggi pada pengujian dengan pembebanan lampu yaitu sebesar 400 rpm.

Pengujian dengan beban lampu bertujuan untuk mengetahui karakteristik arus yang ditinjau dari perolehan arus masukan, daya masukan, dan daya keluaran. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban lampu 90 watt, 130 watt, dan 160 watt dengan metode pengujian yang sama pada setiap pembebanannya.

Tabel 4.5 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Tegangan Keluaran (volt)	Arus Keluaran (ampere)	Daya Keluaran P (watt)
100	10.47	0.28	14.6	9.97	0	0
150	15.71	0.4	21.9	15.3	0	0
200	20.94	3	155.5	19.32	4.23	81.72
250	26.18	3.18	160.4	21.96	3.92	86
300	31.42	3.22	161.9	26.77	3.21	85.93
350	36.65	3.36	169	33.7	2.5	84.25
400	41.89	3.55	177.9	38.85	2.17	84.30

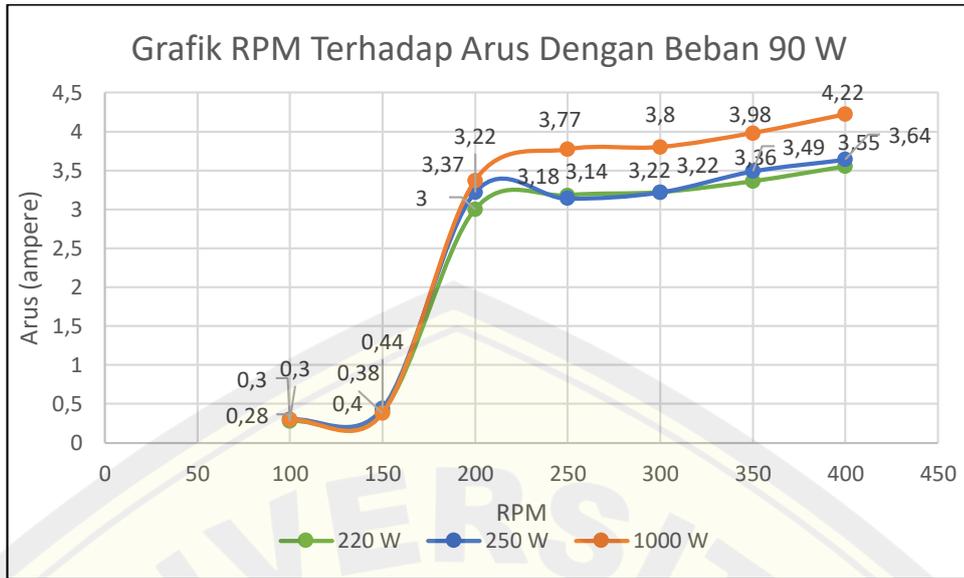
Tabel 4.6 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Tegangan Keluaran (volt)	Arus Keluaran (ampere)	Daya Keluaran P (watt)
100	10.47	0.3	15.7	12.24	0	0
150	15.71	0.44	21.9	17.57	0	0
200	20.94	3.22	163	18.89	4.26	80.47

250	26.18	3.14	160	25.65	3.33	85.41
300	31.42	3.22	161	31.81	2.77	88.11
350	36.65	3.49	170.3	39	2.17	84.63
400	41.89	3.64	184	44.63	2	89.26

Tabel 4.7 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Tegangan Keluaran (volt)	Arus Keluaran (ampere)	Daya Keluaran P (watt)
100	10.47	0.3	14.2	10.38	0	0
150	15.71	0.38	19.2	17.51	0	0
200	20.94	3.37	163.2	18.78	4.33	81.39
250	26.18	3.77	184.7	25.89	3.34	86.47
300	31.42	3.8	187.2	32.33	2.77	89.55
350	36.65	3.98	192.2	37.4	2.25	84.15
400	41.89	4.22	203.3	45.36	2.96	88.91



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 90 Watt

Dari pengujian yang pertama, didapatkan parameter yang dapat menjelaskan karakteristik arus dari motor BLDC dengan pembebanan lampu 90 watt. Arus yang dihasilkan oleh masing-masing motor BLDC selama pengambilan data ditunjukkan pada tabel 4.5 untuk motor 220 watt, tabel 4.6 untuk motor 250 watt, dan tabel 4.7 untuk motor 1000 watt.

Jika ditinjau dari grafik pada gambar 4.2 yang menggambarkan hubungan antara rpm terhadap arus pada setiap variasi motor BLDC, ditunjukkan bahwa nilai arus terendah pada motor 220W, 250W, dan 1000W saat rpm 100 berturut-urur sebesar 0,28 A, 0,3 A, dan 0,3 A. Kemudian nilai arus tertinggi pada motor 220W, 250W, dan 1000W terjadi saat rpm 400 berturut-urur sebesar 3,55 A, 3,64 A, dan 4,22 A.

Tabel 4.8 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Tegangan Keluaran (volt)	Arus Keluaran (ampere)	Daya Keluaran P (watt)
-----	---------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------	------------------------------	------------------------------

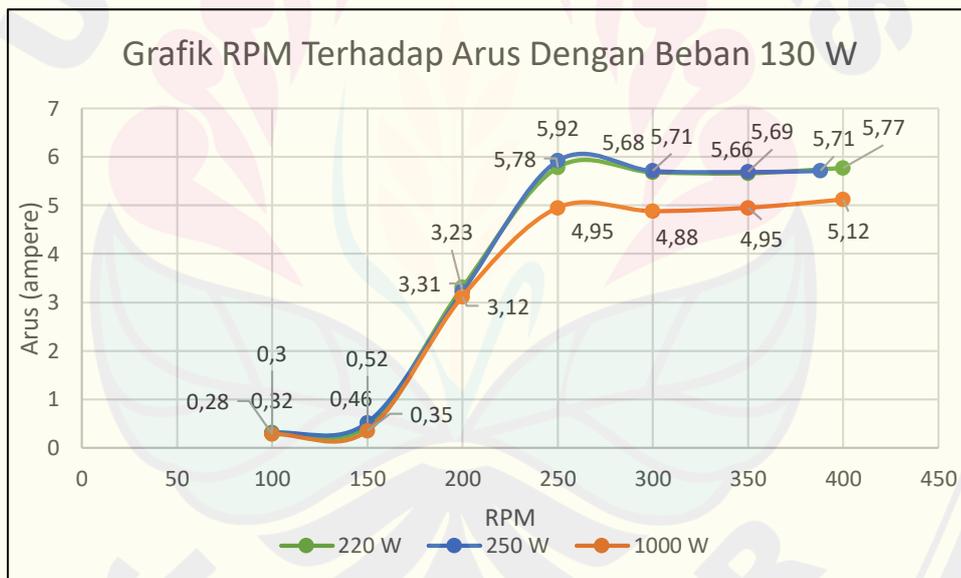
100	10.47	0.32	16.6	10.47	0	0
150	15.71	0.46	22.8	15.18	0	0
200	20.94	3.31	165.8	19.13	4.79	91.63
250	26.18	5.78	283	19.15	8.11	155.30
300	31.42	5.68	278	25.96	6.35	164.84
350	36.65	5.66	277.4	32.42	5	163.72
400	41.89	5.77	280	36.95	4.46	164.79

Tabel 4.9 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 250 Watt  
Pada Pembebanan Lampu 130 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Tegangan Keluaran (volt)	Arus Keluaran (ampere)	Daya Keluaran P (watt)
100	10.47	0.3	15.5	10.38	0	0
150	15.71	0.52	26.4	17.81	0	0
200	20.94	3.23	163.5	19.39	4.71	91.32
250	26.18	5.92	288.5	24.16	6.37	153.89
300	31.42	5.71	277	30.55	5.46	166.8
350	36.65	5.69	275	36.13	4.54	164
388	40.63	5.71	278	41.62	3.97	165.23

Tabel 4.10 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 1000  
Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Tegangan Keluaran (volt)	Arus Keluaran (ampere)	Daya Keluaran P (watt)
100	10.47	0.28	14	12.08	0	0
150	15.71	0.35	18.5	17.5	0	0
200	20.94	3.12	151.3	19.37	4.66	90.38
250	26.18	4.95	239.6	23.94	6.43	153.93
300	31.42	4.88	233	30.38	5.4	164.05
350	36.65	4.95	234.4	36.46	4.45	162.25
400	41.89	5.12	245.2	40.58	4.05	164.35



Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 130 Watt

Dari pengujian yang kedua , didapatkan parameter yang dapat menjelaskan karakteristik arus dari motor BLDC dengan pembebanan lampu 130 watt. Arus yang dihasilkan oleh masing-masing motor BLDC selama pengambilan data ditunjukkan pada tabel 4.8 untuk motor 220 watt, tabel 4.9 untuk motor 250 watt, dan tabel 4.10 untuk motor 1000 watt.

Jika ditinjau dari grafik pada gambar 4.3 yang menggambarkan hubungan antara rpm terhadap arus pada setiap variasi motor BLDC, ditunjukkan bahwa nilai arus terendah pada motor 220W, 250W, dan 1000W saat rpm 100 berturut-urut sebesar 0,32 A, 0,3 A, dan 0,28 A. Pada motor BLDC 220W dan 1000W nilai arus tertinggi sebesar 5,77 A dan 5,12 terjadi saat rpm 400. Kemudian pada motor BLDC 250W didapatkan nilai arus tertinggi sebesar 5,71 saat rpm 388.

Tabel 4.11 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Tegangan Keluaran (volt)	Arus Keluaran (ampere)	Daya Keluaran P (watt)
100	10.47	0.29	14.3	9.44	0	0
150	15.71	0.4	21.9	15.53	0	0
200	20.94	3.3	167.45	19.04	4.33	82.44
250	26.18	6.39	307	19.25	8.77	193.90
300	31.42	6.92	333.7	25.18	7.75	195.14
350	36.65	6.77	318.5	31.19	6.12	190.88
400	41.89	6.7	318	36.86	5.25	193.51

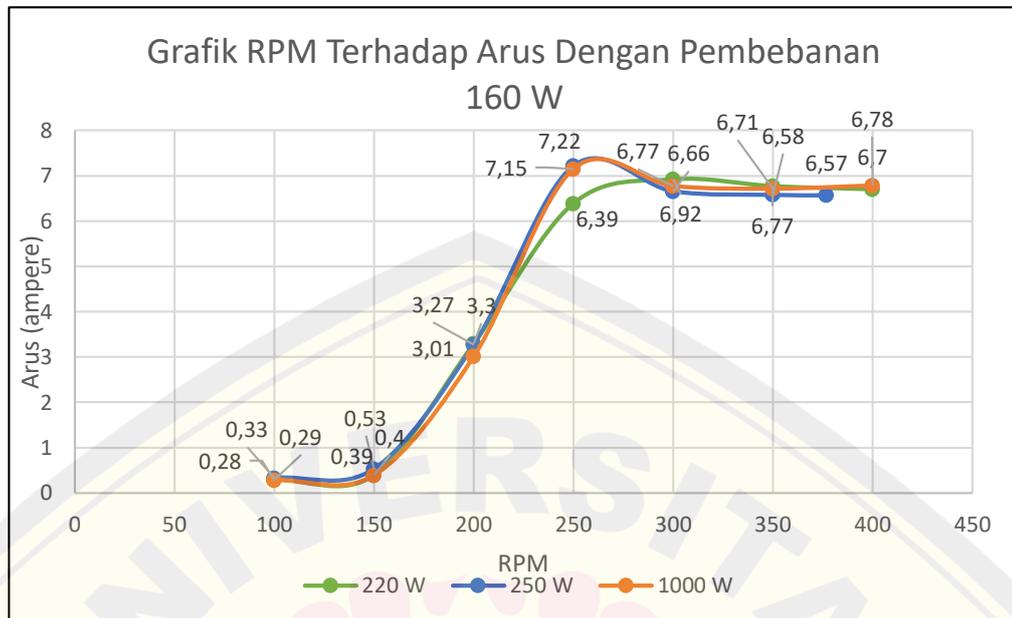
Tabel 4. 12 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Tegangan Keluaran (volt)	Arus Keluaran (ampere)	Daya Keluaran P (watt)
100	10.47	0.33	17.5	10.77	0	0
150	15.71	0.53	27.2	18.07	0	0

200	20.94	3.27	163.2	19.13	4.47	85.51
250	26.18	7.22	347.2	22.85	8.51	194.45
300	31.42	6.66	315.7	30.37	6.38	193.76
350	36.65	6.58	309	36.62	5.3	194
377	39.48	6.57	312.3	39.8	4.83	192.23

Tabel 4.13 Data Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Tegangan Keluaran (volt)	Arus Keluaran (ampere)	Daya Keluaran P (watt)
100	10.47	0.28	14.4	10.87	0	0
150	15.71	0.39	20.4	16.78	0	0
200	20.94	3.01	146.6	19.28	4.4	84.83
250	26.18	7.15	333.6	21.94	8.59	188.46
300	31.42	6.77	312.6	29.32	6.53	191.46
350	36.65	6.71	308.4	35.16	5.52	194.08
400	41.89	6.78	312.3	42.79	4.5	192.56



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 160 Watt

Dari pengujian yang ketiga, didapatkan parameter yang dapat menjelaskan karakteristik arus motor BLDC dengan pembebanan lampu 130 watt. Arus yang dihasilkan oleh masing-masing motor BLDC selama pengambilan data ditunjukkan pada tabel 4.11 untuk motor 220 watt, tabel 4.12 untuk motor 250 watt, dan tabel 4.13 untuk motor 1000 watt.

Jika ditinjau dari grafik pada gambar 4.4 yang menggambarkan hubungan antara rpm terhadap arus pada setiap variasi motor BLDC, ditunjukkan bahwa nilai arus terendah pada motor 220W, 250W, dan 1000W saat rpm 100 berturut-urut sebesar 0,29 A, 0,33 A, dan 0,28 A. Pada motor BLDC 220W dan 1000W nilai arus tertinggi sebesar 6,7 A dan 6,78 A saat rpm 400. Kemudian pada motor BLDC 250 W didapatkan nilai arus tertinggi sebesar 6,57 saat rpm 377. Berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa pembebanan lampu mempengaruhi arus masukan motor BLDC karena dengan bertambahnya nilai pembebanan maka akan semakin besar nilai arus seperti pada persamaan 3.5 serta dengan bertambahnya nilai pembebanan menyebabkan menurunnya nilai rpm pada motor BLDC seperti pada motor BLDC 250 W saat pembebanan 90 watt nilai rpm maksimal sebesar 400 rpm

namun ketika pembebanan lampu 130 dan 160 watt rpm motor BLDC 250 W tidak mampu mencapai 400 rpm.

#### 4.2.3 Daya Keluaran Motor BLDC

Daya keluaran motor BLDC diketahui dengan menggunakan perhitungan pada persamaan 3.1. Perhitungan daya keluaran motor BLDC bertujuan untuk mengetahui nilai daya keluaran motor BLDC yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui perolehan nilai torsi dan efisiensi dari masing-masing motor BLDC, perhitungan tersebut tersaji pada 3.11.1. Daya keluaran motor BLDC ditinjau dari perolehan arus keluaran, tegangan keluaran dan daya keluaran generator, perhitungan dilakukan pada pembebanan lampu 90 watt, 130 watt, dan 160 watt.

Tabel 4. 14 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Keluaran (ampere)	Tegangan Keluaran (volt)	Daya Keluaran W (watt)
100	10.47	0	9.97	0
150	15.71	0	15.3	0
200	20.94	4.23	19.32	107.53
250	26.18	3.92	21.96	113.26
300	31.42	3.21	26.77	113
350	36.65	2.5	33.7	110.85
400	41.89	2	43.26	113.84

Tabel 4. 15 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Keluaran (ampere)	Tegangan Keluaran (volt)	Daya Keluaran W (watt)
100	10.47	0	12.24	0
150	15.71	0	17.57	0
200	20.94	4.26	18.89	105.88
250	26.18	3.33	25.65	112.38
300	31.42	2.77	31.81	115.93
350	36.65	2.17	39	111.35
400	41.89	2	44.63	117.44

Tabel 4. 16 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Keluaran (ampere)	Tegangan Keluaran (volt)	Daya Keluaran W (watt)
100	10.47	0	10.38	0
150	15.71	0	17.51	0
200	20.94	4.6	18.78	113.66
250	26.18	3.34	25.89	113.77
300	31.42	2.77	32.33	117.83
350	36.65	2.25	37.4	110.72
400	41.89	1.96	45.36	116.98

Pada tabel 4.14 hingga 4.16 merupakan hasil dari perhitungan daya keluaran motor BLDC pada pembebanan 90 watt dengan perolehan perhitungan sebanyak tujuh data setiap jenis motor BLDC, dimana pada data perhitungan motor BLDC 220 watt dihasilkan nilai daya tertinggi sebesar 113,86 W pada 400 rpm. Pada data perhitungan selanjutnya yaitu motor BLDC 250 watt dihasilkan nilai daya tertinggi sebesar 117,44 pada 400 rpm, data perhitungan selanjutnya yaitu motor BLDC 1000 watt dihasilkan nilai daya tertinggi sebesar 117,83 pada 300 rpm.

Tabel 4.17 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Keluaran (ampere)	Tegangan Keluaran (volt)	Daya Keluaran W (watt)
100	10.47	0	10.47	0
150	15.71	0	15.18	0
200	20.94	4.79	19.13	120.57
250	26.18	8.11	19.15	204.35
300	31.42	6.35	25.96	216.9
350	36.65	5.05	32.42	215.42
400	41.89	4.46	36.95	216.84

Tabel 4.18 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Keluaran (ampere)	Tegangan Keluaran (volt)	Daya Keluaran W (watt)
100	10.47	0	10.38	0

150	15.71	0	17.81	0
200	20.94	4.71	19.39	120.17
250	26.18	6.37	24.16	202.5
300	31.42	5.46	30.55	219.48
350	36.65	4.54	36.13	215.83
388	40.63	3.97	41.62	217.41

Tabel 4.19 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Keluaran (ampere)	Tegangan Keluaran (volt)	Daya Keluaran W (watt)
100	10.47	0	12.08	0
150	15.71	0	17.5	0
200	20.94	4.44	19.37	113.16
250	26.18	6.43	23.94	202.55
300	31.42	5.44	30.38	217.46
350	36.65	4.51	36.46	216.36
400	41.89	4.11	40.58	219.45

Pada tabel 4.17 hingga 4.19 merupakan hasil dari perhitungan daya keluaran motor BLDC pada pembebanan 130 watt dengan perolehan perhitungan sebanyak tujuh data setiap jenis motor BLDC, dimana pada data perhitungan motor BLDC 220 watt dihasilkan nilai daya tertinggi sebesar 216,9 W pada 300 rpm. Pada data perhitungan selanjutnya yaitu motor BLDC 250 watt dihasilkan nilai daya tertinggi

sebesar 219,48 W pada 300 rpm, data perhitungan selanjutnya yaitu motor BLDC 1000 watt dihasilkan nilai daya tertinggi sebesar 219,45 W pada 400 rpm.

Tabel 4.20 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Keluaran (ampere)	Tegangan Keluaran (volt)	Daya Keluaran W (watt)
100	10.47	0	9.44	0
150	15.71	0	15.53	0
200	20.94	4.33	19.04	108.48
250	26.18	8.77	22.11	255.14
300	31.42	7.75	25.18	256.77
350	36.65	6.12	31.19	251.16
400	41.89	5.25	36.86	254.62

Tabel 4.21 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Keluaran (ampere)	Tegangan Keluaran (volt)	Daya Keluaran W (watt)
100	10.47	0	10.77	0
150	15.71	0	18.07	0
200	20.94	4.47	19.13	112.52
250	26.18	8.51	22.85	255.86
300	31.42	6.38	30.37	254.95

350	36.65	5.3	36.62	255.38
377	39.48	4.83	39.8	252.94

Tabel 4.22 Data Perhitungan Daya Keluaran Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Keluaran (ampere)	Tegangan Keluaran (volt)	Daya Kekuaran W (watt)
100	10.47	0	10.87	0
150	15.71	0	16.78	0
200	20.94	4.4	19.28	111.62
250	26.18	8.59	21.94	247.98
300	31.42	6.53	29.32	251.92
350	36.65	5.52	35.16	255.37
400	41.89	4.5	42.79	253.36

Pada tabel 4.20 hingga 4.22 merupakan hasil dari perhitungan daya keluaran motor BLDC pada pembebanan 160 watt dengan perolehan perhitungan sebanyak tujuh data setiap jenis motor BLDC, dimana pada data perhitungan motor BLDC 220 watt dihasilkan nilai daya tertinggi sebesar 256,77 W pada 300 rpm. Pada data perhitungan selanjutnya yaitu motor BLDC 250 watt dihasilkan nilai daya tertinggi sebesar 255,86 W pada 250 rpm, data perhitungan selanjutnya yaitu motor BLDC 1000 watt dihasilkan nilai daya tertinggi sebesar 255,37 W pada 350 rpm.

Pada hasil perhitungan daya keluaran semakin tinggi nilai rpm maka akan semakin besar juga nilai daya keluaran. Seperti pada perhitungan daya keluaran motor BLDC 220 watt saat pembebanan lampu 90 watt ketika rpm 200 dihasilkan

nilai daya keluaran sebesar 107,53 W sedangkan ketika rpm 400 dihasilkan daya keluaran sebesar 113,86 W. Berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa rpm mempengaruhi nilai daya keluaran motor BLDC karena dengan bertambahnya rpm maka nilai arus pada motor BLDC juga akan bertambah sesuai dengan persamaan 2.3.

#### 4.3 Analisis Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Torsi Motor BLDC

Pada pengujian pengaruh pembebanan lampu terhadap torsi motor BLDC memiliki tujuan untuk mengetahui perolehan nilai torsi motor BLDC dari masing-masing pembebanan lampu ditinjau dari daya keluaran motor BLDC. Perhitungan nilai torsi motor BLDC menggunakan rumus 3.2 dan tersaji pada 3.11.2.

Tabel 4.23 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt

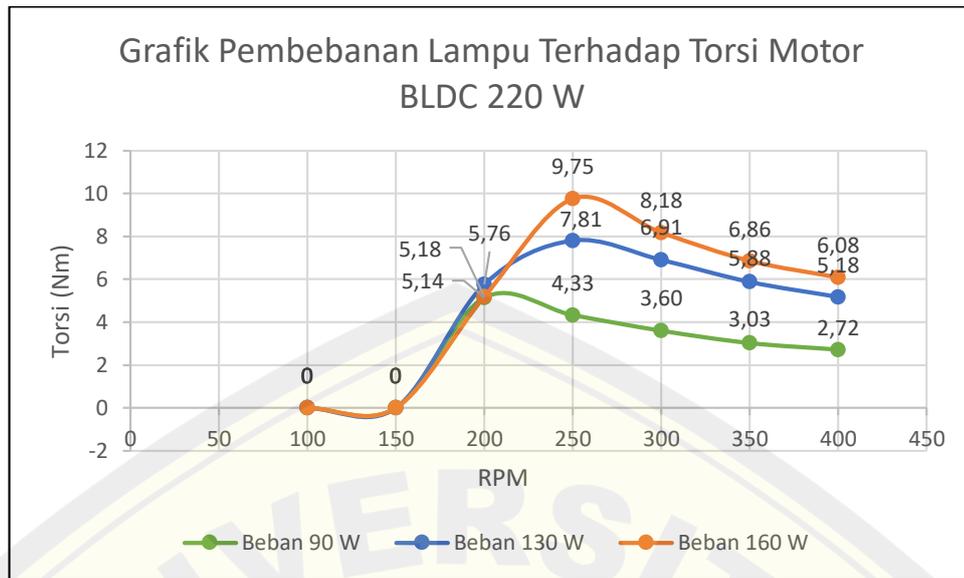
RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Torsi (Nm)
100	10.47	0.28	14.6	0	0
150	15.71	0.4	21.9	0	0
200	20.94	3	155.5	107.53	5.14
250	26.18	3.18	160.4	113.27	4.33
300	31.42	3.22	161.9	113.07	3.60
350	36.65	3.36	169	110.86	3.03
400	41.89	3.55	177.9	113.84	2.72

Tabel 4.24 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 130 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Torsi (Nm)
100	10.47	0.32	16.6	0	0
150	15.71	0.46	22.8	0	0
200	20.94	3.31	165.8	120.57	5.76
250	26.18	5.78	283	204.35	7.8
300	31.42	5.68	278	216.9	6.9
350	36.65	5.66	277.4	215.42	5.88
400	41.89	5.77	280	216.84	5.18

Tabel 4.25 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Torsi (Nm)
100	10.47	0.29	14.3	0	0
150	15.71	0.4	21.9	0	0
200	20.94	3.3	167.45	108.48	5.18
250	26.18	6.39	307	255.14	9.75
300	31.42	6.92	333.7	256.77	8.17
350	36.65	6.77	318.5	251.16	6.85
400	41.89	6.7	318	254.62	6



Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Torsi Motor BLDC 220 W

Dari hasil perhitungan torsi motor BLDC 220 W, didapatkan parameter yang dapat menjelaskan karakteristik torsi motor BLDC dengan pembebanan lampu. Torsi yang dihasilkan oleh masing-masing pembebanan lampu selama pengambilan data ditunjukkan pada tabel 4.23 saat pembebanan lampu 90 watt, tabel 4.24 saat pembebanan lampu 130 watt, dan tabel 4.25 saat pembebanan lampu 160 watt.

Pada tabel 4.23 merupakan hasil perhitungan torsi motor BLDC 220 W saat pembebanan lampu 90 watt, dengan perolehan perhitungan sebanyak tujuh data setiap variasi pembebanan lampunya, dihasilkan nilai torsi tertinggi sebesar 5,14 Nm saat 200 rpm. Selanjutnya pada tabel 4.24 saat pembebanan lampu 130 watt, dihasilkan nilai torsi tertinggi sebesar 7,8 Nm saat 250 rpm. Kemudian pada tabel 4.25 saat pembebanan lampu 160 watt, dihasilkan nilai torsi tertinggi sebesar 9,75 Nm saat 250 rpm.

Berdasarkan gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai torsi saat rpm 200 setiap pembebanan lampunya memiliki nilai yang sama, kemudian akan meningkat dengan torsi puncak saat rpm 250 selanjutnya nilai torsi akan menurun seiring dengan meningkatnya nilai rpm. Semakin besar nilai pembebanan lampu maka akan semakin besar nilai torsi puncak yang dihasilkan, karena daya yang digunakan untuk menggerakkan motor BLDC akan semakin besar.

Tabel 4.26 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 90  
Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Torsi (Nm)
100	10.47	0.3	15.7	0	0
150	15.71	0.44	21.9	0	0
200	20.94	3.22	163	105.88	5
250	26.18	3.14	160	112.39	4.29
300	31.42	3.22	161	115.94	3.69
350	36.65	3.49	170.3	111.36	3
400	41.89	3.64	184	117.45	2.8

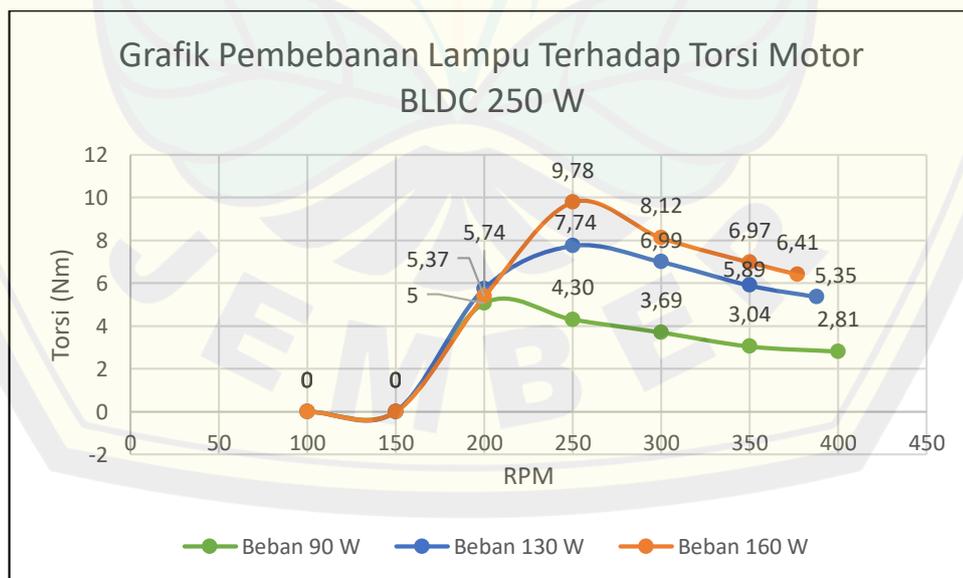
Tabel 4.27 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 130  
Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Torsi (Nm)
100	10.47	0.3	15.5	0	0
150	15.71	0.52	26.4	0	0
200	20.94	3.23	163.5	120.17	5.74
250	26.18	5.92	288.5	202.5	7.74
300	31.42	5.71	277	219.48	6.98
350	36.65	5.69	275	215.83	5.9

388	40.63	5.71	278	217.41	5.35
-----	-------	------	-----	--------	------

Tabel 4.28 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Torsi (Nm)
100	10.47	0.33	17.5	0	0
150	15.71	0.53	27.2	0	0
200	20.94	3.27	163.2	112.52	5.38
250	26.18	7.22	347.2	255.86	9.78
300	31.42	6.66	315.7	254.95	8.12
350	36.65	6.58	309	255.38	6.97
377	39.48	6.57	312.3	252.94	6.41



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Torsi Motor BLDC 250 W

Dari hasil perhitungan torsi motor BLDC 250 W, didapatkan parameter yang dapat menjelaskan karakteristik torsi motor BLDC dengan pembebanan lampu. Torsi yang dihasilkan oleh masing-masing pembebanan lampu selama pengambilan data ditunjukkan pada tabel 4.26 saat pembebanan lampu 90 watt, tabel 4.27 saat pembebanan lampu 130 watt, dan tabel 4.28 saat pembebanan lampu 160 watt.

Pada tabel 4.26 merupakan hasil perhitungan torsi motor BLDC 250 W saat pembebanan lampu 90 watt, dengan perolehan perhitungan sebanyak tujuh data setiap variasi pembebanan lampunya, dihasilkan nilai torsi tertinggi sebesar 5 Nm saat 200 rpm. Selanjutnya pada tabel 4.27 saat pembebanan lampu 130 watt, dihasilkan nilai torsi tertinggi sebesar 7,74 Nm saat 250 rpm. Kemudian pada tabel 4.28 saat pembebanan lampu 160 watt, dihasilkan nilai torsi tertinggi sebesar 9,78 Nm saat 250 rpm.

Berdasarkan gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai torsi saat rpm 200 setiap pembebanan lampunya memiliki nilai yang sama, kemudian akan meningkat dengan torsi puncak saat rpm 250 selanjutnya nilai torsi akan menurun seiring dengan meningkatnya nilai rpm. Semakin besar nilai pembebanan lampu maka akan semakin besar nilai torsi puncak yang dihasilkan, karena daya yang digunakan untuk menggerakkan motor BLDC akan semakin besar.

Tabel 4.29 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Torsi (Nm)
100	10.47	0.3	14.2	0	0
150	15.71	0.38	19.2	0	0
200	20.94	3.37	163.2	113.67	5.43
250	26.18	3.77	184.7	113.78	4.35

300	31.42	3.8	187.2	117.83	3.75
350	36.65	3.98	192.2	110.72	3
400	41.89	4.22	203.3	116.98	2.79

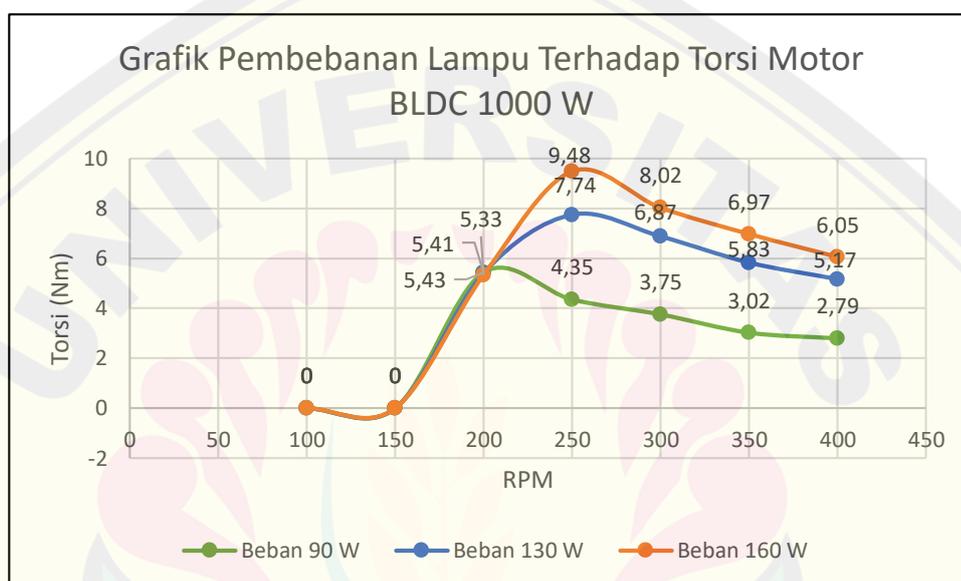
Tabel 4.30 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu  
130 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Torsi (Nm)
100	10.47	0.28	14	0	0
150	15.71	0.35	18.5	0	0
200	20.94	3.12	151.3	113.16	5.41
250	26.18	4.95	239.6	202.55	7.74
300	31.42	4.88	233	217.46	6.93
350	36.65	4.95	234.4	216.36	5.91
400	41.89	5.12	245.2	219.45	5.24

Tabel 4.31 Data Perhitungan Torsi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu  
160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan P (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Torsi (Nm)
100	10.47	0.28	14.4	0	0
150	15.71	0.39	20.4	0	0

200	20.94	3.01	146.6	111.62	5.33
250	26.18	7.15	333.6	247.98	9.48
300	31.42	6.77	312.6	251.92	8.02
350	36.65	6.71	308.4	255.37	6.97
400	41.89	6.78	312.3	253.36	6.05



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Torsi Motor BLDC 1000 W

Dari hasil perhitungan torsi motor BLDC 1000 W, didapatkan parameter yang dapat menjelaskan karakteristik torsi motor BLDC dengan pembebanan lampu. Torsi yang dihasilkan oleh masing-masing pembebanan lampu selama pengambilan data ditunjukkan pada tabel 4.29 saat pembebanan lampu 90 watt, tabel 4.30 saat pembebanan lampu 130 watt, dan tabel 4.31 saat pembebanan lampu 160 watt.

Pada tabel 4.29 merupakan hasil perhitungan torsi motor BLDC 1000 W saat pembebanan lampu 90 watt, dengan perolehan perhitungan sebanyak tujuh data setiap variasi pembebanan lampunya, dihasilkan nilai torsi tertinggi sebesar 5,43 Nm saat 200 rpm. Selanjutnya pada tabel 4.30 saat pembebanan lampu 130 watt, dihasilkan nilai torsi tertinggi sebesar 7,74 Nm saat 250 rpm. Kemudian pada tabel

4.31 saat pembebanan lampu 160 watt, dihasilkan nilai torsi tertinggi sebesar 9,48 Nm saat 250 rpm.

Berdasarkan gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai torsi saat rpm 200 setiap pembebanan lampunya memiliki nilai yang sama, kemudian akan meningkat dengan torsi puncak saat rpm 250 selanjutnya nilai torsi akan menurun seiring dengan meningkatnya nilai rpm. Semakin besar nilai pembebanan lampu maka akan semakin besar nilai torsi puncak yang dihasilkan, karena daya yang digunakan untuk menggerakkan motor BLDC akan semakin besar.

Pada hasil perhitungan torsi motor BLDC, nilai torsi tertinggi terjadi pada pembebanan lampu 160 watt untuk setiap jenis motor BLDC nya. Seperti pada perhitungan menggunakan motor BLDC 250 W saat rpm 250 dihasilkan nilai torsi tertinggi sebesar 9,78 Nm. Kemudian nilai torsi terendah terjadi pada pembebanan lampu 90 watt untuk setiap jenis motor BLDC nya. Seperti pada perhitungan menggunakan motor BLDC 220 W saat rpm 400 dihasilkan nilai torsi terendah sebesar 2,73 Nm. Berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa nilai pembebanan lampu mempengaruhi torsi motor BLDC karena dengan bertambahnya nilai pembebanan lampu maka semakin besar juga torsi motor BLDC serta nilai rpm akan berbanding terbalik dengan nilai torsi yaitu semakin besar nilai rpm maka akan semakin kecil nilai torsi sesuai dengan persamaan (3.2).

#### **4.4 Analisis Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Efisiensi Motor BLDC**

Pada pengujian pengaruh pembebanan lampu terhadap efisiensi motor BLDC memiliki tujuan untuk mengetahui perolehan efisiensi motor BLDC dari masing-masing pembebanan lampu ditinjau dari daya keluaran motor BLDC, sehingga pada hasil tersebut diharapkan mampu mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian. Pada proses pengujian menggunakan pembebanan lampu sebesar 90, 130, dan 160 watt. Perhitungan nilai efisiensi motor BLDC dilakukan sebanyak sembilan percobaan, pengambilan data berjumlah tujuh data pada setiap percobaannya dengan memvariasikan nilai rpm pada motor BLDC. Perhitungan efisiensi motor BLDC menggunakan rumus persamaan 2.18 dan tersaji pada 3.11.3.

Tabel 4.32 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu  
90 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan P (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Efisiensi (%)
100	10.47	0.28	14.6	0	0
150	15.71	0.4	21.9	0	0
200	20.94	3	155.5	107.53	69.15
250	26.18	3.18	160.4	113.27	70.62
300	31.42	3.22	161.9	113.07	69.84
350	36.65	3.36	169	110.86	65.59
400	41.89	3.55	177.9	113.84	63.99

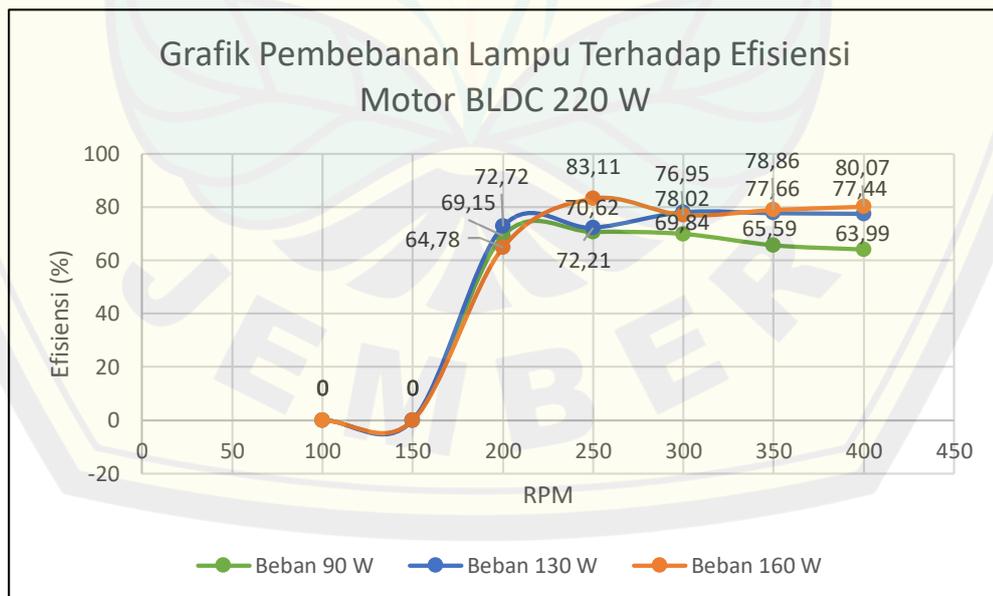
Tabel 4.33 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu  
130 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan P (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Efisiensi (%)
100	10.47	0.32	16.6	0	0
150	15.71	0.46	22.8	0	0
200	20.94	3.31	165.8	120.57	72.72
250	26.18	5.78	283	204.35	72.21
300	31.42	5.68	278	216.90	78.02
350	36.65	5.66	277.4	215.42	77.66

400	41.89	5.77	280	216.84	77.44
-----	-------	------	-----	--------	-------

Tabel 4.34 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 220 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan P (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Efisiensi (%)
100	10.47	0.29	14.3	0	0
150	15.71	0.4	21.9	0	0
200	20.94	3.3	167.45	108.48	64.78
250	26.18	6.39	307	255.14	83.11
300	31.42	6.92	333.7	256.77	76.95
350	36.65	6.77	318.5	251.16	78.86
400	41.89	6.7	318	254.63	80.07



Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Efisiensi Motor BLDC 220 Watt

Dari hasil perhitungan efisiensi motor BLDC 220 W, didapatkan parameter yang dapat menjelaskan karakteristik efisiensi motor BLDC dengan pembebanan lampu. Efisiensi yang dihasilkan oleh masing-masing pembebanan lampu selama pengambilan data ditunjukkan pada tabel 4.32 saat pembebanan lampu 90 watt, tabel 4.33 saat pembebanan lampu 130 watt, dan tabel 4.34 saat pembebanan lampu 160 watt.

Pada tabel 4.32 merupakan hasil perhitungan efisiensi motor BLDC 220 W saat pembebanan lampu 90 watt, dengan perolehan perhitungan sebanyak tujuh data setiap variasi pembebanan lampunya, dihasilkan efisiensi tertinggi sebesar 70,62% saat 250 rpm, kemudian efisiensi terendah terjadi saat 400 rpm yaitu sebesar 63,99%. Selanjutnya pada tabel 4.33 saat pembebanan lampu 130 watt, dihasilkan efisiensi tertinggi sebesar 78,02% saat 300 rpm, kemudian efisiensi terendah terjadi saat 250 rpm yaitu sebesar 72,21%. Selanjutnya pada tabel 4.34 saat pembebanan lampu 160 watt, dihasilkan efisiensi tertinggi sebesar 83,11% saat 250 rpm, kemudian efisiensi terendah terjadi saat 200 rpm yaitu sebesar 64,78%.

Tabel 4.35 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt

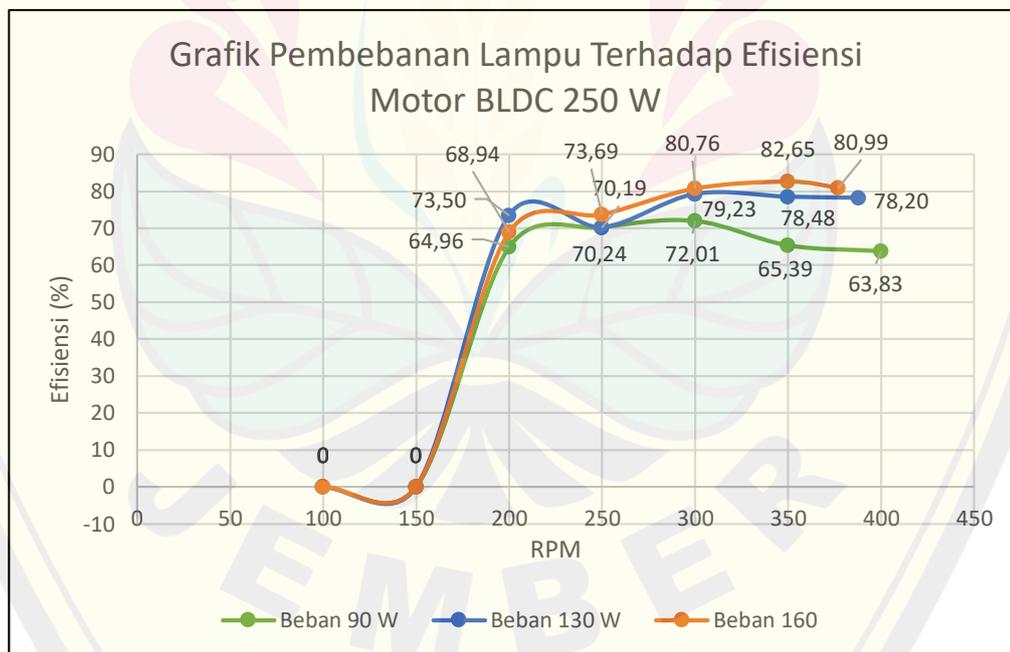
RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan P (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Efisiensi (%)
100	10.47	0.3	15.7	0	0
150	15.71	0.44	21.9	0	0
200	20.94	3.22	163	105.88	64.96
250	26.18	3.14	160	112.39	70.24
300	31.42	3.22	161	115.94	72.01
350	36.65	3.49	170.3	111.36	65.39
400	41.89	3.64	184	117.45	63.83

Tabel 4.36 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu  
130 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan P (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Efisiensi (%)
100	10.47	0.3	15.5	0	0
150	15.71	0.52	26.4	0	0
200	20.94	3.23	163.5	120.17	73.50
250	26.18	5.92	288.5	202.50	70.19
300	31.42	5.71	277	219.48	79.23
350	36.65	5.69	275	215.83	78.48
388	40.63	5.71	278	217.41	78.20

Tabel 4.37 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 250 Watt Pada Pembebanan Lampu 160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan P (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Efisiensi (%)
100	10.47	0.33	17.5	0	0
150	15.71	0.53	27.2	0	0
200	20.94	3.27	163.2	112.51	68.94
250	26.18	7.22	347.2	255.86	73.69
300	31.42	6.66	315.7	254.95	80.76
350	36.65	6.58	309	255.38	82.65
377	39.48	6.57	312.3	252.94	80.99



Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Efisiensi Motor BLDC 250 Watt

Dari hasil perhitungan efisiensi motor BLDC 250 W, didapatkan parameter yang dapat menjelaskan karakteristik efisiensi motor BLDC dengan pembebanan

lampu. Efisiensi yang dihasilkan oleh masing-masing pembebanan lampu selama pengambilan data ditunjukkan pada tabel 4.35 saat pembebanan lampu 90 watt, tabel 4.36 saat pembebanan lampu 130 watt, dan tabel 4.37 saat pembebanan lampu 160 watt.

Pada tabel 4.35 merupakan hasil perhitungan efisiensi motor BLDC 250 W saat pembebanan lampu 90 watt, dengan perolehan perhitungan sebanyak tujuh data setiap variasi pembebanan lampunya, dihasilkan efisiensi tertinggi sebesar 72,01% saat 300 rpm, kemudian efisiensi terendah terjadi saat 400 rpm yaitu sebesar 63,83%. Selanjutnya pada tabel 4.36 saat pembebanan lampu 130 watt, dihasilkan efisiensi tertinggi sebesar 79,23% saat 300 rpm, kemudian efisiensi terendah terjadi saat 250 rpm yaitu sebesar 70,19%. Selanjutnya pada tabel 4.37 saat pembebanan lampu 160 watt, dihasilkan efisiensi tertinggi sebesar 82,65% saat 350 rpm, kemudian efisiensi terendah terjadi saat 200 rpm yaitu sebesar 68,94%.

Berdasarkan gambar 4.9 dapat dilihat bahwa efisiensi motor BLDC bernilai fluktuatif, hal ini disebabkan oleh daya masukan pada motor BLDC yang bernilai fluktuatif. Kemudian torsi puncak motor BLDC 250 watt terjadi saat kecepatan 300 – 350 rpm pada setiap pembebanan lampunya. Dari hal tersebut dapat dianalisis bahwa semakin besar pembebanan maka akan semakin besar nilai efisiensi dari motor BLDC 250 watt, karena nilai daya masukan pada motor BLDC yang semakin mendekati dengan nilai daya nominal motor BLDC.

Tabel 4.38 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu 90 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan P (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Efisiensi (%)
100	10.47	0.3	14.2	0	0
150	15.71	0.38	19.2	0	0
200	20.94	3.37	163.2	113.67	69.65

250	26.18	3.77	184.7	113.78	61.60
300	31.42	3.8	187.2	117.83	62.95
350	36.65	3.98	192.2	110.72	57.61
400	41.89	4.22	203.3	116.98	57.54

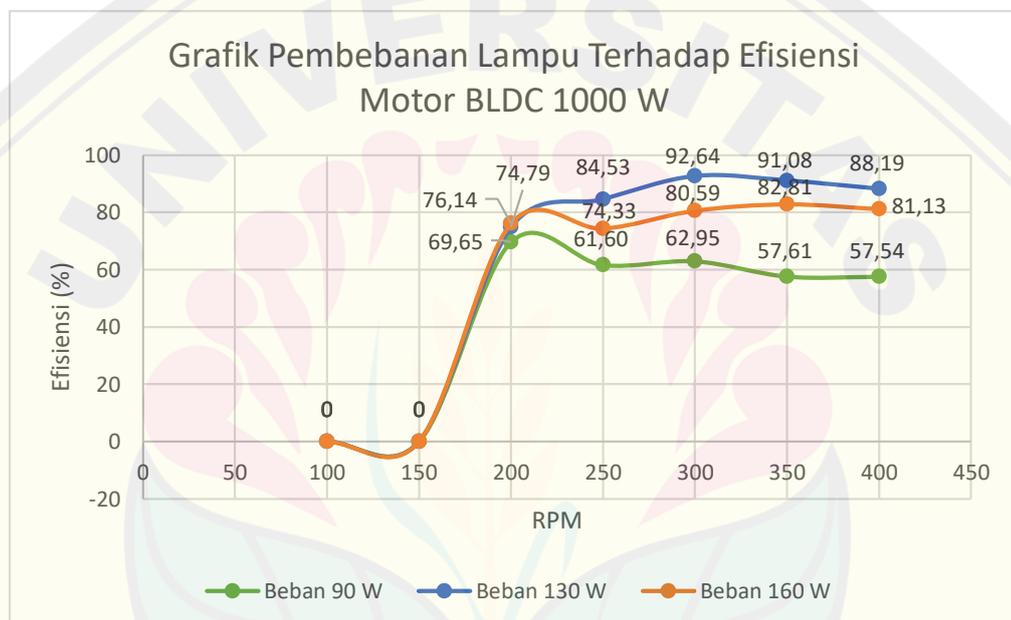
Tabel 4.39 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu  
130 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan P (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Efisiensi (%)
100	10.47	0.28	14	0	0
150	15.71	0.35	18.5	0	0
200	20.94	3.12	151.3	113.16	74.79
250	26.18	4.95	239.6	202.55	84.53
300	31.42	4.88	233	215.86	92.64
350	36.65	4.95	234.4	213.48	91.08
400	41.89	5.12	245.2	216.25	88.19

Tabel 4.40 Data Perhitungan Efisiensi Motor BLDC 1000 Watt Pada Pembebanan Lampu  
160 Watt

RPM	$\omega$ (rad/m)	Arus Masukan (ampere)	Daya Masukan P (watt)	Daya Keluaran W (watt)	Efisiensi (%)
100	10.47	0.28	14.4	0	0

150	15.71	0.39	20.4	0	0
200	20.94	3.01	146.6	111.62	76.14
250	26.18	7.15	333.6	247.98	74.33
300	31.42	6.77	312.6	251.92	80.59
350	36.65	6.71	308.4	255.37	82.81
400	41.89	6.78	312.3	253.36	81.13



Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Efisiensi Motor BLDC 1000 Watt

Dari hasil perhitungan efisiensi motor BLDC 250 W, didapatkan parameter yang dapat menjelaskan karakteristik efisiensi motor BLDC dengan pembebanan lampu. Efisiensi yang dihasilkan oleh masing-masing pembebanan lampu selama pengambilan data ditunjukkan pada tabel 4.38 saat pembebanan lampu 90 watt, tabel 4.39 saat pembebanan lampu 130 watt, dan tabel 4.40 saat pembebanan lampu 160 watt.

Pada tabel 4.38 merupakan hasil perhitungan efisiensi motor BLDC 1000 W saat pembebanan lampu 90 watt, dengan perolehan perhitungan sebanyak tujuh

data setiap variasi pembebanan lampunya, dihasilkan efisiensi tertinggi sebesar 69,65% saat 200 rpm, kemudian efisiensi terendah terjadi saat 400 rpm yaitu sebesar 57,54%. Selanjutnya pada tabel 4.39 saat pembebanan lampu 130 watt, dihasilkan efisiensi tertinggi sebesar 92,64% saat 300 rpm, kemudian efisiensi terendah terjadi saat 200 rpm yaitu sebesar 74,79%. Selanjutnya pada tabel 4.40 saat pembebanan lampu 160 watt, dihasilkan efisiensi tertinggi sebesar 82,81% saat 350 rpm, kemudian efisiensi terendah terjadi saat 250 rpm yaitu sebesar 74,33%.

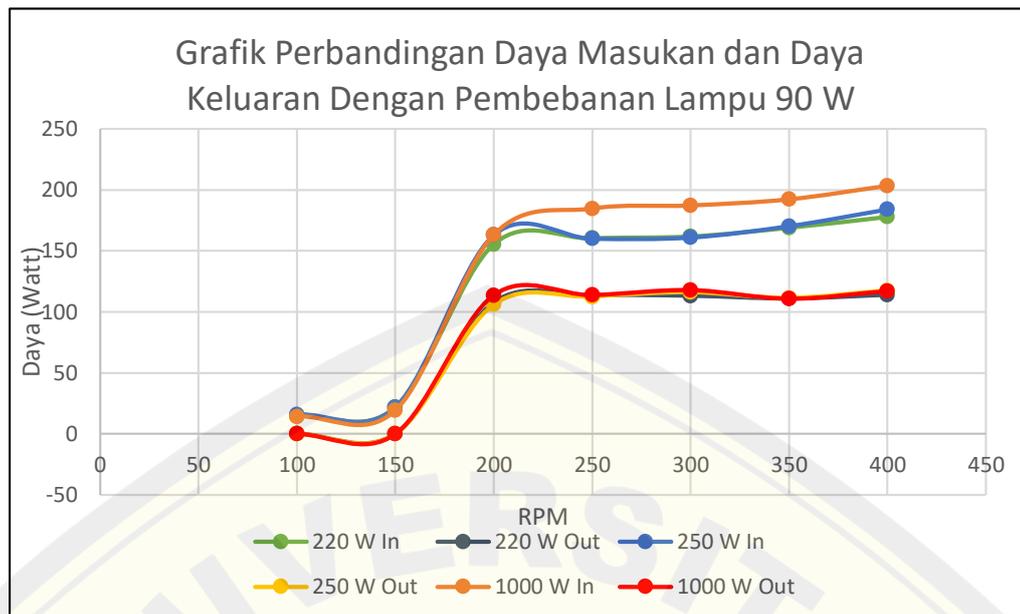
Berdasarkan gambar 4.10 dapat dilihat bahwa efisiensi motor BLDC bernilai fluktuatif, hal ini disebabkan oleh daya masukan pada motor BLDC yang bernilai fluktuatif. Kemudian efisiensi puncak motor BLDC 1000 watt terjadi saat kecepatan 300 – 350 rpm pada setiap pembebanan lampunya. Berbeda dengan motor BLDC 220 watt dan 250 watt motor yang memiliki nilai efisiensi terbesar saat pembebanan lampu 160 watt, namun pada motor BLDC 1000 watt nilai efisiensi terbesar pada pembebanan lampu 130 watt.

#### **4.5 Analisis Unjuk Kerja Motor BLDC**

Pada analisis unjuk kerja motor BLDC memiliki tujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik daya masukan, daya keluaran, torsi dan efisiensi pada motor BLDC. Pada analisis ini dengan membandingkan motor BLDC 220, 250, dan 1000 watt pada setiap pembebanan lampu menggunakan data-data yang sudah diperoleh pada pengujian dan perhitungan sebelumnya.

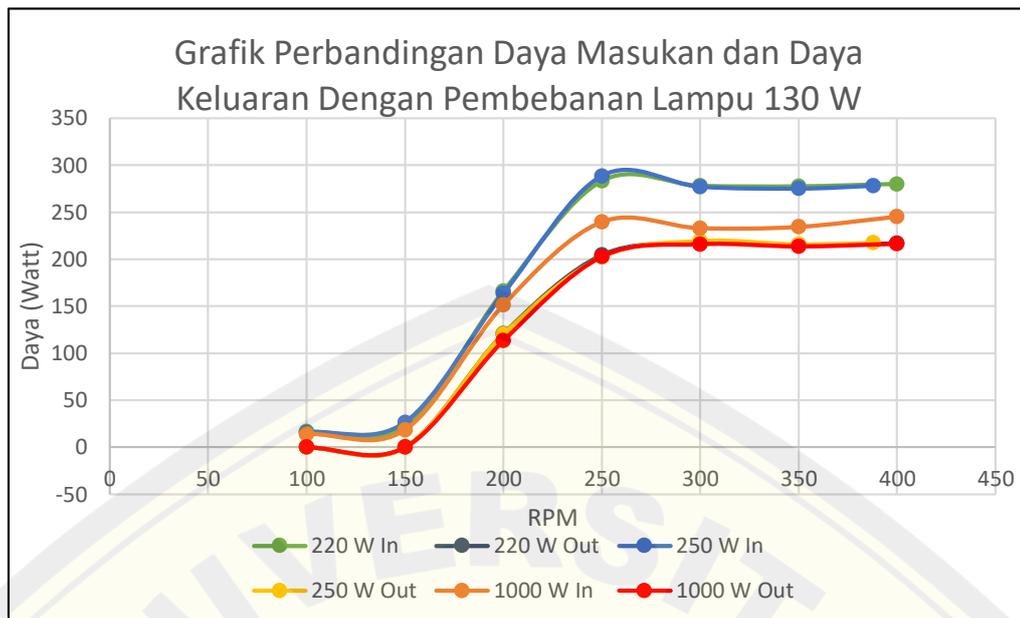
##### **4.5.1 Perbandingan Unjuk Kerja Daya Masukan dan Daya Keluaran Motor BLDC**

Perbandingan daya masukan dan daya keluaran motor BLDC memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik daya masukan dan daya keluaran dari setiap variasi motor BLDC, pada setiap pembebanan lampu dengan perbandingan antara motor BLDC 220 watt, 250 watt, dan 1000 watt.



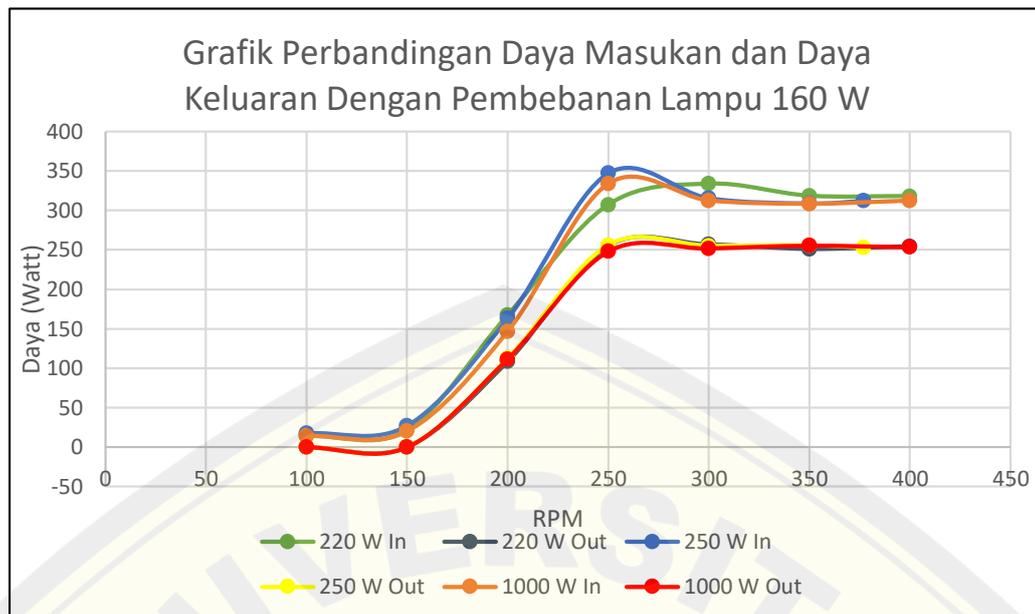
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Daya Masukan dan Daya Keluaran Dengan Pembebanan Lampu 90 Watt

Pada gambar 4.11 menunjukkan grafik daya masukan dan daya keluaran dari masing-masing jenis motor BLDC terhadap rpm. Dapat dilihat pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa daya masukan dan daya keluaran bernilai relatif stabil, Pada daya keluaran setiap motor BLDC relatif memiliki nilai yang sama namun berbeda dengan daya masukan yang memiliki nilai yang berbeda antara motor BLDC 1000 watt serta motor BLDC 220 dan 250 watt. Pada daya masukan motor BLDC 1000 watt memiliki grafik nilai yang paling tinggi pada pembebanan lampu 90 watt, hal tersebut karena nilai arus pada motor BLDC 1000 watt yang relatif besar. Berdasarkan gambar diatas motor BLDC 250 efektif digunakan pada pembebanan lampu 90 watt karena nilai daya masukan yang relatif kecil dibandingkan dengan motor BLDC yang lainnya dengan daya masukan tertinggi sebesar 184 watt serta daya keluaran sebesar 117,45 watt pada rpm 400.



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Daya Masukan dan Daya Keluaran Dengan Pembebanan Lampu 130 Watt

Pada gambar 4.12 menunjukkan grafik daya masukan dan daya keluaran dari masing-masing jenis motor BLDC terhadap rpm. Dapat dilihat pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa daya masukan dan daya keluaran bernilai relatif stabil, Pada daya keluaran setiap motor BLDC relatif memiliki nilai yang sama namun berbeda dengan daya masukan yang memiliki nilai yang berbeda antara motor BLDC 1000 watt serta motor BLDC 220 dan 250 watt. Pada daya masukan motor BLDC 250 watt memiliki grafik nilai yang paling tinggi pada pembebanan lampu 130 watt, hal tersebut karena nilai arus pada motor BLDC 250 watt yang relatif besar. Berdasarkan gambar diatas motor BLDC 1000 efektif digunakan pada pembebanan lampu 130 watt karena nilai daya masukan yang relatif kecil dibandingkan dengan motor BLDC yang lainnya dengan daya masukan tertinggi sebesar 245,2 watt serta daya keluaran sebesar 216,25 watt pada rpm 400.

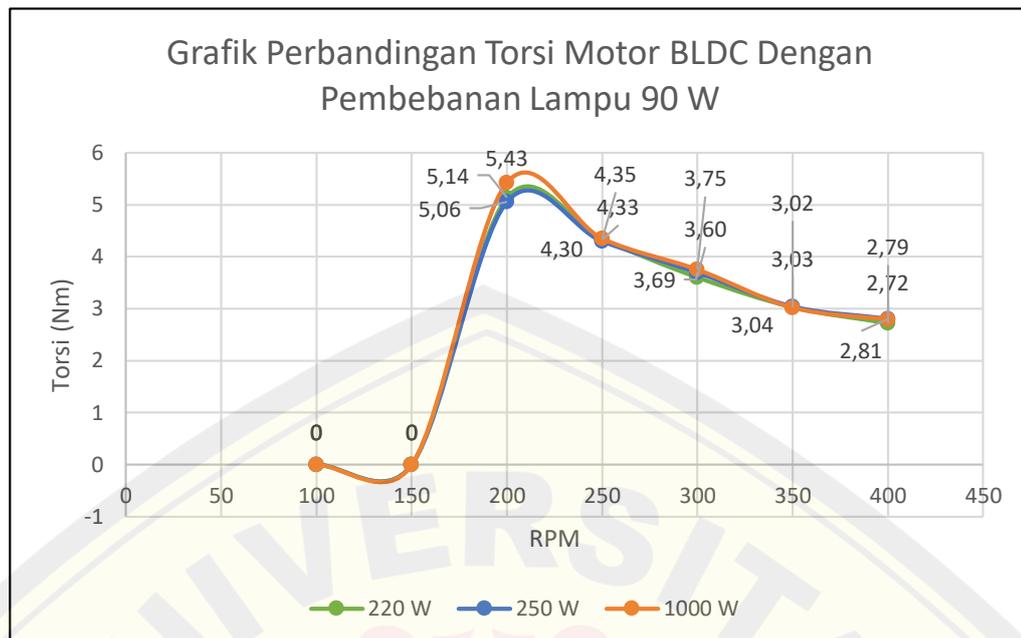


Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Daya Masukan dan Daya Keluaran Dengan Pembebanan Lampu 160 Watt

Pada gambar 4.13 menunjukkan grafik daya masukan dan daya keluaran dari masing-masing jenis motor BLDC terhadap rpm. Dapat dilihat pada gambar 4.13 menunjukkan bahwa daya masukan dan daya keluaran bernilai relatif stabil, Pada daya keluaran setiap motor BLDC relatif memiliki nilai yang sama namun berbeda dengan daya masukan yang memiliki nilai yang berbeda antara motor BLDC 1000 watt serta motor BLDC 220 dan 250 watt. Sama dengan pada pembebanan 130 watt daya masukan motor BLDC 250 watt memiliki grafik nilai yang paling tinggi, hal tersebut karena nilai arus pada motor BLDC 250 watt yang relatif besar. Berdasarkan gambar diatas motor BLDC 220 efektif digunakan pada pembebanan lampu 160 watt karena nilai daya masukan yang relatif kecil dibandingkan dengan motor BLDC yang lainnya dengan daya masukan tertinggi sebesar 333,7 watt serta daya keluaran sebesar 256,77 watt pada rpm 300.

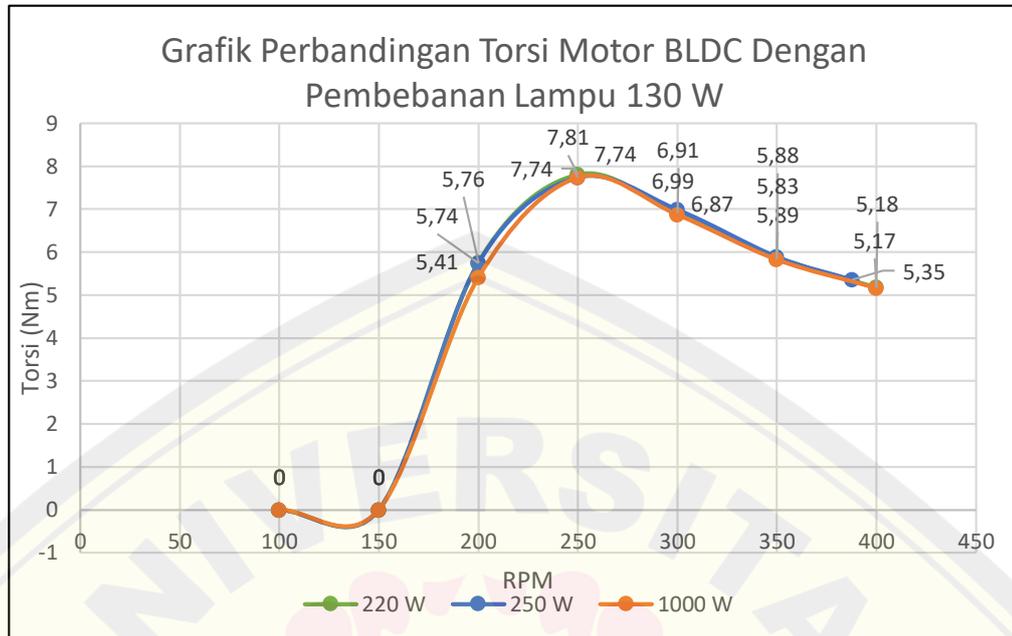
#### 4.5.2 Perbandingan Torsi Motor BLDC

Perbandingan torsi motor BLDC memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik nilai torsi dari setiap variasi motor BLDC, pada setiap pembebanan lampu dengan perbandingan antara motor BLDC 220 watt, 250 watt, dan 1000 watt.



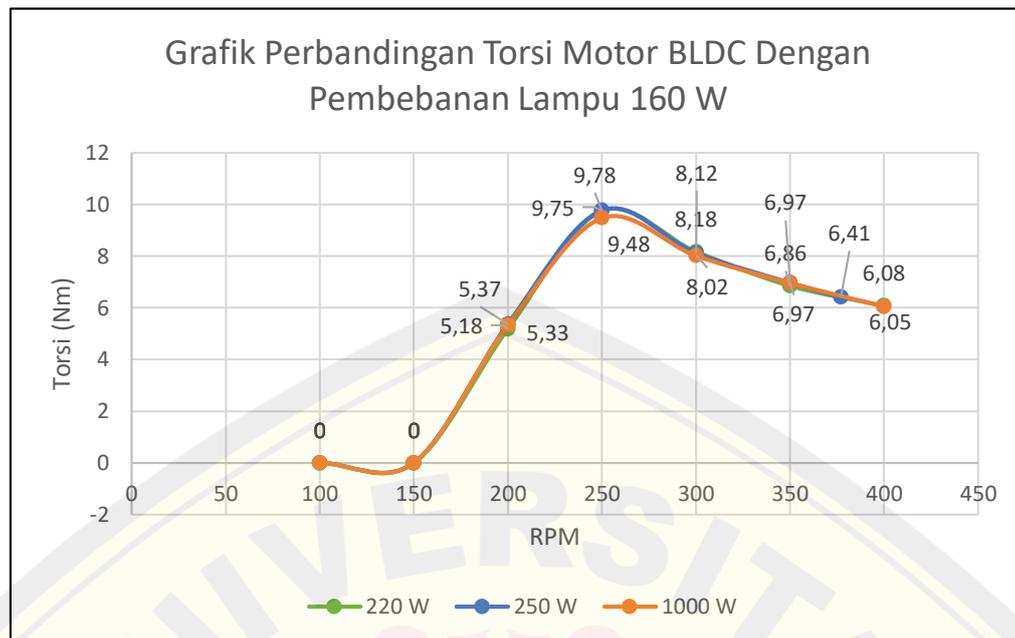
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Torsi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 90 Watt

Pada gambar 4.14 menunjukkan grafik torsi dari masing-masing jenis motor BLDC terhadap rpm. Dapat dilihat pada gambar 4.14 menunjukkan bahwa nilai torsi akan berbanding terbalik dengan rpm, pada torsi setiap motor BLDC relatif memiliki nilai yang sama. Pada pembebanan lampu 90 watt nilai torsi tertinggi terjadi pada rpm 200, berdasarkan gambar diatas motor BLDC 1000 W memiliki nilai torsi tertinggi dibandingkan dengan dua motor BLDC lainnya, dengan nilai torsi sebesar 5,43 Nm pada rpm 200.



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Torsi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 130 Watt

Pada gambar 4.15 menunjukkan grafik torsi dari masing-masing jenis motor BLDC terhadap rpm. Dapat dilihat pada gambar 4.15 menunjukkan bahwa nilai torsi akan berbanding terbalik dengan rpm, pada torsi setiap motor BLDC relatif memiliki nilai yang sama. Pada pembebanan lampu 130 watt nilai torsi tertinggi terjadi pada rpm 250, berdasarkan gambar diatas motor BLDC 220 W memiliki nilai torsi tertinggi dibandingkan dengan dua motor BLDC lainnya, dengan nilai torsi sebesar 7,81 Nm pada rpm 250.

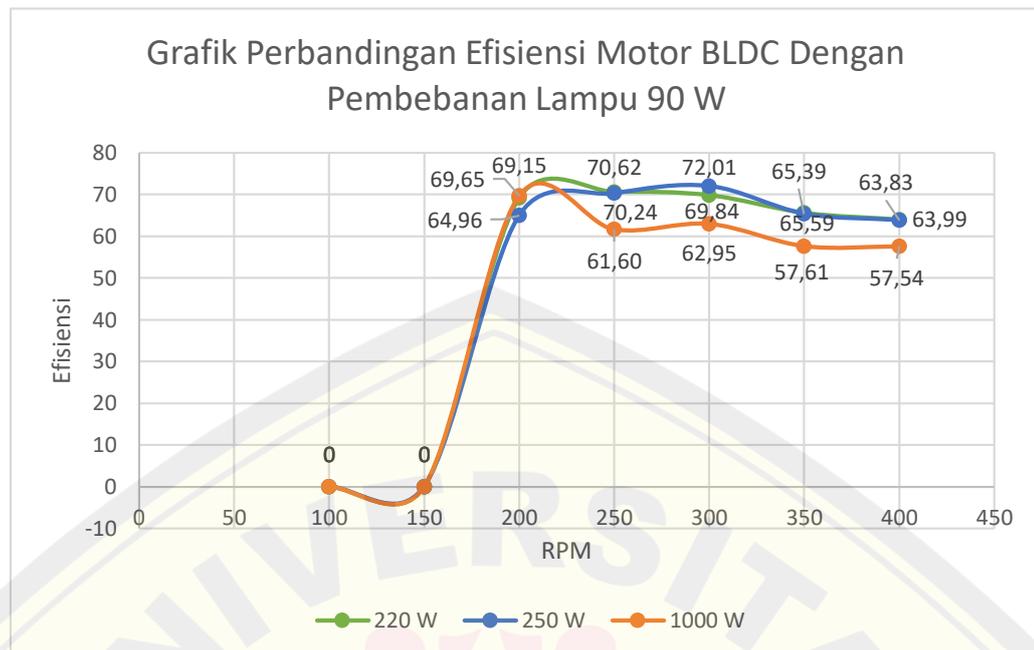


Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Torsi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 160 Watt

Pada gambar 4.16 menunjukkan grafik torsi dari masing-masing jenis motor BLDC terhadap rpm. Dapat dilihat pada gambar 4.16 menunjukkan bahwa nilai torsi akan berbanding terbalik dengan rpm, pada torsi setiap motor BLDC relatif memiliki nilai yang sama. Pada pembebanan lampu 160 watt nilai torsi tertinggi terjadi pada rpm 250, berdasarkan gambar diatas motor BLDC 250 W memiliki nilai torsi tertinggi dibandingkan dengan dua motor BLDC lainnya, dengan nilai torsi sebesar 9,78 Nm pada rpm 250.

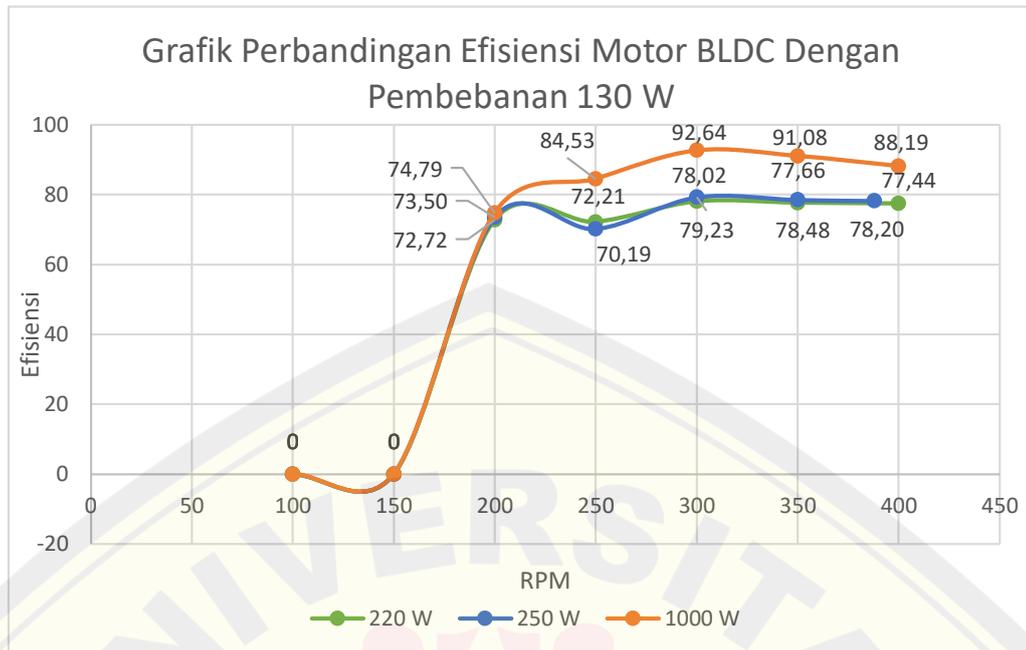
#### 4.4.3 Perbandingan Efisiensi Motor BLDC

Perbandingan efisiensi motor BLDC memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik efisiensi dari setiap variasi motor BLDC, pada setiap pembebanan lampu dengan perbandingan antara motor BLDC 220 watt, 250 watt, dan 1000 watt.



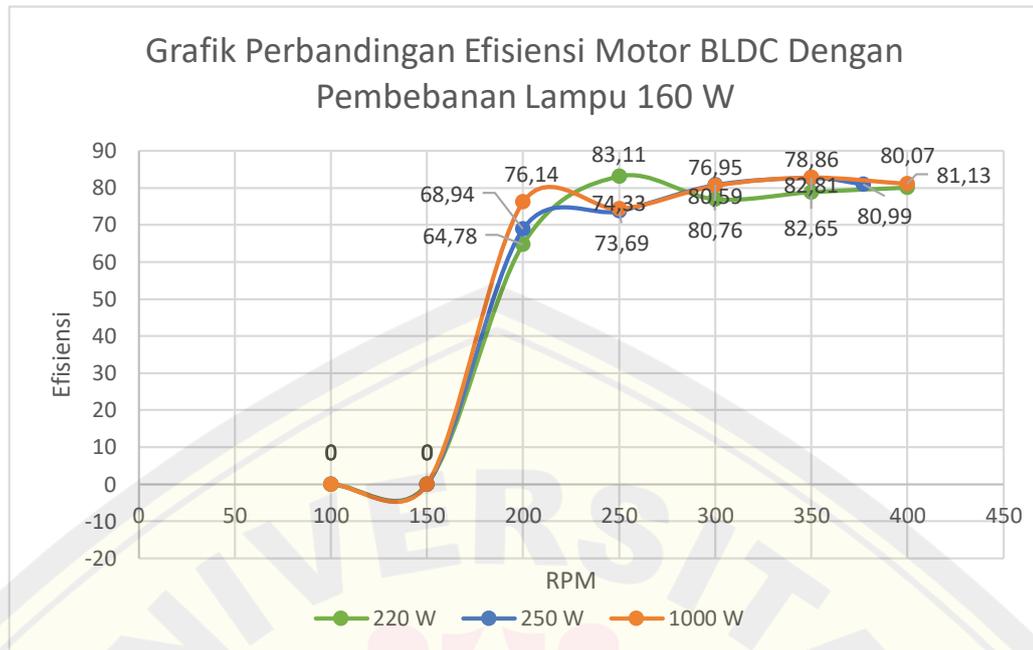
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Efisiensi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 90 W

Pada gambar 4.17 menunjukkan grafik efisiensi dari setiap motor BLDC pada pembebanan lampu 90 watt. Dapat dilihat pada gambar 4.17 menunjukkan bahwa efisiensi akan berangsur mengalami kenaikan pada rpm awal hingga mencapai efisiensi puncak, kemudian akan mengalami penurunan nilai efisiensi ketika rpm semakin tinggi. Pada motor BLDC 220 W nilai efisiensi tertinggi sebesar 70,62% pada rpm 250 dengan daya masukan sebesar 160,4 watt, kemudian pada motor BLDC 250 W nilai efisiensi tertinggi sebesar 72,01% pada rpm 300 dengan daya masukan sebesar 161 watt. Selanjutnya pada motor BLDC 1000 W nilai efisiensi tertinggi sebesar 69,65% pada rpm 200 dengan daya masukan sebesar 163,2%. Berdasarkan hal tersebut motor BLDC 250 W memiliki nilai efisiensi yang lebih baik dengan nilai rpm yang lebih tinggi serta nilai daya masukan yang lebih baik dibandingkan motor BLDC yang lainnya pada pembebanan lampu 90 watt.



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Efisiensi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 130 W

Pada gambar 4.18 menunjukkan grafik efisiensi dari setiap motor BLDC pada pembebanan lampu 130 watt. Dapat dilihat pada gambar 4.18 menunjukkan bahwa efisiensi akan berangsur mengalami kenaikan pada rpm awal hingga mencapai efisiensi puncak, kemudian akan mengalami penurunan nilai efisiensi ketika rpm semakin tinggi. Pada motor BLDC 220 W nilai efisiensi tertinggi sebesar 78,02% pada rpm 300 dengan daya masukan sebesar 278 watt, kemudian pada motor BLDC 250 W nilai efisiensi tertinggi sebesar 79,23% pada rpm 300 dengan daya masukan sebesar 277 watt. Selanjutnya pada motor BLDC 1000 W nilai efisiensi tertinggi sebesar 92,64% pada rpm 300 dengan daya masukan sebesar 233 watt. Berdasarkan hal tersebut motor BLDC 1000 W memiliki nilai efisiensi yang lebih baik dengan nilai rpm yang sama serta nilai daya masukan yang lebih baik dibandingkan motor BLDC yang lainnya pada pembebanan lampu 130 watt.



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Efisiensi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 160 W

Pada gambar 4.19 menunjukkan grafik efisiensi dari setiap motor BLDC pada pembebanan lampu 160 watt. Dapat dilihat pada gambar 4.19 menunjukkan bahwa efisiensi akan berangsur mengalami kenaikan pada rpm awal hingga mencapai efisiensi puncak, kemudian akan mengalami penurunan nilai efisiensi ketika rpm semakin tinggi. Pada motor BLDC 220 W nilai efisiensi tertinggi sebesar 83,11% pada rpm 250 dengan daya masukan sebesar 307 watt, kemudian pada motor BLDC 250 W nilai efisiensi tertinggi sebesar 82,65% pada rpm 350 dengan daya masukan sebesar 309 watt. Selanjutnya pada motor BLDC 1000 W nilai efisiensi tertinggi sebesar 82,81% pada rpm 350 dengan daya masukan sebesar 308,4 watt. Berdasarkan hal tersebut motor BLDC 1000 W memiliki nilai efisiensi yang lebih baik dengan nilai rpm yang sama seperti motor BLDC 250 W serta nilai daya masukan yang lebih baik dibandingkan motor BLDC yang lainnya pada pembebanan lampu 160 watt.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

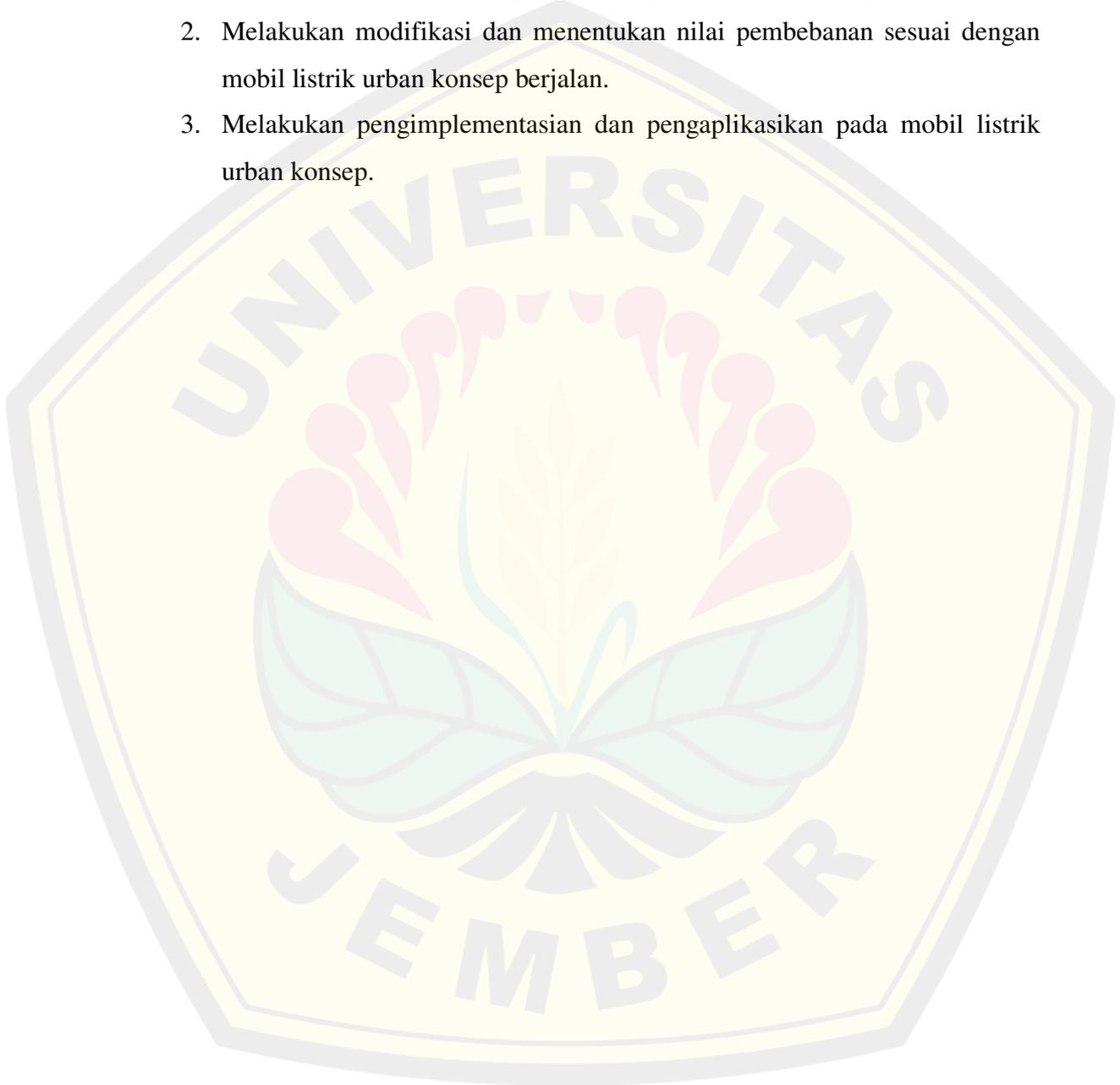
Berdasarkan hasil analisis, perhitungan dan pembahasan penelitian yang berjudul “Analisis Peningkatan Unjuk Kerja Mobil Listrik Urban Konsep Dengan Penggerak Motor BLDC” didapatkan beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

1. Nilai rpm akan berbanding lurus dengan arus dan pembebanan lampu, pada motor BLDC 250 watt saat nilai rpm 300 pada pembebanan lampu 90 watt memperoleh nilai arus sebesar 3,22 A dan saat nilai rpm 400 memperoleh nilai arus sebesar 3,64 A. Untuk pembebanan lampu 130 watt saat rpm 300 memperoleh nilai arus sebesar 5,71 A dan untuk pembebanan lampu 160 watt saat rpm 300 memperoleh nilai arus sebesar 6,66 A.
2. Nilai torsi akan berbanding terbalik dengan rpm dan berbanding lurus dengan pembebanan lampu, pada motor 250 watt saat nilai rpm 300 pada pembebanan lampu 90 watt memperoleh nilai torsi sebesar 3,69 Nm dan saat nilai rpm 400 memperoleh nilai torsi sebesar 2,81 Nm. Untuk pembebanan lampu 130 watt saat rpm 300 memperoleh nilai torsi sebesar 6,99 Nm dan untuk pembebanan lampu 160 watt saat rpm 300 memperoleh nilai torsi sebesar 8,12 Nm.
3. Nilai efisiensi tertinggi pada pembebanan lampu 90 watt terjadi pada motor BLDC 250 W saat rpm 300 dengan nilai torsi sebesar 3,69 Nm dan daya masukan sebesar 161 watt, memperoleh nilai efisiensi sebesar 72,01%. Kemudian pada pembebanan lampu 130 watt terjadi pada motor BLDC 1000 W saat rpm 300 dengan nilai torsi sebesar 6,87 Nm dan daya masukan sebesar 233 watt, memperoleh nilai efisiensi sebesar 92,64%. Sedangkan pada pembebanan lampu 160 watt terjadi pada motor BLDC 220 W saat rpm 250 dengan nilai torsi sebesar 9,75 Nm dan daya masukan sebesar 307 watt, memperoleh nilai efisiensi sebesar 83,11%.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan penelitian tersebut menjadi lebih baik lagi. Saran tersebut antara lain :

1. Mengetahui spesifikasi dari generator dan transmisi yang digunakan secara akurat sebelum melakukan pengujian supaya hasil yang dicapai lebih akurat.
2. Melakukan modifikasi dan menentukan nilai pembebanan sesuai dengan mobil listrik urban konsep berjalan.
3. Melakukan pengimplementasian dan mengaplikasikan pada mobil listrik urban konsep.



## DAFTAR PUSTAKA

- Dharmawan, A. (2009). Pengendalian Motor *Brushless* DC Dengan *Metode PWM Sinusoidal* Menggunakan ATMEGA16. *Univeritas Indonesia*, 1-45
- Hanselmen, D. (2006). *Brushless Permanent Magnet Motor Design*. Lebanon, Ohio: Magna Physics Publishing .
- Putra, I.H. (2019). "Karakteristik Unjuk Kerja Motor BLDC 500W Terhadap Jumlah Lilitan Dan Diameter Lilitan Stator". Jember: Universitas Jember.
- Aprasco, R.A.D (2017). "Perbandingan Unjuk Kerja Motor *Brushless Direct Current* Dengan *Brushed Direct Current* Pada Mobil Nogogeni Urban Konsep". Surabaya: ITS.
- Luthfianto, A. (2017). "Perencanaan Ulang Sistem Transmisi Rantai Mobil Nogogeni Evo 3". Surabaya: ITS.
- Dwinata, D. (2017). *Analisis Kerja Rangkaian Rectifier Signal Amplifier Sebagai Pembersih Siaran Televisi*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Ismail, A. K. (2019). "Rancang Bangun Sistem Pengendali Kecepatan Motor *Brushless Direct Current* Pada Kendaraan Listrik Menggunakan *Metode Fuzzy Inference System*". Jember: Universitas Jember.
- Yunus Chandra Wibowo, Slamet Riyadi. (2018). Analisa Pembebanan Pada Motor *Brushless DC (BLDC)*. *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO)* J.F., G. (2001). *Fisika Lingkungan*. Jakarta: Hipokrates.
- 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.
- P. C. Krause, O. Wasynczuk, and S. D. Sudhuff, 1995 *Analysis of Electric Machinery*, IEEE Press.

Nensy Is Suendri, Slamet Hani, Sigit Priyambodo (2018). Analisis Performa Brushless Motor DC Pada Mobil Listrik Molista. Yogyakarta : IST AKPRIND YOGYAKARTA

Erwan Eko Prasetyo, Wahyuni Fajar Arum (2021). Analisis Perbandingan Kinerja *Brushless* Motor Menggunakan Metode Eksperimen. Yogyakarta :



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Listing Program

```
#include <BleKeyboard.h>

#include "Arduino.h"

int voltageDevider = 35;

int ACS = 25;

int Swith = 27;

int IRObject = 4;

long int delayed = 60000;

float I, V= 0;

long int Isample, Vsample = 0;

BleKeyboard bleKeyboard("Dynotest");

void setup(){

  Serial.begin(115200);

  pinMode(IR, INPUT);

  pinMode(voltageDevider, INPUT);

  pinMode(ACS, INPUT);

  pinMode(Swith, INPUT);

  bleKeyboard.begin();
```

```
bool circleValues = false;

times = millis();

typeTime = millis();

delay(100);

void cal(){

  for (int x = 0; x < 150; x++){

    Vsample += analogRead(voltageDevider);

    Isample += analogRead(ACS);

    delay(2);

  }

  V = Vsample/150.0;

  I = Isample/150.0;

  Vsample = 0;

  Isample = 0;

void typing(){

  if(millis()-typeTime >= 500){

    typeTime = millis();

    if (bleKeyboard.isConnected() && (digitalRead(Swicht) == 1)) {

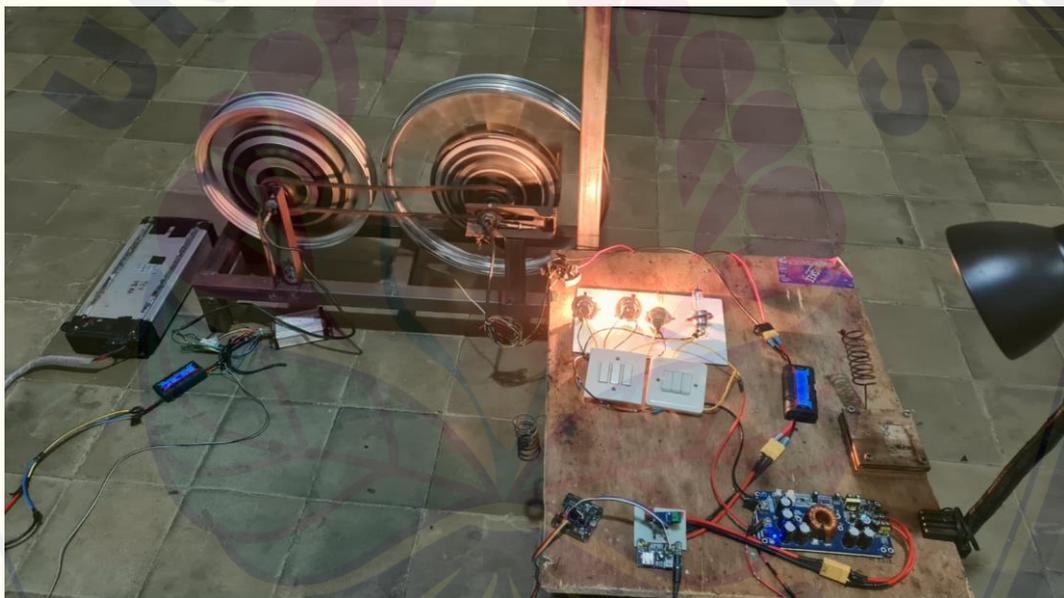
      bleKeyboard.print(V);
```

```
delay(8);  
  
bleKeyboard.print("--");  
  
delay(8);  
  
bleKeyboard.print(I);  
  
delay(8);  
  
bleKeyboard.print("--");  
  
delay(8);  
  
bleKeyboard.print(millis());  
  
delay(8);  
  
bleKeyboard.write(KEY_RETURN);  
  
delay(8);  
  
}  
  
}  
  
}
```

Lampiran 2. Alat Pengujian



Gambar Alat Uji Keseluruhan



Gambar Proses Pengambilan Data