



SKRIPSI – ME-141501

**KAJIAN EKSPERIMEN DISCHARGE TEST PADA
BATERAI 12V YANG DIHUBUNGKAN DENGAN
MOTOR DC FEEDBACK TIPE NO. 63-110 DI
LABORATORIUM LISTRIK DAN OTOMASI KAPAL**

Genesis Aldorino Pangemanan
NRP 4212 100 111

Dosen Pembimbing:
Adi Kurniawan, ST., MT.
Ir. Sardono Sarwito M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – ME-141501

**DISCHARGE TEST EXPERIMENT EVALUATION
OF 12V DC BATTERY CONNECTED TO DC MOTOR
FEEDBACK TYPE NO. 63-110 IN MARINE
ELECTRICAL AND AUTOMATION LABORATORY**

Genesis Aldorino Pangemanan
NRP 4212 100 111

Supervisor:
Adi Kurniawan ST., MT.
Ir. Sardono Sarwito M.Sc.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

LEMBAR PENGESAHAN

**KAJIAN EKSPERIMEN DISCHARGE TEST PADA
BATERAI 12V YANG DIHUBUNGAN DENGAN MOTOR
DC FEEDBACK TIPE NO. 63-110 DI LABORATORIUM
LISTRIK DAN OTOMASI KAPAL**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

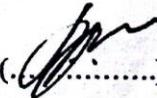
GENESIS ALDORINO PANGEMANAN
NRP. 4212100111

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Adi Kurniawan ST., M.T.

(.....)

2. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

(.....)

Surabaya,
Januari 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

LEMBAR PENGESAHAN

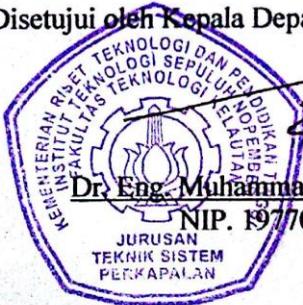
KAJIAN EKSPERIMEN DISCHARGE TEST PADA BATERAI 12V YANG DIHUBUNGKAN DENGAN MOTOR DC FEEDBACK TIPE NO. 63-110 DI LABORATORIUM LISTRIK DAN OTOMASI KAPAL

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
GENESIS ALDORINO PANGEMANAN
NRP. 4212100111

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 19770802 200801 1 007

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

KAJIAN EKSPERIMEN DISCHARGE TEST PADA BATERAI 12V YANG DIHUBUNGKAN DENGAN MOTOR DC FEEDBACK TIPE NO. 63-110 DI LABORATORIUM LISTRIK DAN OTOMASI KAPAL

Nama Mahasiswa: Genesis Aldorino Pangemanan
NRP: 4212100111
Departemen: Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing: Adi Kurniawan ST., MT.
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

ABSTRAK

Sistem propulsi elektrik memiliki keunggulan pada aplikasinya dengan menunjukkan peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar, penurunan emisi gas buang, juga biaya yang tidak berbeda secara signifikan dengan teknologi bahan bakar minyak. Baterai sebagai media penyimpanan energi listrik adalah komponen vital dalam sistem propulsi elektrik dan untuk mengetahui kemampuan baterai diperlukan pengujian yang disebut *discharge test*. Pada skripsi ini, eksperimen *discharge test* dilakukan dengan mengukur performa pada baterai dan motor DC untuk mengetahui kemampuan baterai dalam aplikasikan pada sistem propulsi elektrik yang sesuai dengan standar dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Eksperimen dilakukan menggunakan baterai VRLA 12V yang dihubungkan dengan motor DC Feedback tipe No. 63-110 pada tegangan 210V dengan variasi pembebanan. Hasilnya adalah tegangan tertinggi baterai sebesar 11.9 V, arus tertinggi sebesar 7.75 A, *cut-off voltage* pada 9.48V-10.48V, voltage drop antara 0.75V-1.25V, efisiensi antara 90%-94%, kecepatan tertinggi motor 2730 RPM, daya masukan tertinggi sebesar 273 Watt, dan baterai memenuhi peraturan BKI dengan kemampuan maksimal diperkirakan sebesar 869.4 Watt.

Kata kunci: Baterai; discharge test; Motor DC

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

**DISCHARGE TEST EXPERIMENT EVALUATION OF 12V
DC BATTERY CONNECTED TO DC MOTOR FEEDBACK
TYPE NO. 63-110 IN MARINE ELECTRICAL AND
AUTOMATION LABORATORY**

Student name: Genesis Aldorino Pangemanan
NRP: 4212100111
Department: Marine Engineering
Advisor: Adi Kurniawan ST., MT.
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

ABSTRACT

Electric propulsion system has several advantages in its application in transportation with showing increase efficiency of fuel consumption, decrease of gas emission, and small cost differences with internal combustion engine technology. Battery as electric energy storage serves as vital components in electric propulsion system and discharge test able to understand the capability of battery for supply energy for certain load. In this final project, discharge test will be done to measure parameters which are the voltage and current of the battery, also the performance of connected DC motor with the purpose of figuring wether the battery is applicable to electric propulsion system based on rules set by Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). The experiment conducted using 12V VRLA battery which is connected to DC motor at voltage of 210V with several load variations. The results are as follows: highest battery voltage at 11.9V, highest current at 7.75, cut-off voltage between 9.48V-10.48V, voltage drop between 0.75V - 1.25V, efficiency between 90%-94%, highest DC motor speed at 2730 RPM, highest power input at 273 watts, and battery comply with BKI rules with predicted maximum power of 869.4 watts.

Keyword: Battery; discharge test; DC motor

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus yang telah memberikan berkat dan hikmat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “KAJIAN EKSPERIMEN *DISCHARGE TEST* PADA BATERAI 12 V YANG DIHUBUNGKAN DENGAN MOTOR DC FEEDBACK TIPE NO. 63-110 DI LABORATORIUM LISTRIK DAN OTOMASI KAPAL”.

Penulisan skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) dari Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulisan skripsi ini didasarkan pada teori yang telah diperoleh dalam perkuliahan, kajian pustaka, kegiatan eksperimen dan bimbingan dari dosen pembimbing. Banyak pihak yang berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini, maka melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT., selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
2. Bapak Indra Ranu K. ST., M.Sc., selaku ketua program studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Adi Kurniawan ST., MT., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingannya dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Sardono Sarwito M.Sc., selaku dosen pembimbing II yang juga telah memberikan bimbingannya dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana ST., M.Sc., selaku dosen wali yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama proses perkuliahan penulis.
6. Bapak-bapak Dosen beserta Staf Departemen Teknik Sistem perkapalan yang tidak dapat disebutkan satu-

- persatu yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan bantuannya selama proses perkuliahan penulis.
7. Orang tua, adik-adik (Exo & Levi), Ompung dan keluarga terkasih yang selalu mendoakan, memotivasi dan dukungan dalam moril dan materil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
 8. Kezia Eunike Kusuma yang sudah mendukung secara moril maupun suplai pangan, membantu dan menemani penulis serta yang telah ikut cemas selama penyusunan skripsi ini.
 9. Teman-teman seperjuangan Bismarck 12, TA Member MEAS, semua member MEAS yang terus akrab, membantu penulis dalam berbagai kesulitan dan menemani selama proses pengerjaan skripsi ini.
 10. Teater Tiyang Alit ITS yang memberikan ilmu, pengalaman, pelarian dan menjadi keluarga selama penulis berkuliah sampai menyelesaikan skripsi ini.
 11. Dan semua pihak lainnya yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kelancaran dan perbaikan kedepannya.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	5
1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sistem Propulsi Elektrik	7
2.2 Motor DC.....	11
2.2.1 Prinsip Kerja Motor DC	11
2.2.2 Komponen Motor DC.....	11
2.2.3 Jenis Motor DC.....	13
2.3 Power Inverter	18
2.4 Baterai	20

2.4.1	Reaksi Elektrokimia	23
2.4.2	Rugi dan Efisiensi Baterai	25
2.4.3	Jenis Baterai.....	26
2.4.4	Discharge Test.....	30
BAB III METODOLOGI		33
3.1	Umum.....	33
3.1.1	Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	33
3.1.2	Studi Literatur.....	33
3.1.3	Perancangan Eksperimen.....	34
3.1.4	Pembuatan Alat untuk Eksperimen	34
3.1.5	Pemeriksaan Kesiapan Alat	34
3.1.6	Uji Coba Alat.....	35
3.1.7	Eksperimen	35
3.1.8	Analisa Data Hasil Eksperimen	35
3.1.9	Kesimpulan dan Saran	36
3.2	Flowchart Penelitian.....	37
3.3	Eksperimen Discharge Test.....	38
3.3.1	Rangkaian Eksperimen.....	38
3.3.2	Spesifikasi Rangkaian Eksperimen	39
3.3.3	Kegiatan Eksperimen.....	45
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		61
4.1	Data Eksperimen Discharge Test	61
4.1.1	Eksperimen Dishcharge Test Tanpa Beban.....	61
4.1.2	Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Tanpa Beban.....	62

4.1.3	Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 120W dengan Tegangan Eksitasi 55V	65
4.1.4	Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 120W dengan Tegangan Eksitasi 115V	67
4.1.5	Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 240W dengan Tegangan Eksitasi 150V	69
4.2	Analisa Data Eksperimen Discharge Test	71
4.2.1	Analisa Perbandingan Tegangan Baterai dengan Waktu	71
4.2.2	Analisa Perbandingan Arus Baterai dengan Waktu.	73
4.2.3	Analisa Perbandingan Kecepatan Motor dengan Tegangan Baterai.....	77
4.2.4	Analisa Perbandingan Daya Motor dengan Tegangan Baterai.....	79
4.2.5	Analisa Voltage Drop, Efisiensi dan Variasi Tegangan Awal Baterai Setiap Siklus Charge.....	80
4.2.6	Analisa Kemungkinan Aplikasi Baterai dalam Sistem Propulsi Elektrik di Kapal	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		85
5.1	Kesimpulan.....	85
5.2	Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA.....		89
LAMPIRAN		93

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Blok Diagram Sistem Propulsi Elektrik	2
Gambar II.1 Beberapa konfigurasi sistem propulsi: (a) konvensional; (b) baterai elektrik; (c) hybrid seri; (d) hybrid parallel; (e) hybrid seri-paralel; (f) hybrid kompleks; (g) hybrid plug-in; (h) fuel cell. (Kumar & Jain, 2014).....	9
Gambar II.2 Konfigurasi sistem propulsi hybrid-seri elektrik (Ehsani, et al., 2005).....	10
Gambar II.3 Komponen Motor DC	12
Gambar II.4 Rangkaian motor DC penguat terpisah	14
Gambar II.5 Rangkaian motor DC seri.....	15
Gambar II.6 Rangkaian motor DC compound.....	16
Gambar II.7 Stator dan rotor pada motor DC brushless	17
Gambar II.8 Stator dan rotor pada motor DC magnet permanen	17
Gambar II.9 Rangkaian motor DC shunt.....	18
Gambar II.10 Power inverter 200 Watt (Doucet, et al., 2007)	19
Gambar II.11 Gelombang square, modified dan pure sine (Doucet, et al., 2007).....	20
Gambar II.12 Cut-off voltage pada baterai.....	21
Gambar II.13 Reaksi elektrokimia yang terjadi ketika penggunaan dan pengisian ulang daya dari cell baterai lead-acid (Ehsani, et al., 2005).....	23
Gambar II.14 Karakteristik efisiensi charge dan discharge baterai (Ehsani, et al., 2005).....	25
Gambar II.15 Komponen baterai lead-acid (REUK.co.uk, 2016)	27
Gambar II.16 Komponen baterai nickel-cadmium(Ni-Cd) (Pandey, 2015).....	28
Gambar II.17 Contoh baterai lithium-ion (Li-ion) (Smart Battery, 2016).....	30
Gambar III.1 Diagram blok rangkaian eksperimen	34
Gambar III.2 Blok rangkaian eksperimen discharge test.....	39
Gambar III.3 Baterai Luminous 12V 18Ah yang digunakan untuk eksperimen.....	40
Gambar III.4 Pengisian ulang baterai	40

Gambar III.5 Inverter SUOER tipe SAA-1000 12V DC ke 220V AC 1000W modified sine wave yang digunakan untuk eksperimen	41
Gambar III.6 Voltage Regulator Matsunaga 241W 2KVA yang digunakan untuk eksperimen.....	42
Gambar III.7 Rectifer yang digunakan dalam eksperimen.....	42
Gambar III.8 Motor DC Shunt Feedback tipe No. 63-110 220V yang digunakan dalam eksperimen.....	43
Gambar III.9 Generator Sinkron Tiga Fase Feedback Tipe No. 64-510 yang digunakan dalam eksperimen.....	44
Gambar III.10 Beban lampu yang digunakan dalam praktikkum dengan beban maksimal setiap fasa adalah 160W.....	44
Gambar III.11 Diagram blok rangkaian eksperimen discharge test tanpa beban.....	45
Gambar III.12 Diagram blok rangkaian eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator tanpa beban	48
Gambar III.13 Diagram blok rangkaian eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban lampu 120W dengan tegangan eksitasi 55V	51
Gambar III.14 Diagram blok rangkaian eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban lampu 120W dengan tegangan eksitasi 115V	54
Gambar III.15 Diagram blok rangkaian eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban lampu 240W dengan tegangan eksitasi 135V	58
Gambar IV.1 Grafik perbandingan tegangan (volt) baterai dengan waktu (menit)	72
Gambar IV.2 Grafik perbandingan arus baterai (ampere) dengan waktu (menit)	74
Gambar IV.3 Grafik perbandingan arus baterai (ampere) terhitung dengan waktu (menit).....	76
Gambar IV.4 Grafik perbandingan kecepatan motor (rpm) dengan tegangan baterai (volt).....	78
Gambar IV.5 Grafik perbandingan daya motor (watt) dengan tegangan baterai (volt).....	79

DAFTAR TABEL

Tabel IV-1 Hasil pengukuran eksperimen discharge test tanpa beban pada Motor DC	62
Tabel IV-2 Hasil pengukuran eksperimen discharge test berbeban pada motor DC	63
Tabel IV-3 Hasil pengukuran eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban 120W dengan tegangan eksitasi 55V	66
Tabel IV-4 Hasil pengukuran eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban 120W dengan tegangan eksitasi 115V	68
Tabel IV-5 Hasil pengukuran eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban 240W dengan tegangan eksitasi 150V	70
Tabel IV-6 Selisih tegangan awal dan tegangan berbeban daripada baterai dan efisiensi pada setiap percobaan	81
Tabel IV-7 Variasi daripada tegangan awal baterai setiap siklus charge dan persentasenya	81
Tabel IV-8 Perbandingan peraturan BKI mengenai operasional baterai dengan hasil eksperimen.....	83
Tabel IV-9 Perkiraan batas kemampuan maksimal dari baterai 12 V	84

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

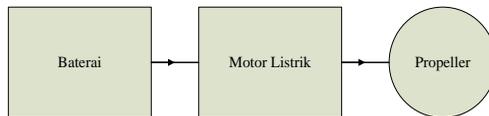
1.1 Latar Belakang Masalah

Tren pengembangan sumber energi alternatif pada bidang transportasi saat ini adalah pada energi listrik dikarenakan aplikasinya pada transportasi menunjukkan peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar, minimalnya emisi gas buang, juga biaya yang tidak berbeda secara signifikan dengan teknologi bahan bakar minyak. Saat ini, transportasi dengan teknologi elektrik dapat diklasifikasikan sebagai: electric vehicles (EV), hybrid electric vehicles (HEV), plug-in hybrid electric vehicles (PHEV), dan fuel cell vehicles (FCV). (Hannan, et al., 2014)

Penggunaan listrik sebagai sumber tenaga dalam dunia maritim saat ini sedang banyak dikaji dan mulai banyak digunakan. Salah satunya adalah sistem propulsi elektrik sebagai pengganti dari sistem propulsi menggunakan diesel. Dengan keunggulan efisiensi konsumsi bahan bakar, efisiensi hidrodinamis propeller, keandalan yang tinggi, biaya perawatan yang lebih rendah, kemampuan manuver yang lebih baik, berat yang ringan, kemudahan dalam peletakan di kamar mesin, tingkat kebisingan dan getaran yang rendah, dan torsi yang lebih besar, propulsi hybrid elektrik dalam aplikasinya semakin banyak dilihat sebagai alternatif ideal bagi beberapa jenis kapal dengan kebutuhan khusus. (Kumar & Jain, 2014)

Salah satu kapal yang paling sering menggunakan sistem propulsi elektrik adalah kapal submersible. Efisiensi yang tinggi dan tingkat getaran dan kebisingan yang rendah menjadi faktor utama pemilihan sistem propulsi ini pada kapal submersible. Adapun baterai digunakan sebagai sumber energi pada saat menyelam dan diesel elektrik digunakan hanya pada saat di permukaan air atau pada kondisi snorkel.

Pada Gambar I.1 dapat dilihat bahwa sistem propulsi elektrik pada kapal terbagi pada tiga bagian, yaitu baterai, motor listrik, dan propeller. Sistem ini menggunakan diesel generator atau baterai sebagai sumber tenaga dari motor listrik.



Gambar I.1 Blok Diagram Sistem Propulsi Elektrik

Baterai pada sistem didesain untuk menyimpan mayoritas energi yang dibutuhkan untuk memenuhi pengoperasian kendaraan. (Hannan, et al., 2014) Dalam hal ini pada pengoperasian propulsi kapal hybrid elektrik tersebut, mayoritas waktu pengoperasian hanya menggunakan baterai saja atau sampai state of charge (SOC) mencapai level yang dinyatakan tidak bisa digunakan sebagai daya utama. SOC sendiri adalah tingkat kapasitas baterai yang diukur berdasarkan tegangannya. (Megger, 2003-2004)

Ketika SOC baterai mencapai titik yang cukup rendah, maka perlu dilakukan pengisian daya. Dikarenakan baterai memiliki densitas daya yang tinggi namun densitas energi yang rendah, maka diperlukan waktu pengisian ulang yang cukup panjang. (MAN, n.d.) Karenanya untuk meminimalisir intensitas waktu pengisian, digunakan baterai yang berkapasitas tinggi, atau jumlah baterai yang tersedia diperbanyak.

Kapasitas baterai yang terbatas dan perlu diisi ulang, menuntut tingkat keandalan daripada baterai untuk dapat memenuhi kebutuhan pada sistem sesuai dengan waktu yang sudah dirancang sebelumnya. Apabila baterai gagal memenuhinya, akan mengakibatkan kesulitan dalam pengoperasian optimal dan menyebabkan kerugian baik dari

sisi teknis maupun ekonomis. Karena itu dibutuhkan sebuah cara pengujian baterai sebelum baterai tersebut dioperasikan.

Ada beberapa methoded yang sekarang digunakan dalam pengujian baterai seperti *discharge test*, metode EMF, perhitungan ampere-hour, *open circuit voltage*, analisa impedansi dan pengukuran resistansi internal pada suhu ruangan. (Vignarooban, et al., 2016) Pengujian yang paling sederhana adalah dengan melakukan *discharge testing* untuk mengetahui kapasitas daripada baterai. (Megger, 2003-2004) Kapasitas baterai sangat vital untuk diketahui, terutama untuk menentukan kemampuan baterai memenuhi tugasnya.

Pengujian baterai dengan *discharge test* yang dilakukan beberapa kali pada baterai dapat diharapkan dapat menemukan hubungan performa yang dialami baterai dengan performa motor DC yang dihubungkan dan kemampuan baterai untuk diaplikasikan pada sistem propulsi elektrik di kapal.

1.2 Rumusan Permasalahan

Pada skripsi ini, akan melakukan kajian eksperimen *discharge test* pada penggerak motor DC yang terhubung dengan baterai. Adapun rumusan masalah yang akan diteliti pada skripsi ini adalah:

1. Bagaimanakah performa baterai 12V yang dihubungkan motor DC berdasarkan eksperimen *discharge test*?
2. Bagaimanakah hubungan antara performa baterai dengan performa motor DC dalam pengujian *discharge*?
3. Bagaimanakah kemampuan baterai 12 V untuk diaplikasikan dalam sistem propulsi elektrik di kapal

berdasarkan dengan peraturan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang ditentukan pada skripsi ini adalah:

1. Motor DC yang digunakan adalah motor DC feedback tipe no. 63-110 di laboratorium listrik dan otomasi kapal.
2. Pembebanan dilakukan dengan cara mengkopel motor DC dengan generator.
3. Baterai berjumlah satu buah dengan tegangan nominal setiap baterai sebesar 12V dan kapasitas 18Ah.
4. Peraturan yang digunakan untuk menentukan kemampuan baterai dalam pemenuhan sistem propulsi elektrik adalah peraturan tentang operasional baterai dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

1.4 Tujuan

Berdasarkan dengan rumusan masalah sebelumnya, maka tujuan dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui performa baterai 12V yang dihubungkan motor DC berdasarkan eksperimen *discharge test*.
2. Mengetahui hubungan antara performa baterai dengan performa motor DC dalam *discharge test*.

3. Mengetahui kemampuan baterai 12 V untuk diaplikasikan dalam sistem propulsi elektrik di kapal berdasarkan dengan peraturan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)?

1.5 Manfaat

Melalui skripsi ini, adapun manfaat yang akan didapatkan adalah:

1. Pemahaman tentang hubungan performa baterai 12 V dan motor DC melalui eksperimen *discharge test*.
2. Pemahaman tentang performa baterai dalam pemenuhan kebutuhan sistem propulsi elektrik melalui eksperimen *discharge test*.

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Halaman Judul

Lembar Pengesahan

Abstrak

Kata Pengantar

Daftar Isi

Daftar Tabel

Daftar Lampiran

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang penulisan, perumusan masalah, pembatasan masalah dan tujuan dari Skripsi

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori yang berhubungan.

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini akan dibahas metodologi yang digunakan dalam mengerjakan skripsi.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas pengolahan data dan analisa data eksperimen serta menyelesaikan permasalahan yang diangkat sebagai topik dalam skripsi dan hasil-hasil yang didapat.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran-saran.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Propulsi Elektrik

Sistem propulsi elektrik merupakan hasil dari pencarian sumber tenaga alternatif dalam menggerakkan propulsi. Pada sistem propulsi konvensional, sumber tenaga yang paling umum adalah dari tenaga yang dihasilkan oleh motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*), namun pada sistem propulsi elektrik, sumber tenaga adalah energi listrik yang sebelumnya dihasilkan generator atau sudah disimpan dalam baterai.

Banyak variasi yang berhasil dikembangkan dari sistem propulsi elektrik, baik dengan mengganti beberapa bagian, atau seluruhnya dari sistem propulsi konvensional dengan komponen elektrikal. Variasi-variasi ini dilakukan dengan tujuan utama mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang daripada kendaraan. Adapun beberapa jenis sistem propulsi elektrik yang umum adalah: *electric vehicles (EV)*, *hybrid electric vehicles (HEV)*, *plug-in hybrid electric vehicles (PHEV)*, dan *fuel cell vehicles (FCV)*. (Kumar & Jain, 2014)

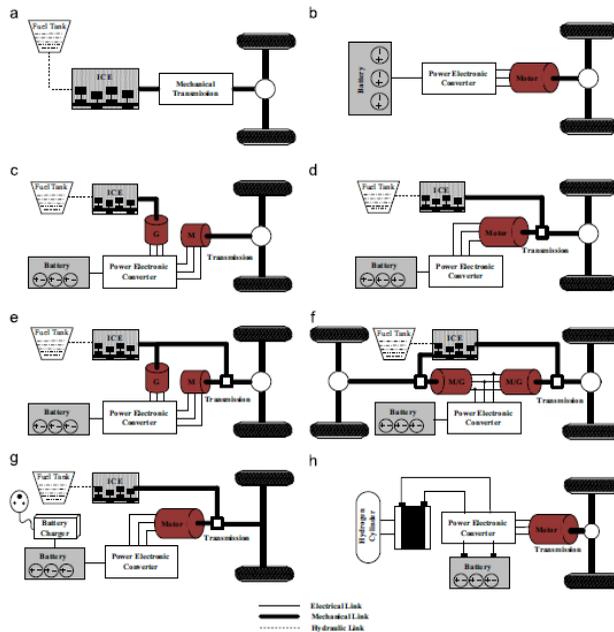
Berbagai keunggulan dimiliki oleh sistem propulsi elektrik dibandingkan sistem propulsi konvensional yang menggunakan motor pembakaran dalam. Dari sisi operasional, sistem ini memiliki tingkat keselamatan yang lebih baik, tingkat kebisingan yang rendah dan operasional yang lebih halus. Namun jika dibandingkan dengan sistem propulsi konvensional pada sisi tingkat emisi dan efisiensi, sistem propulsi elektrik jauh lebih unggul karena sama sekali tidak menggunakan bahan bakar minyak yang berarti tidak menghasilkan emisi (*zero emission*). Pada sistem propulsi konvensional, efisiensi maksimum adalah sekitar 30%-35% saja, sedangkan sistem propulsi elektrik bisa mencapai efisiensi maksimum sampai 90%. (Kumar & Jain, 2014)

Lamanya waktu pengisian ulang, dan keterbatasan dari *battery charge cycle*, atau keadaan dimana baterai akan berhenti beroperasi secara optimal setelah siklus pengisian ulang tertentu, menjadi penghambat dalam perkembangan sistem propulsi elektrik untuk menggantikan sistem propulsi konvensional. Untuk mengejar ketertinggalannya, banyak dilakukan hibridisasi daripada sistem propulsi elektrik agar mampu menyamai performa dengan efisiensi bahan bakar lebih tinggi dan emisi gas buang yang lebih rendah, karena saat ini belum ada yang mampu mengimbangi densitas energi dan daya daribahan bakar fosil, yang biasa digunakan sistem propulsi konvensional. (Kumar & Jain, 2014; Hannan, et al., 2014)

Pada dasarnya, sistem propulsi hybrid adalah sebuah sistem propulsi yang memiliki dua atau lebih sumber energi. Namun, pada umumnya penggunaan lebih dari dua konfigurasi sumber tenaga dapat menyebabkan sistem mengalami komplikasi. Keberadaan dua sumber energi pada sistem hybrid sendiri memberikan opsi yang lebih fleksibel bagi sistem, dan dapat mengoptimasi performa, efisiensi dan emisi apabila diberikan konfigurasi dan kontrol yang tepat. Misalkan pada hybrid motor pembakaran dalam dengan baterai, motor pembakaran dalam dapat memberikan daya yang ajek terutama bila dioperasikan untuk beban yang sesuai dengan kemampuan optimumnya, atau pada saat efisiensi maksimum dari motor dapat tercapai. Dan sumber tenaga elektrik, atau baterai dapat digunakan ketika dibutuhkan daya yang lebih dinamis, karena tingkat efisiensi baterai dan motor listrik yang tinggi pada kondisi dinamis. (Ehsani, et al., 2005).

Seperti dilihat pada gambar II.1, saat ini ada lima jenis sistem propulsi hybrid, yaitu: hybrid seri, hybrid paralel, hybrid seri-paralel, hybrid kompleks, dan hybrid plug in. Dimana perbedaan ini terdapat pada bagaimana sumber tenaga terhubung dengan transmisi dari sistem propulsi. Sistem propulsi hybrid-seri hanya menggunakan motor listrik atau

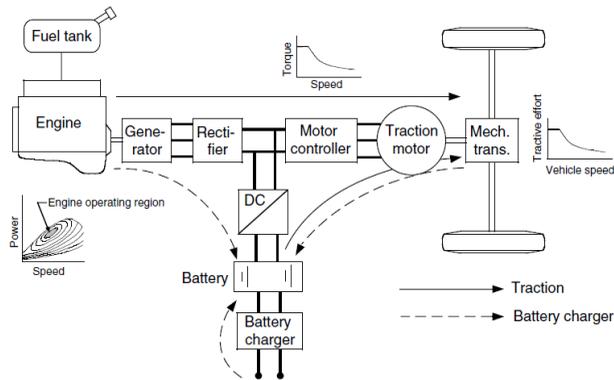
dari sumber tenaga elektrikal yang terhubung dengan transmisi, sedangkan pada transmisi sistem propulsi hybrid-paralel masing-masing sumber tenaga, baterai dan motor pembakaran dalam, terhubung langsung dengan transmisi. Untuk sistem propulsi hybrid-seri-paralel, kedua sumber tenaga masing-masing terhubung langsung dengan transmisi, dan terhubung juga pada generator.



Gambar II.1 Beberapa konfigurasi sistem propulsi: (a) konvensional; (b) baterai elektrik; (c) hybrid seri; (d) hybrid paralel; (e) hybrid seri-paralel; (f) hybrid kompleks; (g) hybrid plug-in; (h) fuel cell. (Kumar & Jain, 2014)

Sistem propulsi elektrik menggunakan tanki bahan bakar yang menyuplai motor pembakaran dalam sebagai sumber

tenaga tidak langsung yang digunakan untuk menggerakkan generator elektrik. Seperti terlihat di gambar II.2, listrik yang dihasilkan oleh generator kemudian dihubungkan dengan *rectifier* dan *dc converter* yang kemudian akan mengisi daya pada baterai. Ketika sistem dijalankan, hanya baterai yang akan digunakan dengan melalui *DC converter* yang terhubung dengan *motor controller*, dan kemudian akan memberikan daya pada motor listrik dan kemudian menggerakkan transmisi secara mekanik. (Ehsani, et al., 2005)



Gambar II.2 Konfigurasi sistem propulsi hybrid-seri elektrik (Ehsani, et al., 2005)

Secara umum, motor DC adalah motor penggerak yang paling banyak digunakan dalam sistem propulsi elektrik. Kelebihan-kelebihan yang dimilikinya antara lain adalah torsi awal yang tinggi dan kontrol kecepatan yang sederhana. Bagaimanapun, kekurangan yang dimiliki adalah konstruksinya yang cenderung memakan banyak ruang, efisiensi yang rendah dan kebutuhan yang tinggi dalam perawatan pada *mechanical commutators* dan *brushes*-nya. Juga cukup sulit digunakan pada kondisi yang ekstrim.

Alternatif daripada motor DC pada sistem propulsi elektrik, terutama untuk sistem dengan kebutuhan daya yang

besar, adalah *commutatorless motor*. Motor induksi, *permanent-magnet motor*, dan *switched-reluctance motor*, adalah beberapa contoh alternatifnya. Keberadaan *commutatorless motor* memberikan opsi dengan kelebihan antara lain densitas daya yang tinggi, efisiensi yang tinggi, serta operasional yang lebih andal dengan *speed range* yang lebih besar dari motor DC konvensional. (Kumar & Jain, 2014)

2.2 Motor DC

2.2.1 Prinsip Kerja Motor DC

Motor DC adalah satu jenis mesin listrik yang berfungsi merubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa gerak rotasi. Yang pada prinsipnya menggunakan fluks magnet pada kumparan medan dan kumparan jangkar. Motor DC berputar sesuai dengan hukum Lorentz yang menyatakan akan terbentuk gaya pada suatu penghantar listrik berarus yang berada di dalam medan magnet yang Pada motor DC medan magnet terbentuk di kumparan medan dan arus mengalir di kumparan jangkar.

Rumus hukum Lorentz adalah sebagai berikut:

$$F = B \times I \times L \quad (\text{II.1})$$

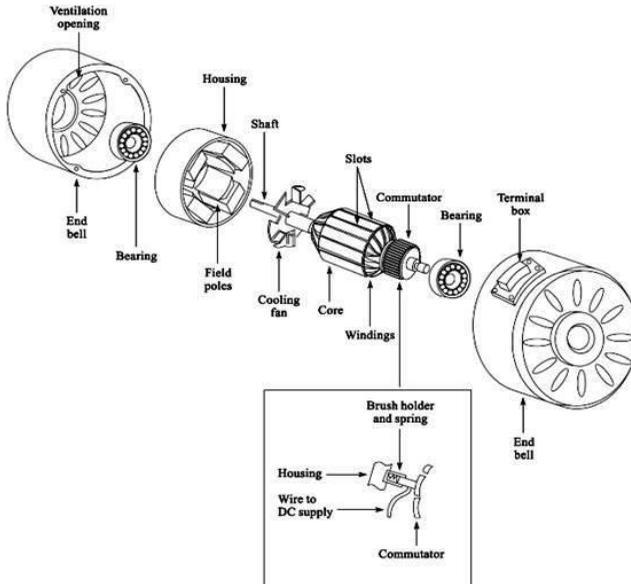
Dimana:

- F: Gaya yang terbentuk pada penghantar
- I: Arus pada kumparan jangkar (Ampere)
- B: Kerapatan fluks (weber/m²)
- L: Panjang konduktor (m)

2.2.2 Komponen Motor DC

Di dalam motor DC terdapat komponen-komponen penunjang sesuai dengan prinsip kerjanya. Komponen-komponen tersebut adalah terminal medan, kumparan jangkar,

komutator, dan sikat arang. Adapun ilustrasi komponen dapat dilihat pada gambar II.3.



Gambar II.3 Komponen Motor DC
(www.electrical-knowhow.com, 2012)

Terminal medan pada motor DC adalah sepasang kutub medan stasioner yang terdiri dari kutub utara dan kutub selatan. Kutub-kutub ini membentuk fluks magnetic yang bergerak dari utara ke selatan. Pada motor yang berukuran kecil kutub medan dapat berupa magnet permanen, namun pada motor berukuran besar menggunakan kumparan.

Kumparan jangkar adalah lilitan tembaga yang dapat berputar bila arus listrik melewatinya. Arus listrik yang melewati kumparan jangkar akan menimbulkan electromagnet yang memberikan gangguan pada fluks medan magnet dan menghasilkan gaya Lorentz. Arah dari gaya Lorentz ini

terpengaruh dari arah arus yang mengalir pada kumparan jangkar.

Komutator berfungsi sebagai pembalik arah arus listrik pada kumparan jangkar. Pembalikan arah ini bertujuan untuk tidak terjadinya perubahan arah arus yang bertemu dengan arah fluks medan.

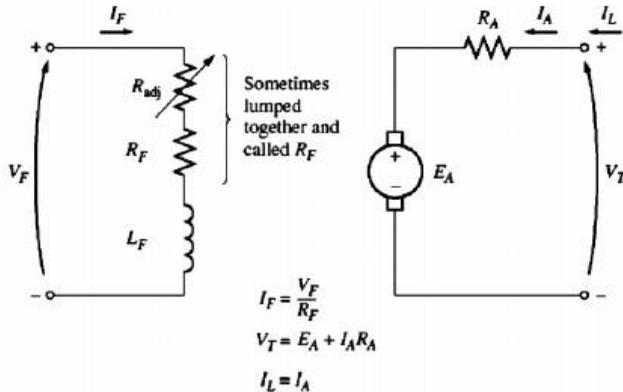
Sikat arang (atau *brush*) adalah pengantar arus dari sumber tegangan ke komutator. Biasanya terletak pada pengikat *brush* yang ada di ujung motor dan terbuat dari karbon dengan bentuk seperti balok. *Brush* yang terbuat dari karbon menimbulkan kerugian berupa tegangan jatuh pada tahanan *brush* pada penggunaannya (*brush contact drop*) dan mempengaruhi tegangan pada terminal jangkar. Nilai tegangan jatuh ini dianggap konstan 2V untuk *brush* dari karbon, dan 0.5V untuk *brush* dari logam grafit. (Theraja & Theraja, 1994)

2.2.3 Jenis Motor DC

Pada umumnya motor DC diklasifikasikan berdasarkan dari cara pembangkitan medan magnetnya, yaitu motor DC dengan penguatan sendiri dan dengan penguatan terpisah. Beberapa jenis motor DC yang ada saat ini adalah motor DC penguatan terpisah, motor DC seri, motor DC *compound*, motor DC *brushless*, motor DC magnet permanen, dan motor DC *shunt*.

2.2.3.1 Motor DC Penguatan Terpisah

Motor DC dengan penguatan terpisah menggunakan sumber tegangan yang terpisah untuk terminal medan dan kumparan jangkarnya. Pemisahan ini memungkinkan untuk pengaturan tegangan penguat tanpa mempengaruhi tegangan suplainya. Rangkaian motor DC dengan penguat terpisah dapat dilihat pada gambar II.4 berikut:

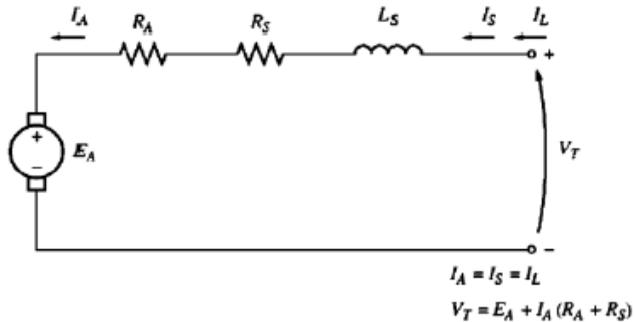


*Gambar II.4 Rangkaian motor DC penguat terpisah
(Fitzgerald, et al., 2003)*

Adapun pada praktiknya jika tegangan suplai dari motor DC penguatan terpisah diasumsikan memiliki besaran yang konstan maka tidak ada perbedaan antara motor DC *shunt* dengan motor DC dengan penguat terpisah.

2.2.3.2 Motor DC Seri

Motor DC seri adalah motor DC yang antara kumparan medan dan jangkarnya dirangkai secara seri sehingga kumparan medan dan jangkarnya disuplai oleh sumber tegangan yang sama. Berbeda dengan motor DC *shunt*, fluks yang dihasilkan oleh motor DC seri bergantung dari nilai arus jangkarnya. Penambahan beban berarti penambahan pada nilai fluks motor DC. Akibat penambahan beban ini juga berdampak pada penurunan nilai kecepatan yang tajam pada karakter torsi-putarannya. Rangkaian motor DC seri dapat dilihat pada gambar II.5 berikut:



*Gambar II.5 Rangkaian motor DC seri
(Fitzgerald, et al., 2003)*

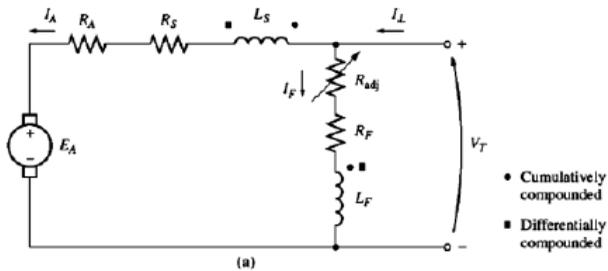
Pengaturan kecepatan pada motor DC seri hanya memiliki satu cara efektif, berbeda dengan motor DC *shunt*. Motor DC seri dapat diatur kecepatannya melalui mengatur tegangan suplainya, ketika tegangan naik maka putaran dari motor akan meningkat.

2.2.3.3 Motor DC Compound

Motor DC *compound* adalah motor DC yang memiliki medan *shunt* dan medan seri pada rangkaiannya. Arus yang mengalir melalui kedua kumparan medan (medan *shunt* dan medan seri) akan menghasilkan resultan gaya magnet lebih besar, atau disebut sebagai *cummulative compounding*. Rangkaian motor DC *compound* dapat dilihat pada gambar II.6 berikut:

Motor DC *compound* dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan tipikal eksitasi yang diberikan, yaitu motor DC *cumulative compound* dan motor DC *differential compound*. Motor DC *cumulative compound* menggunakan fluks medan dari *shunt*-nya untuk membantu medan utamanya, sehingga total fluks yang dihasilkan motor DC *cumulative compound* adalah jumlah fluks yang dihasilkan medan *shunt* dan seri.

Motor DC *differential compound* menghasilkan fluks medannya dari medan *shunt* yang dikurangi dengan fluks dari medan seri. (Fitzgerald, et al., 2003)



Gambar II.6 Rangkaian motor DC compound
(Fitzgerald, et al., 2003)

2.2.3.4 Motor DC Brushless

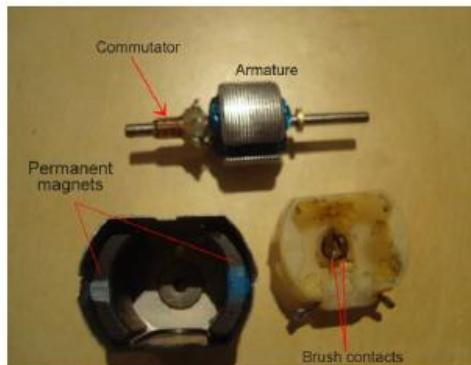
Motor DC *brushless*, seperti namanya, adalah motor DC tanpa sikat arang (*brush*). Motor ini dapat menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan tinggi. Motor DC ini menggunakan magnet permanen yang berputar (rotor) mengitari terminal jangkar yang diam (stator). Kelebihan motor DC ini adalah pengoperasian yang halus dan torsi yang terjaga pada kecepatan stasioner. Ilustrasi stator dan rotor pada motor DC *brushless* dapat dilihat pada gambar berikut:

Motor DC *brushless* dibedakan menjadi dua berdasarkan letak rotornya. Yaitu motor DC *brushless* rotor di bagian luar dan rotor di bagian dalam. Perbedaannya hanya dalam segi rancangan namun prinsip kerjanya tetaplah sama. Motor DC *brushless* dengan rotor di bagian luar memiliki torsi yang besar dan sering digunakan. Motor DC *brushless* dengan rotor di bagian dalam dapat memerangkap panas, sehingga cocok digunakan pada aplikasi arus rendah.



*Gambar II.7 Stator dan rotor pada motor DC brushless
(Daware, 2014)*

2.2.3.5 Motor DC Magnet Permanen



*Gambar II.8 Stator dan rotor pada motor DC magnet permanen
(Daware, 2014)*

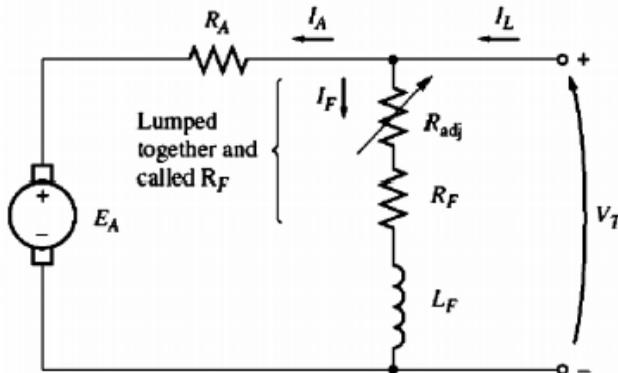
Motor DC magnet permanen, kumparan medan dan kumparan jangkar digantikan dengan magnet permanen, seperti terlihat pada gambar. Karena secara prinsip motor DC dapat bekerja dengan membangkitkan medan magnet dan berputar oleh gaya magnet yang tercipta di medan tersebut.

Secara umum motor DC magnet permanen sama dengan motor DC *shunt*, hanya dengan fluks dihasilkan yang tetap.

Aplikasi motor DC magnet permanen umumnya diugnakan untuk ukuran kecil. Beberapa contoh aplikasinya adalah pada mobil, mainan, wiper, penyejuk ruangan, kipas komputer dan lain-lain. (Daware, 2014)

2.2.3.6 Motor DC Shunt

Motor DC *shunt*, rangkaiannya terilustrasikan pada gamabar II.9, adalah motor yang akan digunakan pada eksperimen tugas akhir ini. Motor DC *shunt* termasuk ke dalam jenis motor DC dengan penguatan sendiri karena medan dan jangkarnya di suplai oleh sumber tegangan yang sama. (Chapman, 2012)



Gambar II.9 Rangkaian motor DC shunt
(Fitzgerald, et al., 2003)

2.3 Power Inverter

Power inverter adalah alat yang merubah listrik DC menjadi AC. Tujuan dari power inverter adalah mengambil daya DC dari baterai, contohnya baterai 12V, dan merubahnya

menjadi sumber daya AC dengan tegangan dan frekuensi tertentu, di Indonesia menggunakan 220V 50Hz.



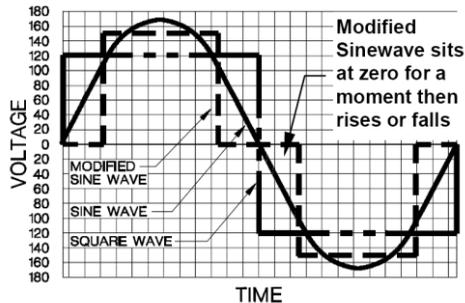
Gambar II.10 Power inverter 200 Watt (Doucet, et al., 2007)

Power inverter, seperti terlihat pada Gambar II.10, banyak digunakan untuk memberikan daya pada peralatan di mobil, seperti telepon genggam, radio dan televisi. Alat ini memberikan kemampuan untuk lebih *mobile* dan membebaskan dari kabel yang panjang.

Saat ini tersedia dua macam power inverter, yaitu *modified sine wave* dan *pure sine wave*. Perbedaannya ada pada output yang memberikan perbedaan dalam efisiensi dan distorsi yang dapat mempengaruhi benda elektronik.

Modified sine wave memiliki kemiripan dengan *square wave*, dapat dilihat pada Gambar II.11, namun terdapat "stepping" yang membuatnya berbentuk seperti *sine wave*. Gelombangnya mudah dihasilkan karena hanya menggunakan 3 nilai dalam pengaturan frekuensinya, sehingga tidak menggunakan rangkaian yang lebih rumit dalam menghasilkan *pure sine wave*. Power inverter dengan *modified*

sine wave memberikan solusi murah dan mudah untuk memberikan daya pada benda yang membutuhkan listrik AC. Kelemahannya adalah tidak dapat bekerja dengan maksimum pada beberapa benda seperti komputer dan peralatan kesehatan karena adanya distorsi sinyal.



Gambar II.11 Gelombang square, modified dan pure sine (Doucet, et al., 2007)

Power inverter dengan tipe *pure sine wave* mampu mensimulasikan listrik AC dengan tepat seperti yang dihasilkan dari listrik konvensional (PLN). Harga dari power inverter ini lebih mahal daripada *modified sine wave* karena rangkaian yang lebih kompleks. Kelebihan dari power inverter ini adalah mampu menyalakan berbagai elektronik dengan listrik AC, membuat beban induktif untuk berjalan lebih cepat dan lebih senyap, dan berkurangnya *noise* pada peralatan audio, TV dan lampu *fluorescent*. (Doucet, et al., 2007)

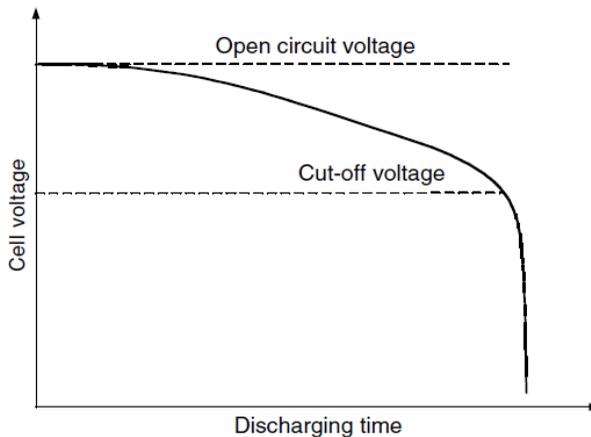
2.4 Baterai

Baterai memegang peranan penting dalam teknologi propulsi elektrik. Sebagai media penyimpanan energi elektrik, baterai memiliki densitas energi dan daya yang besar untuk memenuhi siklus operasi kendaraan. Baterai elektrokimia mengubah energi kimia ke energi listrik dan sebaliknya pada

proses pemakaian dan pengisian ulang. Saat ini baterai yang cocok untuk sistem propulsi elektrik adalah baterai dari lithium, seperti lithium ion dan lithium polymer, juga dari nikel, seperti Ni-Cd dan Ni-MH. (Kumar & Jain, 2014)

Kapasitas baterai didasarkan pada *coulometric capacity*-nya yaitu *amp-hours*, yang bisa didefinisikan sebagai *amp-hours* yang dihasilkan baterai dari keadaan terisi penuh sampai ke *cut-off voltage*-nya, seperti terlihat pada gambar II.3. Arus *discharge* menentukan *amp-hours* daripada baterai, semakin besar arus *discharge*-nya semakin kecil kapasitas daripada baterai, karenanya produsen baterai menentukan *amp-hours* daripada baterai berdasarkan dengan arus yang mampu disimpan.

Efisiensi daripada baterai adalah hal penting dalam penghematan bahan bakar dalam sistem propulsi elektrk. Dengan perawatan yang tepat efisiensi baterai dapat mencapai 94%, namun apabila terjadi penurunan efisiensi sebesar 1% saja dapat mengakibatkan peningkatan konsumsi bahan bakar sebesar 10%-40%. Dan apabila efisiensi telah turun sebanyak 3%, makan sistem propulsi hybrid elektrik secara ekonomis sudah tidak layak untuk digunakan.



Gambar II.12 Cut-off voltage pada baterai.

State of charge (SOC) adalah parameter penting daripada baterai yang didefinisikan sebagai perbandingan kapasistas tersisa dengan penuh. Dimana keadaan penuh adalah pada 100% dan keadaan kosong adalah 0%, namun perlu diingat bahwa kapasistas baterai dapat berubah sesuai dengan arus *discharge* nya dan *cut-off voltage* yang berada tidak di SOC 0%.

Perubahan SOC berdasarkan interval waktu, dt , dibandingkan dengan arus i dapat dirumuskan sebagai:

$$\Delta SOC = \frac{i dt}{Q(i)} \quad (\text{II. 2})$$

dimana $Q(i)$ adalah kapasitas *amp-hour* pada arus tertentu. Ketika *discharge*, i adalah positif dan sebaliknya ketika *charge*, sehingga SOC dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$SOC = SOC_0 - \int \frac{i dt}{Q(i)} \quad (\text{II. 3})$$

dimana SOC_0 adalah nilai awal dari SOC.

Pada kendaraan elektrik atau hybrid-elektrik (EV & HEV) kapasitas energi lebih penting daripada kapasitas *coulometric* (Ahs), dikarenakan hal tersebut mempengaruhi langsung operasional kendaraan. Dan energi yang dihantarkan oleh baterai dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$EC = \int_0^t V(i, SOC) i(t) dt \quad (\text{II. 4})$$

dimana $V(i, SOC)$ adalah tegangan terminal baterai, yang adalah fungsi dari arus baterai dan SOC.

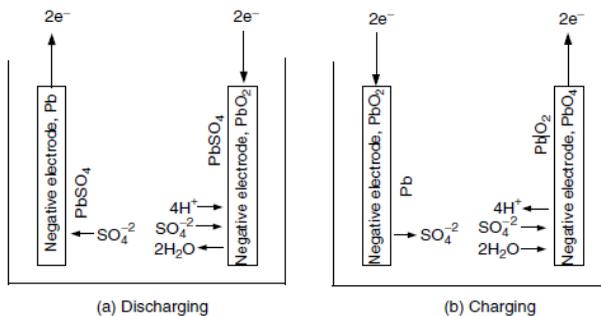
Untuk menjaga efisiensi baterai, dan untuk melakukan pengaturan beban yang optimal, baterai perlu dijaga pada kondisi 100%-20% SOC. Baterai telah memasuki kondisi perlu

diisi ulang dayanya ketika kondisi SOC baterai telah mencapai titik 50%. Dan secara teoritis, efisiensi pengisian ulang daya baterai dapat mencapai 100% pada arus yang sangat rendah (*ultra-low current*), namun umumnya diasumsikan pada 100%-97% saja. (Dedes, et al., 2016)

2.4.1 Reaksi Elektrokimia

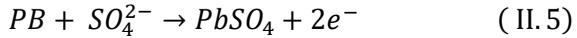
Seperti dijelaskan sebelumnya, baterai menggunakan reaksi elektrokimia untuk menghasilkan energi listrik dan sebaliknya untuk menyimpan energi listrik. Baterai *lead-acid* sebagai baterai yang paling sering digunakan, dan digunakan dalam skripsi ini, sebagai sistem propulsi akan digunakan untuk menjelaskan prinsip kerja baterai elektrokimia.

Baterai *lead-acid* menggunakan larutan asam sulfat ($2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$) sebagai elektrolit. Dan elektrodanya dari *porous lead* (Pb) sebagai anoda (kutub negatif) dan *porous lead oxide* (PbO_2) sebagai katoda (kutub positif). Pada keadaan standard baterai *lead-acid* memiliki tegangan *cell* sekitar 2.03V yang dipengaruhi oleh konsentrasi daripada elektrolitnya.

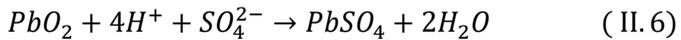


Gambar II.13 Reaksi elektrokimia yang terjadi ketika penggunaan dan pengisian ulang daya dari cell baterai *lead-acid* (Ehsani, et al., 2005)

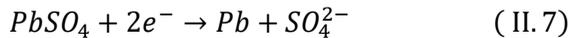
Dalam reaksi elektrokimia nya, timbal (*lead*) terurai membentuk timbal sulfat (*lead sulfate*), dengan persamaan kimianya sebagai berikut:



Dua electron yang dilepaskan dari reaksi tersebut menimbulkan peningkatan muatan negative pada elektroda yang menghasilkan aliran electron ke rangkaian eksternal menuju elektroda positif (katoda). Pada katoda, terjadi reaksi perubahan timbal pada PbO_2 ke $PbSO_4$ yang mengakibatkan terbentuknya air. Reaksi kimianya dapat dituliskan sebagai berikut:



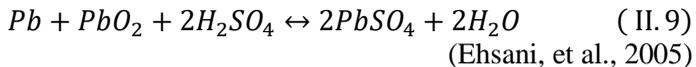
Pada pengisian ulang, reaksi terbalik terjadi pada anoda dan katoda. Reaksi yang terjadi di anoda dapat dituliskan sebagai berikut:



dan reaksi pada katoda dapat dituliskan sebagai berikut:



sehingga keseluruhan reaksi kimia yang terjadi pada baterai *lead-acid* dapat dituliskan sebagai berikut:



2.4.2 Rugi dan Efisiensi Baterai

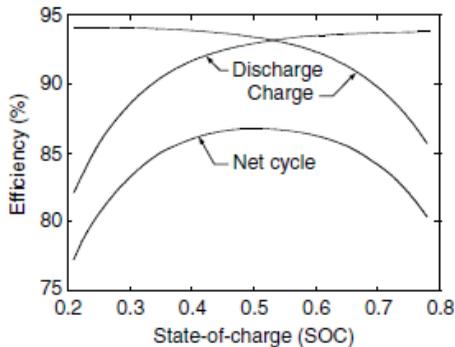
Rugi energi atau daya (*energy or power losses*) pada saat *discharge* atau *charge* baterai dinyatakan dalam bentuk rugi tegangan (*voltage loss*). Karenanya, efisiensi baterai dapat ditentukan pada titik operasi manapun dalam bentuk perbandingan dari tegangan saat beroperasi dengan tegangan thermodynamic atau tegangan pada saat tanpa beban. Persamaan efisiensi baterai pada saat *discharge* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{V}{V_0} \quad (\text{II. 10})$$

dan persamaan pada saat *charge* adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{V_0}{V} \quad (\text{II. 11})$$

(Ehsani, et al., 2005)



Gambar II.14 Karakteristik efisiensi charge dan discharge baterai (Ehsani, et al., 2005)

Tegangan terminal, yang merupakan fungsi dari arus baterai dan energi tersimpan atau SOC, lebih rendah pada kondisi *discharge* dan lebih tinggi ketika *charge* dibandingkan dengan potensial elektrik yang dihasilkan ketika reaksi kimia terjadi. Ketika SOC pada kondisi tinggi, maka baterai memiliki efisiensi *discharge* yang tinggi juga, berkebalikan ketika kondisi *charge*, dimana efisiensi tinggi terdapat ketika SOC dalam kondisi rendah. Titik maksimum efisiensi bersih (*net efficiency*) berada pada kisaran tengah daripada SOC, karenanya sistem kontrol baterai pada sistem propulsi elektrik/hybrid sebaiknya menempatkan SOC baterai pada kisaran tengahnya untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi kenaikan temperatur yang disebabkan rugi energi. (Ehsani, et al., 2005)

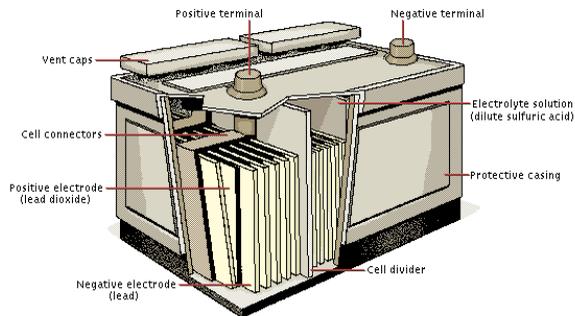
2.4.3 Jenis Baterai

Baterai yang saat ini memungkinkan digunakan untuk sistem propulsi elektrik/hybrid adalah baterai *lead-acid*, *nickel-based*, dan *lithium-based*. Dalam jangka waktu dekat terlihat bahwa baterai *lead-acid* yang akan tetap mendominasi diakarenakan kelebihan-kelebihannya. Namun, dalam jangka waktu menengah dan panjang, baterai *cadmium-based* dan *lithium-based* akan menjadi pemain besar bagi sistem propulsi elektrik/hybrid. (Ehsani, et al., 2005)

2.4.3.1 Baterai *Lead-Acid*

Baterai *lead-acid*, seperti terlihat pada Gambar II.15, sukses secara komersial digunakan sebagai media penyimpanan energi untuk bidang otomotif dan aplikasi lainnya. Biaya produksi dan perawatan yang rendah, teknologi yang maju, siklus penggunaan, dan terutama kemampuan dayanya yang besar yang bagus adalah beberapa keunggulan dari baterai ini yang membuat penggunaannya pada sistem

propulsi elektrik sangat tinggi. Material yang digunakan (timbal, timbal oksida, asal sulfur) berbiaya rendah jika dibandingkan dengan saingannya yang lebih canggih. Beberapa kekurangannya adalah kepadatan energy yang rendah karena tingginya berat molecular daripada timbal. Karakteristik temperatur operasional nya juga cukup buruk karena pada temperatur -10°C , daya spesifik dan energi spesifiknya mengalami penurunan yang cukup besar. Aspek tersebutlah yang membatasi penggunaan baterai *lead-acid* untuk sistem propulsi yang beroperasi di iklim dingin.



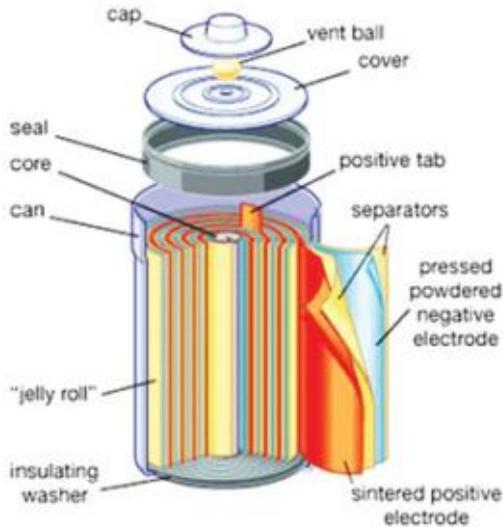
Gambar II.15 Komponen baterai *lead-acid*
(REUK.co.uk, 2016)

2.4.3.2 Baterai *Nickel-based*

Nikel adalah material yang lebih ringan daripada timbal dan memiliki sifat elektrokimia yang lebih baik dan cocok bagi aplikasi baterai. Beberapa jenis baterai dengan *nickel-based* adalah: *nickel-iron*, *nickel-cadmium*, dan *nickel-metal hydride*.

Baterai *nickel-iron* menjadi komersial pada awal abad 20, dengan aplikasi pada *fork-lift*, lokomotif, kendaraan *shuttle*, dan *hand-truck*. Kelebihan baterai ini adalah *power density* yang lebih tinggi dibandingkan baterai *lead-acid* dan

kemampuannya untuk mencapai 2000 *deep discharge*. Kelemahan yang dimiliki baterai *nickel-based* adalah terjadinya *gassing*, korosi, *self-discharge*, dan biaya yang dibutuhkan jauh lebih besar dibandingkan baterai dari timbal.



Gambar II.16 Komponen baterai nickel-cadmium(Ni-Cd) (Pandey, 2015)

Baterai *nickel-cadmium* (Ni-Cd), seperti terlihat pada Gambar II.16, memiliki performa yang hampir sama dengan baterai. Baterai ini memiliki *specific power* yang cukup tinggi (diatas 220 W/kg), siklus *charge/discharge* yang lama (diatas 2000 kali), toleransi gangguan elektrik dan mekanikal yang tinggi, *voltage drop* yang rendah pada berbagai arus *discharge*, kemampuan *charge* yang cepat (40-80% dalam 18 menit), temperatur operasional yang fleksibel (-40 sampai 85° C), *self-discharge* yang rendah (<0.5% per hari), kemampuan untuk disimpan dalam waktu lama karena sedikitnya korosi dan ukurannya yang bervariasi. Kekurangannya adalah harga awal

yang tinggi, tegangan cell yang rendah, dan sifat *cadmium* yang karsinogenik dan berbahaya terhadap lingkungan.

Baterai *nickel-metal hydride* (Ni-MH) sudah ada sejak 1992. Memiliki karakteristik yang hampir sama dengan baterai *nickel-cadmium*, namun dibedakan dengan penggunaan hidrogen yang diserap oleh logam hidrida. Kelebihannya adalah memiliki *specific-energy* tertinggi (70 sampai 95 Wh/kg) dan *specific-power* tertinggi diantara baterai *nickel-based* lainnya (200 sampai 300 W/kg), ramah lingkungan, *voltage drop* yang rendah, dan kemampuan pengisian ulang yang cepat. Kekurangannya adalah biaya awal yang tinggi dan eksotermik ketika pengisian ulang. Baterai ini adalah salah satu yang paling ideal dalam aplikasi sistem propulsi elektrik. (Ehsani, et al., 2005)

2.4.3.3 Baterai *Lithium-based*

Lithium adalah logam yang paling ringan dan menawarkan karakteristik yang menarik dalam sudut pandang elektrokimia. Dengan kemampuan tegangan termodinamik yang tinggi, sehingga memiliki *specific-energy* dan *specific-power* yang tinggi juga. Dua jenis baterai *lithium-based* yang umum adalah *lithium-polymer* dan *lithium-ion*.

Baterai *lithium-polymer* (Li-P) beroperasi pada nominal tegangan 3V, *specific-energy* sebesar 155 Wh/kg dan *specific-power* sebesar 315 W/kg. Kelebihan yang dimiliki adalah rendahnya *self-discharge* (0.5% per bulan), kemudahan dan variasi bentuk dan ukuran dalam fabrikasi, serta desain yang aman. Kekurangannya adalah kemampuan yang buruk di suhu yang rendah karena ketergantungannya pada konduktivitas ionic.

Baterai *lithium-ion* (Li-Ion), seperti terlihat pada gambar Gambar II.17, pertama kali diperkenalkan pada tahun 1991, sejak saat itu telah berkembang menjadi baterai *rechargeable* paling menjanjikan di masa depan. Walaupun masih dalam

tahap pengembangan, namun baterai ini telah mendapatkan penerimaan untuk aplikasi sistem propulsi elektrik. Diperkirakan pengembangan baterai Li-ion akan mengarah ke *manganese-based* karena biayanya yang rendah, sumber daya yang melimpah, dan ramah lingkungan. (Ehsani, et al., 2005)



Gambar II.17 Contoh baterai lithium-ion (Li-ion) (Smart Battery, 2016)

2.4.4 Discharge Test

Dalam sistem propulsi elektrik, terutama pada kapal, ada lima pengujian pokok yang perlu dilakukan terhadap baterai, yaitu *cell balancing*, *SOC validation*, *charging behavior*, *discharge behavior*, dan *capacity check*. (DNV GL, 2013)

Saat ini ada beberapa metode pengujian baterai yang dilakukan. Untuk standar USABC, pengujian dilakukan selama 48 jam. Dimana pengujian berfokus pada kapasitas dan daya puncak (*peak power*) yang mampu dihasilkan oleh baterai. Pengujian daya puncak dilakukan dengan 30 *pulse* setiap 10% *depth of discharge* (DOD), dari 0%-90% DOD

tanpa ada *regenerative breaking* dengan dua tingkat arus yang didefinisikan sebagai arus dasar (*base current*) dan arus puncak (*peak current*). Pengujian akan dilakukan apabila kondisi stress maksimum daripada baterai telah tercapai pada 80% DOD atau performa baterai tidak mencapai kriteria. (Robertson, et al., 2016)

Salah satu metode dalam *dishcharge test* adalah pengujian sampai baterai habis dengan menggunakan arus yang mampu merepresentasikan penggunaan baterai pada beban maksimum. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas baterai, dan kemampuan baterai untuk beroperasi pada arus yang terjadi pada beban maksimum. (Megger, 2003-2004)

Baterai pada saat *discharge* akan kehilangan tegangan dan terjadi kenaikan hambatan. (All About Circuits, n.d.) Karena itu pengukuran pada *discharge test* didasarkan pada tegangan yang terukur secara periode waktu tertentu. Dan adapun performa daripada baterai sangat terpengaruh pada SOC, kapasitas, temperatur dan usia daripada baterai tersebut. (Hannan, et al., 2014)

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

Metodologi tugas akhir adalah urutan pengerjaan tugas akhir yang dilakukan sejak dimulainya pengerjaan hingga akhir. Pengerjaan tugas akhir ini membutuhkan data-data yang riil dari eksperimen untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan kajian teori. Metodologi penelitian ini dimulai dari mengidentifikasi masalah, studi literatur mengenai baterai pada sistem propulsi elektrik, analisa teoritis, perancangan eksperimen yang akan dilakukan, perancangan rangkaian dan spesifikasi alat yang akan digunakan dalam eksperimen, perancangan eksperimen dan terakhir kesimpulan dan saran.

3.1.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

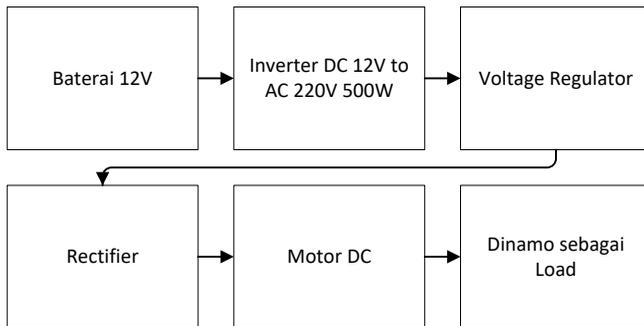
Pada tahap ini menentukan apa yang akan diangkat dan dibahas pada tugas akhir. Kemudian merumuskan masalah apa saja yang akan dibahas pada tugas akhir ini. Pada skripsi ini akan membahas mengenai hubungan performa baterai DC 12V dengan motor DC yang ada di laboratorium listrik dan otomasi kapal dengan metode eksperimen *discharge test* dengan tujuan merepresentasikan sistem propulsi elektrik pada kapal.

3.1.2 Studi Literatur

Pada tahap ini, mencari literatur-literatur yang mendukung untuk proses pengerjaan tugas akhir. Literatur yang dicari berhubungan dengan teori motor DC, teori baterai, dan teori pengujian baterai. Bahan-bahan dapat berasal dari buku, jurnal, diktat, modul kuliah dan internet, dll.

3.1.3 Perancangan Eksperimen

Pada tahap ini dilakukan perancangan alat yang akan digunakan sesuai dengan kebutuhan eksperimen dan alat yang sudah tersedia di laboratorium listrik dan otomasi kapal. Adapun alat yang tersedia diawal adalah motor DC feedback tipe no. 63-110. Diagram blok rangkaian yang akan digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar III.1 Diagram blok rangkaian eksperimen

3.1.4 Pembuatan Alat untuk Eksperimen

Pada tahap ini akan memulai membuat alat yang dibutuhkan dalam eksperimen sesuai dengan kebutuhan alat yang telah ditetapkan sebelumnya dalam tahap perancangan eksperimen.

3.1.5 Pemeriksaan Kesiapan Alat

Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan alat secara fisik dan visual untuk mencegah terjadinya kerusakan atau bahaya yang timbul karena kesalahan pembuatan alat.

3.1.6 Uji Coba Alat

Pada tahap ini alat dijalankan untuk mengetahui kemampuannya dalam melaksanakan eksperimen. Keberhasilan alat untuk memenuhi atau tidak rancangan yang telah dibuat sebelumnya menentukan apakah akan dilakukan eksperimen atau perancangan ulang eksperimen.

3.1.7 Eksperimen

Pada tahap ini dilaksanakan eksperimen menggunakan alat yang telah dibuat dan dirancang sebelumnya. Variabel yang digunakan pada eksperimen ini adalah sebagai berikut:

- Variabel kontrol
Variabel yang dibuat sama pada eksperimen ini adalah Motor DC Feedback tipe no. 63-110 dan Baterai DC 12V.
- Variabel bebas
Variabel yang divariasikan pada eksperimen ini adalah beban yang diberikan pada motor DC.
- Variabel terikat
Variabel yang tergantung pada variable bebas adalah tegangan baterai, tegangan motor, arus motor, kecepatan motor, tegangan eksitasi dan tegangan luaran generator beban yang teramati.

3.1.8 Analisa Data Hasil Eksperimen

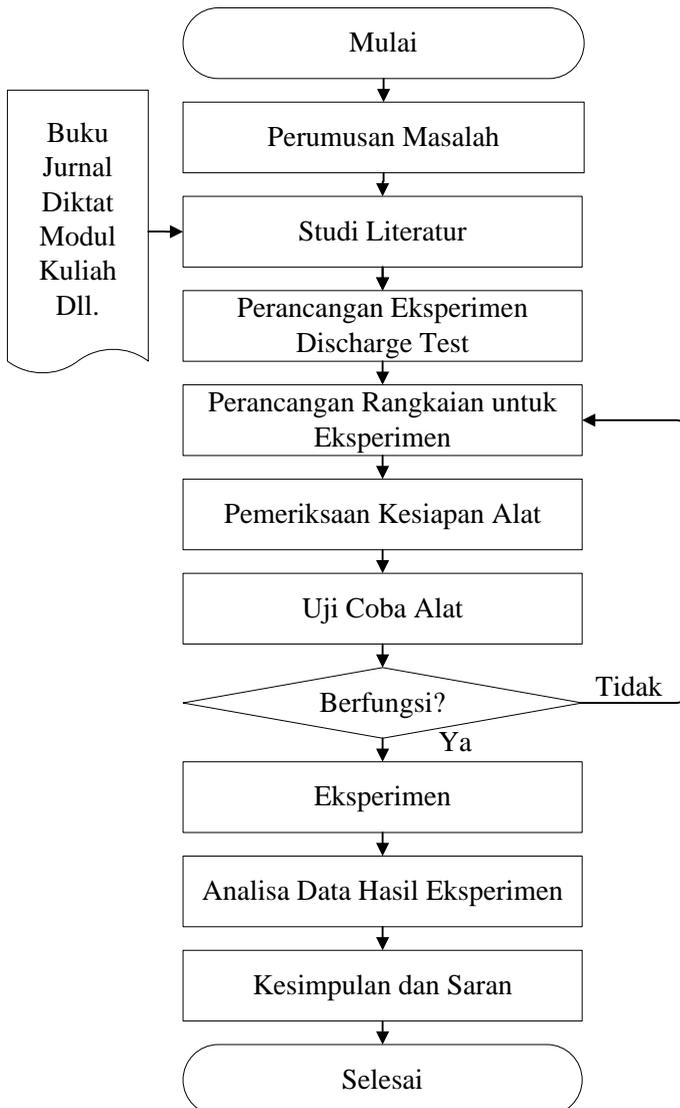
Pada tahap ini data hasil eksperimen yang telah didapat akan diolah menjadi bentuk grafik untuk mendapatkan performa baterai. Performa baterai ini akan menunjukkan tingkat tegangan yang dihitung pada interval waktu tertentu.

Grafik mengenai performa baterai dan motor DC yang telah didapatkan datanya dari eksperimen akan dianalisa untuk menjawab rumusan masalah yang telah dikemukakan sebelumnya.

3.1.9 Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan analisa dan pembahasan, kemudian menyimpulkan kesimpulan dan saran. Kesimpulan berdasarkan pada analisa dan pembahasan yang telah dilakukan. Saran untuk masukan dan pertimbangan untuk orang lain apabila ingin melakukan analisa yang lebih lanjut.

3.2 Flowchart Penelitian



3.3 Eksperimen *Discharge Test*

Eksperimen *discharge test* adalah dengan melakukan *discharge* pada baterai pada beban tertentu dengan tujuan untuk mengamati perubahan yang terjadi daripada baterai dan faktor-faktor lain yang terpengaruh dari perubahan tegangan baterai.

Untuk melakukan eksperimen *discharge test* pada skripsi ini akan dilakukan perancangan dari rangkaian eksperimen dengan tujuan untuk menghubungkan baterai dengan beban. Pada eksperimen ini baterai yang digunakan bertegangan 12V DC dan beban yang digunakan adalah motor DC Feedback tipe no. 63-110 yang memiliki tegangan 220V DC, sehingga tegangan perlu dinaikkan untuk memenuhi kebutuhan motor DC. Variasi daripada beban yang diberikan pada motor DC dengan tujuan untuk mendapatkan keragaman data.

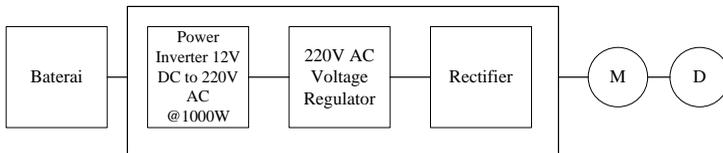
3.3.1 Rangkaian Eksperimen

Rangkaian pada eksperimen ini memiliki tujuh komponen utama, yaitu baterai, *power inverter* 12V DC to 220V AC 1000W, 220V AC *voltage regulator*, *rectifier*, motor DC Feedback tipe No. 63-110, dan beban dinamo yang berupa generator sinkron 3 fasa Feedback.

Baterai yang digunakan berjenis VRLA yang akan dihubungkan dengan *power inverter* berkapasitas 1000W yang berfungsi merubah arus DC menjadi arus AC (*modified sine wave*) dan menaikkan tegangan masukkan 12V menjadi tegangan luaran 220V sehingga sesuai dengan tegangan 220V yang dibutuhkan oleh motor DC. *Power inverter* kemudian dihubungkan dengan 220V AC *voltage regulator* agar tegangan yang masuk ke motor DC dapat diatur sesuai dengan keinginan. *Voltage regulator* yang luarannya adalah listrik AC dihubungkan dengan *rectifier* yang akan merubah listrik AC menjadi DC sehingga bisa digunakan oleh motor DC Feedback

tipe no. 63-110. Motor DC kemudian dihubungkan dengan dinamo sebagai beban, adapun dinamo ini adalah generator sinkron 3 fase Feedback yang mendapatkan arus eksitasi dari penyuplai daya DC 220V powerframes Feedback. Pengukuran data akan dilakukan dengan menggunakan multimeter, *tachometer*, dan voltmeter-ammeter yang ada pada powerframe Feedback di Laboratorium Listrik dan Otomasi Kapal (MEAS).

Adapun dalam eksperimen *discharge test* yang dilakukan di skripsi ini, blok rangkaian yang akan digunakan pada eksperimen adalah seperti pada Gambar IV.I berikut:



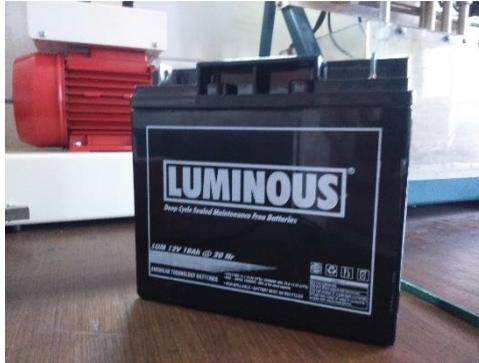
Gambar III.2 Blok rangkaian eksperimen *discharge test*

3.3.2 Spesifikasi Rangkaian Eksperimen

Spesifikasi komponen dalam eksperimen ini perlu disesuaikan dengan kebutuhan agar bisa mendapatkan hasil pengukuran yang tepat dan representatif dalam skripsi ini.

3.3.2.1 Spesifikasi Baterai

Baterai yang digunakan dalam eksperimen ini adalah baterai *valve-regulated lead-acid battery* (VRLA) merk Luminous dengan kapasitas 18 Ah seperti terlihat pada Gambar III.3. Pengisian ulang baterai dilakukan dengan 12V DC *battery charger* dengan arus pengisian sebesar 3-5A seperti terlihat pada Gambar III.4.



Gambar III.3 Baterai Luminous 12V 18Ah yang digunakan untuk eksperimen



Gambar III.4 Pengisian ulang baterai

3.3.2.2 Spesifikasi Power Inverter

Power inverter yang digunakan dalam eksperimen ini adalah *power inverter* merk SUOER dengan tipe SAA-1000 12V DC ke 220V AC dengan tipe *modified sine wave* berkemampuan 1000W seperti terlihat pada Gambar III.5.



*Gambar III.5 Inverter SUOER tipe SAA-1000
12V DC ke 220V AC 1000W modified sine wave
yang digunakan untuk eksperimen*

3.3.2.3 Spesifikasi AC Voltage Regulator

AC Voltage regulator yang digunakan dalam eksperimen ini adalah voltage regulator Matsunaga model 241W AC 220V 2KVA yang terdapat di Laboratorium Listrik dan Otomasi Kapal seperti terlihat pada Gambar III.6.

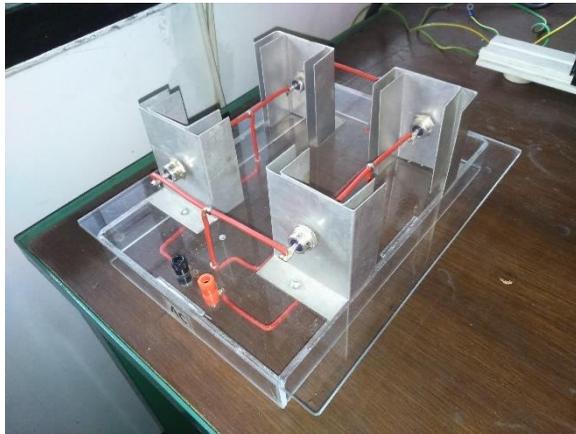
3.3.2.4 Spesifikasi Rectifier

Rectifier yang digunakan dalam eksperimen ini adalah rectifier dengan kemampuan merubah 230V AC menjadi 230V

DC yang terdapat di Laboratorium Listrik dan Otomasi Kapal seperti terlihat pada Gambar III.7.



Gambar III.6 Voltage Regulator Matsunaga 241W 2KVA yang digunakan untuk eksperimen



Gambar III.7 Rectifer yang digunakan dalam eksperimen

3.3.2.5 Spesifikasi Motor DC

Motor DC yang digunakan dalam eksperimen ini adalah Motor DC Feedback tipe No. 63-110 dengan tegangan nominal 220V yang terdapat di Laboratorium Listrik dan Otomasi Kapal seperti terlihat pada Gambar III.8.



Gambar III.8 Motor DC Shunt Feedback tipe No. 63-110 220V yang digunakan dalam eksperimen.

3.3.2.6 Spesifikasi Dinamo

Dinamo yang digunakan sebagai beban motor DC dalam eksperimen ini adalah Generator Sinkron Tiga Fase Feedback Tipe No. 64-510 dengan tegangan nominal eksitasi sebesar 150V yang terdapat di Laboratorium Listrik dan Otomasi Kapal seperti terlihat pada Gambar III.9. Generator ini kemudian dihubungkan dengan beban lampu yang ada di Laboratorium Listrik dan Otomasi Kapal dengan maksimum beban setiap fase adalah sebesar 160 W yang terbagi dengan

empat buah lampu bohlam 40W seperti terlihat pada Gambar III.10.



Gambar III.9 Generator Sinkron Tiga Fase Feedback Tipe No. 64-510 yang digunakan dalam eksperimen



Gambar III.10 Beban lampu yang digunakan dalam praktikum dengan beban maksimal setiap fasa adalah 160W

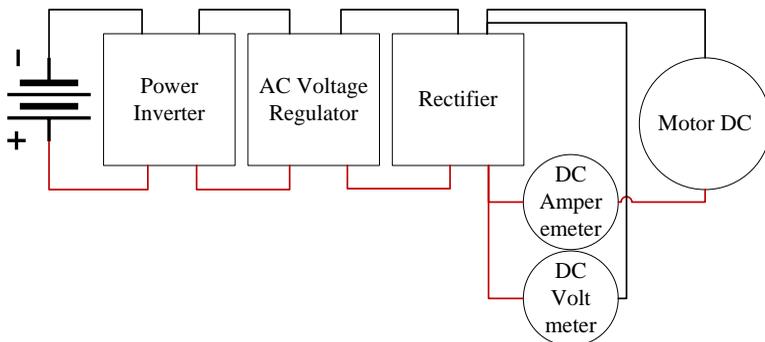
3.3.3 Kegiatan Eksperimen

Dalam eksperimen *discharge test* yang dilakukan, data-data yang akan diukur adalah sebagai berikut:

1. Waktu total eksperimen sampai baterai habis dimulai ketika tegangan motor dan tegangan eksitasi tercapai,
2. Tegangan baterai setiap dua menit,
3. Arus baterai setiap dua menit,
4. Tegangan motor setiap dua menit,
5. Arus motor setiap dua menit, dan
6. Kecepatan motor setiap dua menit.

Eksperimen ini akan menggunakan baterai sebagai sumber daya motor DC. Variasi beban diberikan terhadap Motor DC dengan tujuan mendapatkan hubungan performa baterai dengan performa motor DC. Adapun eksperimen terbagi menjadi lima eksperimen yaitu:

3.3.3.1 Eksperimen Discharge Test Tanpa Beban



Gambar III.11 Diagram blok rangkaian eksperimen discharge test tanpa beban

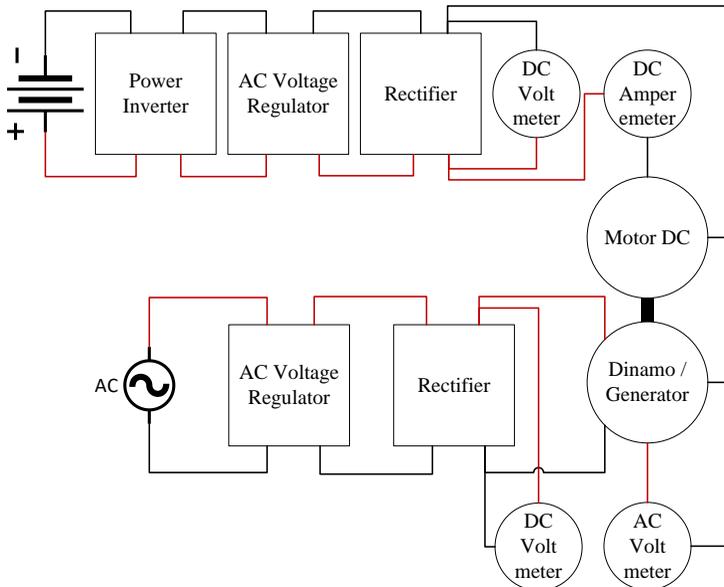
Dalam eksperimen ini baterai akan diamati ketika menjadi sumber daya motor DC yang tidak dihubungkan dengan beban apapun. Bentuk rangkaian eksperimen dapat dilihat pada Gambar III.11. Langkah-langkah eksperimen discharge test tanpa beban adalah sebagai berikut:

1. Siapkan alat-alat yang dibutuhkan untuk eksperimen, yaitu:
 - a. Baterai
 - b. Motor DC
 - c. Power Inverter
 - d. AC Voltage regulator
 - e. Rectifier
 - f. DC Voltmeter
 - g. DC Amperemeter
 - h. Kabel listrik
 - i. Multimeter
 - j. Tachometer
 - k. Stopwatch
 - l. Clampmeter/Tangmeter
2. Siapkan stopwatch, tachometer, multimeter dan clampmeter di dekat rangkaian. Pastikan clampmeter dalam setelan pengukuran arus, multimeter dalam setelan pengukuran tegangan DC 20V.
3. Pastikan AC voltage regulator dan power inverter dalam keadaan mati atau *off*.
4. Ukur dan catat tegangan pada baterai dengan multimeter.
5. Hubungkan Motor DC dengan DC Voltmeter secara parallel dan DC Amperemeter secara seri, agar tegangan dan arus motor DC dapat terukur.
6. Hubungkan rangkaian motor DC, DC Voltmeter dan DC Amperemeter dengan rectifier. Pastikan kutub positif dan negative dari rectifier terhubung dengan benar dengan rangkain motor DC, agar DC Voltmeter dan DC

Amperemeter dapat membaca tegangan dan arus dengan benar.

7. Hubungkan rectifier dengan AC voltage regulator.
8. Hubungkan baterai dengan power inverter. Pastikan kabel positif dan negative terhubung dengan benar untuk menghindari *short circuit* terjadi, *short circuit* yang terjadi cukup lama dapat merusak baterai dan power inverter.
9. Hubungkan power inverter dengan AC voltage regulator.
10. Hidupkan power inverter.
11. Hidupkan AC voltage regulator.
12. Perlahan-lahan tingkatkan tegangan pada AC voltage regulator sampai tegangan motor DC terbaca 210V.
13. Mulai waktu pada stopwatch.
14. Ukur dan catat tegangan baterai dengan multimeter, arus baterai dengan clampmeter, kecepatan motor DC dengan tachometer, tegangan motor DC yang ditunjukkan DC voltmeter, dan arus motor DC yang ditunjukkan DC amperemeter.
15. Lakukan lagi langkah 13 setiap lima menit.
16. Ketika alarm pada power inverter mulai berbunyi lakukan pengukuran lagi seperti pada langkah 13.
17. Ketika motor DC sudah mulai terganggu (terputus-putus kecepatannya) segera hentikan stopwatch, kemudian perlahan-lahan menurunkan tegangan pada AC voltage regulator sampai posisi nol.
18. Matikan AC voltage regulator.
19. Matikan power inverter.
20. Lepaskan baterai dari power inverter.

3.3.3.2 Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Tanpa Beban



Gambar III.12 Diagram blok rangkaian eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator tanpa beban

Dalam eksperimen ini baterai akan diamati ketika menjadi sumber daya motor DC dihubungkan dengan generator tanpa beban apapun. Bentuk rangkaian eksperimen dapat dilihat pada Gambar III.12. Langkah-langkah eksperimen discharge test tanpa beban adalah sebagai berikut:

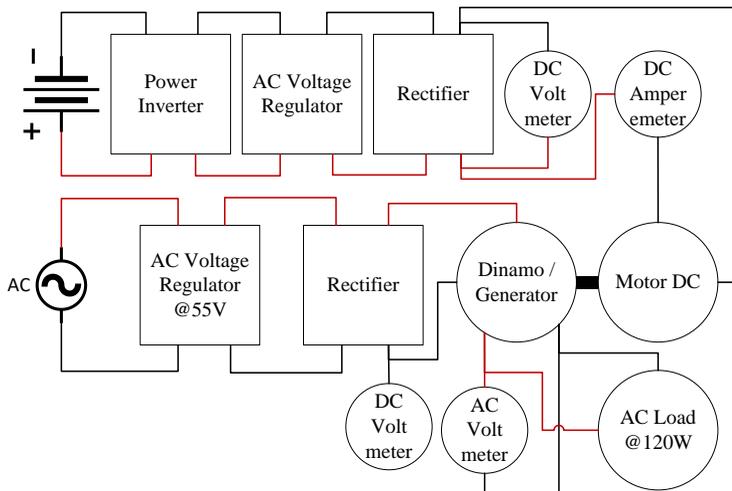
1. Siapkan alat-alat yang dibutuhkan untuk eksperimen, yaitu:
 - a. Baterai
 - b. Motor DC
 - c. Power Inverter
 - d. Dinamo / Generator
 - e. AC Voltage regulator, dua buah
 - f. Rectifier, dua buah

- g. DC Voltmeter, dua buah
 - h. DC Amperemeter
 - i. Kabel listrik
 - j. Multimeter
 - k. Tachometer
 - l. Stopwatch
 - m. Clampmeter/Tangmeter
2. Siapkan stopwatch, tachometer, multimeter dan clampmeter di dekat rangkaian. Pastikan clampmeter dalam setelan pengukuran arus, multimeter dalam setelan pengukuran tegangan DC 20V.
 3. Pastikan AC voltage regulator dan power inverter dalam keadaan mati atau *off*.
 4. Ukur dan catat tegangan pada baterai dengan multimeter.
 5. Hubungkan poros motor DC dengan poros generator. Pastikan terhubung dengan erat.
 6. Hubungkan Motor DC dengan DC Voltmeter secara parallel dan DC Amperemeter secara seri, agar tegangan dan arus motor DC dapat terukur.
 7. Hubungkan rangkaian motor DC, DC Voltmeter dan DC Amperemeter dengan rectifier. Pastikan kutub positif dan negative dari rectifier terhubung dengan benar dengan rangkain motor DC, agar DC Voltmeter dan DC Amperemeter dapat membaca tegangan dan arus dengan benar.
 8. Hubungkan rectifier dengan AC voltage regulator.
 9. Hubungkan generator dengan rectifier pada bagian rotor.
 10. Hubungkan AC voltmeter dengan generator pada bagian stator.
 11. Hubungkan rectifier generator pada AC voltage regulator.
 12. Hubungkan AC voltage regulator generator dengan sumber arus AC.

13. Hubungkan baterai dengan power inverter. Pastikan kabel positif dan negative terhubung dengan benar untuk menghindari *short circuit* terjadi, *short circuit* yang terjadi cukup lama dapat merusak baterai dan power inverter.
14. Hubungkan power inverter dengan AC voltage regulator motor DC.
15. Hidupkan power inverter.
16. Hidupkan AC voltage regulator motor DC.
17. Hidupkan AC voltage regulator generator.
18. Perlahan-lahan tingkatkan tegangan pada AC voltage regulator motor DC sampai tegangan motor DC terbaca 210V.
19. Tingkatkan tegangan eksitasi pada AC voltage regulator generator sampai 55V, pada saat ini seharusnya tegangan fasa yang dihasilkan generator terbaca 220V.
20. Mulai waktu pada stopwatch.
21. Ukur dan catat tegangan baterai dengan multimeter, arus baterai dengan clampmeter, kecepatan motor DC dengan tachometer, tegangan motor DC yang ditunjukkan DC voltmeter, dan arus motor DC yang ditunjukkan DC amperemeter, tegangan setiap fasa pada AC voltmeter.
22. Lakukan lagi langkah 21 setiap lima menit.
23. Ketika alarm pada power inverter mulai berbunyi lakukan pengukuran lagi seperti pada langkah 21.
24. Ketika motor DC sudah mulai terganggu (terputus-putus kecepatannya) segera hentikan stopwatch, kemudian perlahan-lahan menurunkan tegangan pada AC voltage regulator generator dan AC voltage regulator motor DC sampai posisi nol.
25. Matikan AC voltage regulator generator.
26. Matikan AC voltage regulator motor DC.
27. Matikan power inverter dan lepaskan baterai.

3.3.3.3 Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 120W dengan Tegangan Eksitasi 55V

Dalam eksperimen ini baterai akan diamati ketika menjadi sumber daya motor DC yang dihubungkan dengan generator berbeban lampu 120W (tiga buah lampu, 40W setiap lampu) dengan tegangan eksitasi pada generator sebesar 55V. Bentuk rangkaian eksperimen dapat dilihat pada Gambar III.13.



Gambar III.13 Diagram blok rangkaian eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban lampu 120W dengan tegangan eksitasi 55V

Langkah-langkah eksperimen discharge test tanpa beban adalah sebagai berikut:

1. Siapkan alat-alat yang dibutuhkan untuk eksperimen, yaitu:
 - a. Baterai

- b. Motor DC
 - c. Power Inverter
 - d. Dinamo / Generator
 - e. AC Load, tiga buah lampu 40W
 - f. AC Voltage regulator, dua buah
 - g. Rectifier, dua buah
 - h. DC Voltmeter, dua buah
 - i. DC Amperemeter
 - j. Kabel listrik
 - k. Multimeter
 - l. Tachometer
 - m. Stopwatch
 - n. Clampmeter/Tangmeter
 - o. Luxmeter
2. Siapkan stopwatch, tachometer, multimeter dan clampmeter di dekat rangkaian. Pastikan clampmeter dalam setelan pengukuran arus, multimeter dalam setelan pengukuran tegangan DC 20V.
 3. Pastikan AC voltage regulator dan power inverter dalam keadaan mati atau *off*.
 4. Ukur dan catat tegangan pada baterai dengan multimeter.
 5. Hubungkan poros motor DC dengan poros generator. Pastikan terhubung dengan erat.
 6. Hubungkan Motor DC dengan DC Voltmeter secara parallel dan DC Amperemeter secara seri, agar tegangan dan arus motor DC dapat terukur.
 7. Hubungkan rangkaian motor DC, DC Voltmeter dan DC Amperemeter dengan rectifier. Pastikan kutub positif dan negative dari rectifier terhubung dengan benar dengan rangkain motor DC, agar DC Voltmeter dan DC Amperemeter dapat membaca tegangan dan arus dengan benar.
 8. Hubungkan rectifier dengan AC voltage regulator generator.

9. Hubungkan generator dengan rectifier pada bagian rotor.
10. Hubungkan AC load dengan generator, setiap fasa mendapat beban yang sama (satu lampu, 40W)
11. Hubungkan AC voltmeter dengan generator pada bagian stator.
12. Hubungkan rectifier generator pada AC voltage regulator.
13. Hubungkan AC voltage regulator generator dengan sumber arus AC.
14. Hubungkan baterai dengan power inverter. Pastikan kabel positif dan negative terhubung dengan benar untuk menghindari *short circuit* terjadi, *short circuit* yang terjadi cukup lama dapat merusak baterai dan power inverter.
15. Hubungkan power inverter dengan AC voltage regulator motor DC.
16. Hidupkan power inverter.
17. Hidupkan AC voltage regulator motor DC & generator.
18. Perlahan-lahan tingkatkan tegangan pada AC voltage regulator motor DC sampai tegangan motor DC terbaca 210V.
19. Tingkatkan tegangan eksitasi pada AC voltage regulator generator sampai 55V.
20. Hidupkan AC load.
21. Mulai waktu pada stopwatch.
22. Ukur dan catat tegangan baterai dengan multimeter, arus baterai dengan clampmeter, kecepatan motor DC dengan tachometer, tegangan motor DC yang ditunjukkan DC voltmeter, arus motor DC yang ditunjukkan DC amperemeter, tegangan setiap fasa pada AC voltmeter, dan intensitas cahaya lampu.
23. Lakukan lagi langkah 22 setiap tiga menit.
24. Ketika alarm pada power inverter mulai berbunyi lakukan pengukuran lagi seperti pada langkah 22.
25. Ketika motor DC sudah mulai terganggu (terputus-putus kecepatannya) segera hentikan stopwatch, kemudian perlahan-lahan menurunkan tegangan pada AC voltage

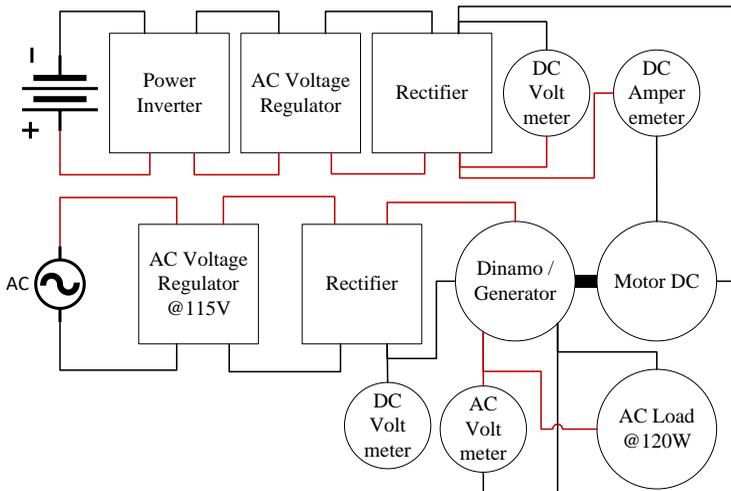
regulator generator dan AC voltage regulator motor DC sampai posisi nol.

26. Matikan AC voltage regulator generator & motor DC.

27. Matikan power inverter dan lepaskan baterai.

3.3.3.4 Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 120W dengan Tegangan Eksitasi 115V

Dalam eksperimen ini baterai akan diamati ketika menjadi sumber daya motor DC yang dihubungkan dengan generator berbeban lampu 120W (tiga buah lampu, 40W setiap lampu) dengan tegangan eksitasi pada generator sebesar 115V. Bentuk rangkaian eksperimen dapat dilihat pada Gambar III.14.



Gambar III.14 Diagram blok rangkaian eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban lampu 120W dengan tegangan eksitasi 115V

Langkah-langkah eksperimen discharge test tanpa beban adalah sebagai berikut:

1. Siapkan alat-alat yang dibutuhkan untuk eksperimen, yaitu:
 - a. Baterai
 - b. Motor DC
 - c. Power Inverter
 - d. Dinamo / Generator
 - e. AC Load, tiga buah lampu 40W
 - f. AC Voltage regulator, dua buah
 - g. Rectifier, dua buah
 - h. DC Voltmeter, dua buah
 - i. DC Amperemeter
 - j. Kabel listrik
 - k. Multimeter
 - l. Tachometer
 - m. Stopwatch
 - n. Clampmeter/Tangmeter
2. Siapkan stopwatch, tachometer, multimeter dan clampmeter di dekat rangkaian. Pastikan clampmeter dalam setelan pengukuran arus, multimeter dalam setelan pengukuran tegangan DC 20V.
3. Pastikan AC voltage regulator dan power inverter dalam keadaan mati atau *off*.
4. Ukur dan catat tegangan pada baterai dengan multimeter.
5. Hubungkan poros motor DC dengan poros generator. Pastikan terhubung dengan erat.
6. Hubungkan Motor DC dengan DC Voltmeter secara parallel dan DC Amperemeter secara seri, agar tegangan dan arus motor DC dapat terukur.
7. Hubungkan rangkaian motor DC, DC Voltmeter dan DC Amperemeter dengan rectifier. Pastikan kutub positif dan negative dari rectifier terhubung dengan benar dengan

rangakain motor DC, agar DC Voltmeter dan DC Amperemeter dapat membaca tegangan dan arus dengan benar.

8. Hubungkan rectifier dengan AC voltage regulator generator.
9. Hubungkan generator dengan rectifier pada bagian rotor.
10. Hubungkan AC load dengan generator, setiap fasa mendapat beban yang sama (satu lampu, 40W)
11. Hubungkan AC voltmeter dengan generator pada bagian stator.
12. Hubungkan rectifier generator pada AC voltage regulator.
13. Hubungkan AC voltage regulator generator dengan sumber arus AC.
14. Hubungkan baterai dengan power inverter. Pastikan kabel positif dan negative terhubung dengan benar untuk menghindari *short circuit* terjadi, *short circuit* yang terjadi cukup lama dapat merusak baterai dan power inverter.
15. Hubungkan power inverter dengan AC voltage regulator motor DC.
16. Hidupkan power inverter.
17. Hidupkan AC voltage regulator motor DC & generator.
18. Perlahan-lahan tingkatan tegangan pada AC voltage regulator motor DC sampai tegangan motor DC terbaca 210V.
19. Tingkatan tegangan eksitasi pada AC voltage regulator generator sampai 115V.
20. Hidupkan AC load.
21. Mulai waktu pada stopwatch.
22. Ukur dan catat tegangan baterai dengan multimeter, arus baterai dengan clampmeter, kecepatan motor DC dengan tachometer, tegangan motor DC yang ditunjukkan DC voltmeter, arus motor DC yang ditunjukkan DC amperemeter, tegangan setiap fasa pada AC voltmeter, dan intensitas cahaya lampu
23. Lakukan lagi langkah 22 setiap dua menit.

24. Ketika alarm pada power inverter mulai berbunyi lakukan pengukuran lagi seperti pada langkah 22.
25. Ketika motor DC sudah mulai terganggu (terputus-putus kecepatannya) segera hentikan stopwatch, kemudian perlahan-lahan turunkan tegangan pada AC voltage regulator generator dan AC voltage regulator motor DC sampai posisi nol.
26. Matikan AC voltage regulator generator & motor DC.
27. Matikan power inverter dan lepaskan baterai.

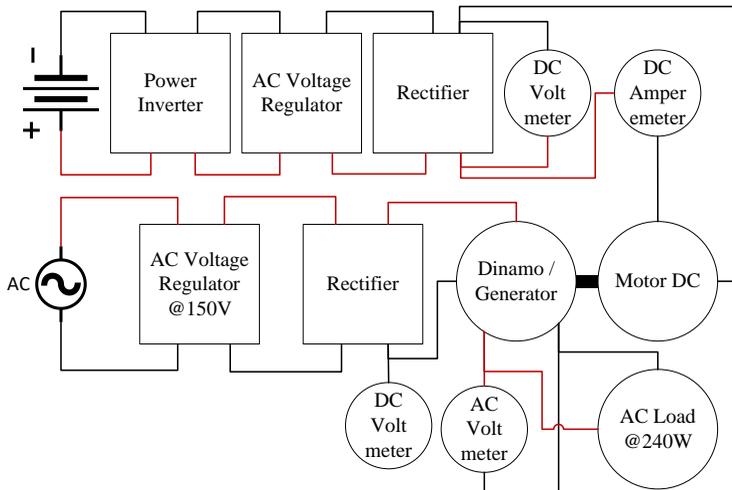
3.3.3.5 Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 240W dengan Tegangan Eksitasi 150V

Dalam eksperimen ini baterai akan diamati ketika menjadi sumber daya motor DC yang dihubungkan dengan generator berbeban lampu 240W (tiga buah lampu, 40W setiap lampu) dengan tegangan eksitasi pada generator sebesar 150V. Bentuk rangkaian eksperimen dapat dilihat pada Gambar III.15.

Langkah-langkah eksperimen discharge test tanpa beban adalah sebagai berikut:

1. Siapkan alat-alat yang dibutuhkan untuk eksperimen, yaitu:
 - a. Baterai
 - b. Motor DC
 - c. Power Inverter
 - d. Dinamo / Generator
 - e. AC Load, enam buah lampu 40W
 - f. AC Voltage regulator, dua buah
 - g. Rectifier, dua buah
 - h. DC Voltmeter, dua buah
 - i. DC Amperemeter
 - j. Kabel listrik

- k. Multimeter
 - l. Tachometer
 - m. Stopwatch
 - n. Clampmeter/Tangmeter
2. Siapkan stopwatch, tachometer, multimeter dan clampmeter di dekat rangkaian. Pastikan clampmeter dalam setelan pengukuran arus, multimeter dalam setelan pengukuran tegangan DC 20V.



Gambar III.15 Diagram blok rangkaian eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban lampu 240W dengan tegangan eksitasi 135V

3. Pastikan AC voltage regulator dan power inverter dalam keadaan mati atau *off*.
4. Ukur dan catat tegangan pada baterai dengan multimeter.
5. Hubungkan poros motor DC dengan poros generator. Pastikan terhubung dengan erat.

6. Hubungkan Motor DC dengan DC Voltmeter secara parallel dan DC Amperemeter secara seri, agar tegangan dan arus motor DC dapat terukur.
7. Hubungkan rangkaian motor DC, DC Voltmeter dan DC Amperemeter dengan rectifier. Pastikan kutub positif dan negative dari rectifier terhubung dengan benar dengan rangkain motor DC, agar DC Voltmeter dan DC Amperemeter dapat membaca tegangan dan arus dengan benar.
8. Hubungkan rectifier dengan AC voltage regulator generator.
9. Hubungkan generator dengan rectifier pada bagian rotor.
10. Hubungkan AC load dengan generator, setiap fasa mendapat beban yang sama (dua lampu, 80W)
11. Hubungkan AC voltmeter dengan generator pada bagian stator.
12. Hubungkan rectifier generator pada AC voltage regulator.
13. Hubungkan AC voltage regulator generator dengan sumber arus AC.
14. Hubungkan baterai dengan power inverter. Pastikan kabel positif dan negative terhubung dengan benar untuk menghindari *short circuit* terjadi, *short circuit* yang terjadi cukup lama dapat merusak baterai dan power inverter.
15. Hubungkan power inverter dengan AC voltage regulator motor DC.
16. Hidupkan power inverter.
17. Hidupkan AC voltage regulator motor DC & generator.
18. Perlahan-lahan tingkatan tegangan pada AC voltage regulator motor DC sampai tegangan motor DC terbaca 210V.
19. Tingkatan tegangan eksitasi pada AC voltage regulator generator sampai 135V.
20. Hidupkan AC load.
21. Mulai waktu pada stopwatch.

22. Ukur dan catat tegangan baterai dengan multimeter, arus baterai dengan clampmeter, kecepatan motor DC dengan tachometer, tegangan motor DC yang ditunjukkan DC voltmeter, arus motor DC yang ditunjukkan DC amperemeter, tegangan setiap fasa pada AC voltmeter, dan intensitas cahaya lampu.
23. Lakukan lagi langkah 22 setiap dua menit.
24. Ketika alarm pada power inverter mulai berbunyi lakukan pengukuran lagi seperti pada langkah 22.
25. Ketika motor DC sudah mulai terganggu (terputus-putus kecepatannya) segera hentikan stopwatch, kemudian perlahan-lahan turunkan tegangan pada AC voltage regulator generator dan AC voltage regulator motor DC sampai posisi nol.
26. Matikan AC voltage regulator generator & motor DC.
27. Matikan power inverter.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Eksperimen Discharge Test

Data-data yang telah terukur dan tercatat dari eksperimen disajikan adalah waktu pengukuran, tegangan baterai, tegangan motor, arus motor, kecepatan motor, dan tegangan fasa dari generator untuk eksperimen berbeban disajikan dalam bentuk tabel sesuai dengan bagian eksperimennya masing-masing. Dengan keterangan tambahan mengenai tegangan baterai sebelum beroperasi atau berbeban dan total waktu pelaksanaan eksperimen.

4.1.1 Eksperimen Dishcharge Test Tanpa Beban

Eksperimen *discharge test* dilakukan dengan menghubungkan baterai 12V dengan motor DC Feedback tipe 63-110. Baterai dan motor DC dihubungkan sesuai dengan rancangan rangkaian eksperimen. Sebelum diberikan beban, pengukuran tegangan baterai dengan multimeter menunjukkan tegangannya sebesar 12,65V.

Setelah rangkaian siap, *power inverter* dihidupkan kemudian dilanjutkan dengan menghidupkan *voltage regulator*. Kemudian secara perlahan meningkatkan tegangan sampai voltage meter menunjukkan tegangan sebesar 210V.

Pengukuran pertama dilakukan setelah tegangan tersebut tercapai, kemudian dilanjutkan setiap interval 5 menit sampai alarm dari *power inverter* berbunyi. Ketika alarm mulai berbunyi, dilakukan pengukuran terakhir. Setelah pengukuran selesai dilakukan, perlahan-lahan tegangan mulai diturunkan sampai nol dan motor DC berhenti berputar.

Adapun waktu yang terukur dalam pelaksanaan eksperimen ini adalah selama 33 menit 27 detik, dan data hasil pengukuran adalah sebagai Tabel IV-1.

Tabel IV-1 Hasil pengukuran eksperimen discharge test tanpa beban pada Motor DC

T (menit)	Vb	Ib	Vm	Im	Nm
0	11.9	4.34	210	0.46	2730
5	11.78	4.15	208	0.44	2728
10	11.65	3.99	206	0.43	2727
15	11.5	3.88	205	0.42	2693
20	11.26	3.66	200	0.42	2653
25	10.95	3.22	190	0.4	2597
30	9.95	2.77	175	0.4	2531
33:27	9.48	2.73	170	0.4	2524

Keterangan:

T: Waktu pengukuran dalam menit

Vb: Tegangan baterai

Ib: Arus baterai

Vm: Tegangan motor DC

Im: Arus motor DC

Nm: Kecepatan motor DC

Terlihat pada table, tegangan baterai pada awal eksperimen dilakukan adalah sebesar 11,9 V, tegangan ini mengalami penurunan dari tegangan ketika baterai belum diberikan beban sebesar 0,75 V. Penurunan tegangan baterai, arus baterai, tegangan motor, dan kecepatan motor terbesar terjadi pada menit ke 30, dengan masing masing penurunan terjadi sebesar 1 V, 15 V dan 66 rpm. Berdasar pada data yang didapatkan, cut off voltage dimulai sejak menit ke 30.

4.1.2 Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Tanpa Beban

Eksperimen *discharge test* dilakukan dengan menghubungkan baterai 12V dengan motor DC Feedback tipe 63-110. Baterai dan motor DC dihubungkan sesuai dengan

rancangan rangkaian eksperimen. Sebelum diberikan beban, pengukuran tegangan baterai dengan multimeter menunjukkan tegangannya sebesar 12,6V.

Setelah rangkaian siap, *power inverter* dihidupkan kemudian dilanjutkan dengan menghidupkan *voltage regulator*. Kemudian secara perlahan meningkatkan tegangan sampai voltage meter menunjukkan tegangan sebesar 210V. Setelah tegangan tersebut tercapai, perlahan meningkatkan eksitasi pada generator sehingga tegangan fasa luaran generator terbaca pada sekitar 220V. Ketika tegangan fasa yang diinginkan tercapai, pengukuran pada tegangan eksitasi generator adalah 55V

Pengukuran pertama dilakukan setelah tegangan tersebut tercapai, kemudian dilanjutkan setiap interval 5 menit sampai alarm dari *power inverter* berbunyi. Ketika alarm mulai berbunyi, dilakukan pengukuran terakhir. Setelah pengukuran selesai dilakukan, perlahan-lahan tegangan mulai diturunkan sampai nol dan motor DC berhenti berputar.

Adapun waktu yang terukur dalam pelaksanaan eksperimen ini adalah selama 26 menit 32 detik, dan data hasil pengukuran adalah sebagai Tabel IV-2 berikut

Tabel IV-2 Hasil pengukuran eksperimen discharge test berbeban pada motor DC

T (menit)	Vb	Ib	Vm	Im
0	11.69	6.13	210	0.65
5	11.56	5.93	200	0.64
10	11.41	5.63	196	0.63
15	11.2	5.12	196	0.63
20	10.89	4.18	186	0.62
25	9.98	4.10	180	0.6
27:32	9.54	3.96	178	0.58

T (menit)	Nm	VR	VS	VT
0	2593	222	221	221
5	2591	219	219	220
10	2570	217	217	217
15	2530	213	213	212
20	2456	207	206	207
25	2423	192	191	192
27:32	2414	189	188	190

Keterangan:

- T: Waktu pengukuran dalam menit
Vb: Tegangan baterai
Ib: Arus baterai
Vm: Tegangan motor DC
Im: Arus motor DC
Nm: Kecepatan motor DC
VR: Tegangan luaran generator fasa R
VS: Tegangan luaran generator fasa S
VT: Tegangan luaran generator fasa T

Terlihat pada table, tegangan baterai pada awal eksperimen dilakukan adalah sebesar 11,69 V, tegangan ini mengalami penurunan dari tegangan ketika baterai belum diberikan beban, sebesar 0,96 V. Penurunan tegangan baterai terbesar ketika eksperimen berjalan terjadi pada menit ke 25 yaitu sebesar 0,91 V. Penurunan arus baterai terbesar terjadi pada menit ke 20 yaitu sebesar 0,94 A. Penurunan tegangan motor terbesar ada pada dua titik waktu yaitu pada menit ke 5 dan menit ke 20 yaitu sebesar 10V. Untuk penurunan kecepatan motor terjadi pada menit 15 yaitu 74 rpm. Berdasarkan pada perubahan tegangan baterai terbesar, *cut-off voltage* dimulai pada menit ke 25.

4.1.3 Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 120W dengan Tegangan Eksitasi 55V

Eksperimen *discharge test* dilakukan dengan menghubungkan baterai 12V dengan motor DC Feedback tipe 63-110. Baterai dan motor DC dihubungkan sesuai dengan rancangan rangkaian eksperimen. Sebelum diberikan beban, pengukuran tegangan baterai dengan multimeter menunjukkan tegangannya sebesar 12,48V.

Setelah rangkaian siap, *power inverter* dihidupkan kemudian dilanjutkan dengan menghidupkan *voltage regulator*. Kemudian secara perlahan meningkatkan tegangan sampai voltage meter menunjukkan tegangan sebesar 210V. Setelah tegangan tersebut tercapai, perlahan meningkatkan eksitasi pada generator sehingga tegangan fasa luaran generator terbaca pada sekitar 220V. Setelah tegangan fasa tercapai, kemudian dinyalakan beban lampu 40W pada setiap fasa. Ketika tegangan fasa yang diinginkan tercapai, pengukuran pada tegangan eksitasi generator adalah 55V.

Pengukuran pertama dilakukan setelah tegangan tersebut tercapai, kemudian dilanjutkan setiap interval 3 menit sampai alarm dari *power inverter* berbunyi. Ketika alarm mulai berbunyi, dilakukan pengukuran terakhir. Setelah pengukuran selesai dilakukan, perlahan-lahan tegangan mulai diturunkan sampai nol dan motor DC berhenti berputar.

Adapun waktu yang terukur dalam pelaksanaan eksperimen ini adalah selama 14 menit 16 detik, dan data hasil pengukuran adalah sebagai Tabel IV-3.

Terlihat pada table, tegangan baterai pada awal eksperimen dilakukan adalah sebesar 11,63 V, tegangan ini mengalami penurunan dari tegangan ketika baterai belum diberikan beban sebesar 0,85 V. Tegangan pada fasa diasumsikan 95 V karena berada di bawah indicator dari voltmeter yang digunakan. Penurunan tegangan baterai, tegangan motor, dan kecepatan

motor terbesar terjadi pada menit ke 14, dengan masing masing penurunan terjadi sebesar 0,69 V, 21 V dan 59 rpm. Berdasar pada data tersebut, didapatkan bahwa cut off voltage dimulai pada menit ke 14.

Tabel IV-3 Hasil pengukuran eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban 120W dengan tegangan eksitasi 55V

T (menit)	V b	I b	V m	I m
0	11.63	4.83	210	0.8
3	11.47	4.47	205	0.78
6	11.34	4.14	200	0.78
9	11.16	3.91	198	0.78
12	10.83	3.49	196	0.76
14:16	10.14	2.92	175	0.75

T (menit)	N m	R	S	T	lux
0	2593	100	100	100	300
3	2577	95	95	95	270
6	2560	95	95	95	240
9	2526	95	95	95	225
12	2450	95	95	95	210
14:16	2391	95	95	95	200

Keterangan:

T: Waktu pengukuran dalam menit

Vb: Tegangan baterai

Ib: Arus baterai

Vm: Tegangan motor DC

Im: Arus motor DC

Nm: Kecepatan motor DC

VR: Tegangan luaran generator fasa R

VS: Tegangan luaran generator fasa S

VT: Tegangan luaran generator fasa T

Lux: Terangnya cahaya luaran lampu bohlam 40W yang menjadi beban

4.1.4 Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 120W dengan Tegangan Eksitasi 115V

Eksperimen *discharge test* dilakukan dengan menghubungkan baterai 12V dengan motor DC Feedback tipe 63-110. Baterai dan motor DC dihubungkan sesuai dengan rancangan rangkaian eksperimen. Sebelum diberikan beban, pengukuran tegangan baterai dengan multimeter menunjukkan tegangannya sebesar 12,47V.

Setelah rangkaian siap, *power inverter* dihidupkan kemudian dilanjutkan dengan menghidupkan *voltage regulator*. Kemudian secara perlahan meningkatkan tegangan sampai voltage meter menunjukkan tegangan sebesar 210V. Setelah tegangan tersebut tercapai, perlahan meningkatkan eksitasi pada generator sehingga tegangan fasa luaran generator terbaca pada sekitar 220V. Setelah tegangan fasa tercapai, kemudian dinyalakan beban lampu 40W pada setiap fasa. Pembebanan yang dilakukan mengakibatkan penurunan tegangan fasa, karenanya kemudian ditingkatkan tegangan eksitasi agar tegangan fasa mencapai 220V kembali. Ketika tegangan fasa yang diinginkan tercapai, pengukuran pada tegangan eksitasi generator adalah 115V.

Pengukuran pertama dilakukan setelah tegangan tersebut tercapai, kemudian dilanjutkan setiap interval 2 menit sampai alarm dari *power inverter* berbunyi. Ketika alarm mulai berbunyi, dilakukan pengukuran terakhir. Setelah pengukuran selesai dilakukan, perlahan-lahan tegangan mulai diturunkan sampai nol dan motor DC berhenti berputar.

Adapun waktu yang terukur dalam pelaksanaan eksperimen ini adalah selama 8 menit 18 detik, dan data hasil pengukuran adalah sebagai Tabel IV-4.

Tabel IV-4 Hasil pengukuran eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban 120W dengan tegangan eksitasi 115V

T (menit)	Vb	Ib	Vm	Im
0	11.43	7	180	1.4
2	11.24	6.65	180	1.2
4	11.02	6.2	175	1.2
6	10.63	5.57	170	1.2
8	10.25	4.82	170	1.2
08:18	10.13	4.33	165	1.1

T (menit)	Nm	R	S	T	lux
0	2284	210	210	210	3000
2	2277	205	205	205	2800
4	2235	200	200	200	2700
6	2157	190	190	190	2400
8	2103	180	180	180	2100
08:18	2072	180	180	180	2000

Keterangan:

T: Waktu pengukuran dalam menit

Vb: Tegangan baterai

Ib: Arus baterai

Vm: Tegangan motor DC

Im: Arus motor DC

Nm: Kecepatan motor DC

VR: Tegangan luaran generator fasa R

VS: Tegangan luaran generator fasa S

VT: Tegangan luaran generator fasa T

Lux: Terangnya cahaya luaran lampu bohlam 40W yang menjadi beban

Terlihat pada table, tegangan baterai pada awal eksperimen dilakukan adalah sebesar 11,43 V, tegangan ini mengalami

penurunan dari tegangan ketika baterai belum diberikan beban sebesar 1,04 V. Penurunan tegangan baterai terbesar ketika eksperimen berjalan terjadi pada menit ke 6 yaitu sebesar 0,39 V. Penurunan arus baterai terjadi pada menit ke 8 sebesar 0,75 A. Untuk penurunan kecepatan motor terjadi pada menit 6 yaitu 78 rpm. Berdasarkan pada perubahan tegangan baterai terbesar, *cut-off voltage* dimulai pada menit ke 6.

4.1.5 Eksperimen Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 240W dengan Tegangan Eksitasi 150V

Eksperimen *discharge test* dilakukan dengan menghubungkan baterai 12V dengan motor DC Feedback tipe 63-110. Baterai dan motor DC dihubungkan sesuai dengan rancangan rangkaian eksperimen. Sebelum diberikan beban, pengukuran tegangan baterai dengan multimeter menunjukkan tegangannya sebesar 12,58V.

Setelah rangkaian siap, *power inverter* dihidupkan kemudian dilanjutkan dengan menghidupkan *voltage regulator*. Kemudian secara perlahan meningkatkan tegangan sampai voltage meter menunjukkan tegangan sebesar 210V. Setelah tegangan tersebut tercapai, perlahan meningkatkan eksitasi pada generator sehingga tegangan fasa luaran generator terbaca pada sekitar 220V. Setelah tegangan fasa tercapai, kemudian dinyalakan beban lampu 80W pada setiap fasa. Selanjutnya tegangan eksitasi pada generator ditingkatkan sampai 150V dan tegangan pada motor DC ditingkatkan kembali sampai 220V.

Pengukuran pertama dilakukan setelah tegangan tersebut tercapai, kemudian dilanjutkan setiap interval 2 menit sampai alarm dari *power inverter* berbunyi. Ketika alarm mulai berbunyi, dilakukan pengukuran terakhir. Setelah pengukuran selesai dilakukan, perlahan-lahan tegangan mulai diturunkan sampai nol dan motor DC berhenti berputar.

Adapun waktu yang terukur dalam pelaksanaan eksperimen ini adalah selama 7 menit 49 detik, dan data hasil pengukuran adalah sebagai Tabel IV-5.

Tabel IV-5 Hasil pengukuran eksperimen discharge test motor DC dihubungkan dengan generator berbeban 240W dengan tegangan eksitasi 150V

T (menit)	Vb	Ib	Vm	Im
0	11.33	7.75	210	1.3
2	11.27	7.4	205	1.2
4	11.1	6.98	200	1.1
6	10.9	6.6	200	1.0.5
7:49	10.48	6.01	180	1.1

T (menit)	Nm	R	S	T	lux
0	2541	120	120	120	1400
2	2539	115	115	115	1300
4	2523	115	115	115	1300
6	2474	110	110	110	1200
7:49	2378	110	110	110	1200

Keterangan:

T: Waktu pengukuran dalam menit

Vb: Tegangan baterai

Ib: Arus baterai

Vm: Tegangan motor DC

Im: Arus motor DC

Nm: Kecepatan motor DC

VR: Tegangan luaran generator fasa R

VS: Tegangan luaran generator fasa S

VT: Tegangan luaran generator fasa T

Lux: Terangnya cahaya luaran lampu bohlam 40W yang menjadi beban

Terlihat pada table, tegangan baterai pada awal eksperimen dilakukan adalah sebesar 11,33 V, tegangan ini mengalami penurunan dari tegangan ketika baterai belum diberikan beban

sebesar 1,25 V. Penurunan tegangan baterai, arus baterai, tegangan motor, dan kecepatan motor terbesar ketika eksperimen berjalan terjadi setelah menit ke 6 yaitu sebesar 0,42 V 0,75 A, 20 V, dan 96 rpm. Untuk penurunan kecepatan motor terjadi pada menit 6 yaitu 78 rpm. Berdasarkan pada perubahan tegangan baterai terbesar, *cut-off voltage* dimulai pada menit ke 6

4.2 Analisa Data Eksperimen *Discharge Test*

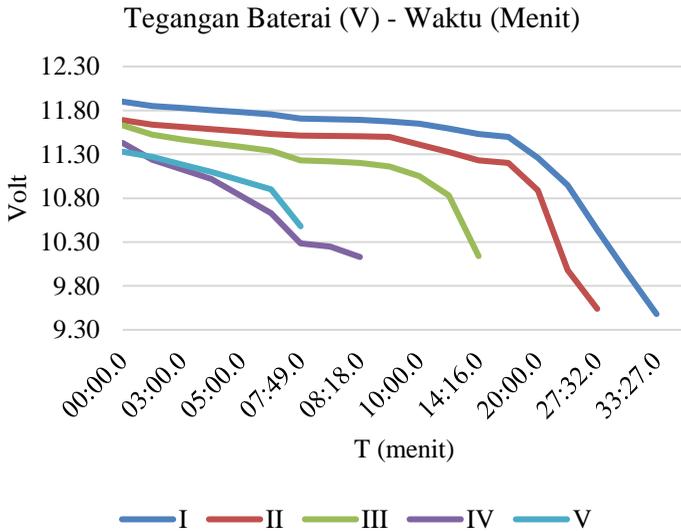
Berdasarkan dari data-data yang telah didapatkan dari eksperimen, data tersebut akan dibandingkan dan ditampilkan dalam bentuk grafik kemudian akan dianalisa. Beberapa grafik yang akan dianalisa adalah perbandingan tegangan baterai dengan waktu dan perbandingan kecepatan motor dengan tegangan baterai.

4.2.1 Analisa Perbandingan Tegangan Baterai dengan Waktu

Data-data dari kelima praktikkum yang telah dilakukan ditampilkan menjadi bentuk grafik dengan membandingkan waktu praktikkum dengan waktu dan tegangan baterai. Adapun grafik ditampilkan pada Gambar IV.1.

Terlihat bahwa semakin tinggi beban yang diberikan kepada baterai semakin singkat pula waktu kerjanya. Waktu baterai dapat memberikan daya, tergantung pada arus yang keluar daripada baterai. Arus yang dikeluarkan sebanding dengan beban yang diberikan kepada baterai, semakin tinggi beban yang diberikan semakin besar arus yang keluar dari baterai, dan semakin singkat pula waktu kerja baterai.

Tegangan minimum baterai sebelum baterai berhenti memberikan daya berbeda-beda pada setiap eksperimen. Semakin tinggi beban yang diberikan pada baterai, semakin tinggi pula batas minimum tegangan baterai.



Gambar IV.1 Grafik perbandingan tegangan (volt) baterai dengan waktu (menit)

Keterangan:

- I: Eksperimen Tanpa Beban
- II: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Tanpa Beban
- III: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 55V
- IV: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 115V
- V: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 240W dengan Tegangan Eksitasi 150V

Pada grafik terlihat penurunan signifikan pada tegangan baterai terjadi pada beberapa menit sebelum baterai berhenti memberikan daya. Ketika baterai mulai mengalami penurunan tegangan signifikan maka dapat dikatakan batas efektif operasional baterai telah terlewati.

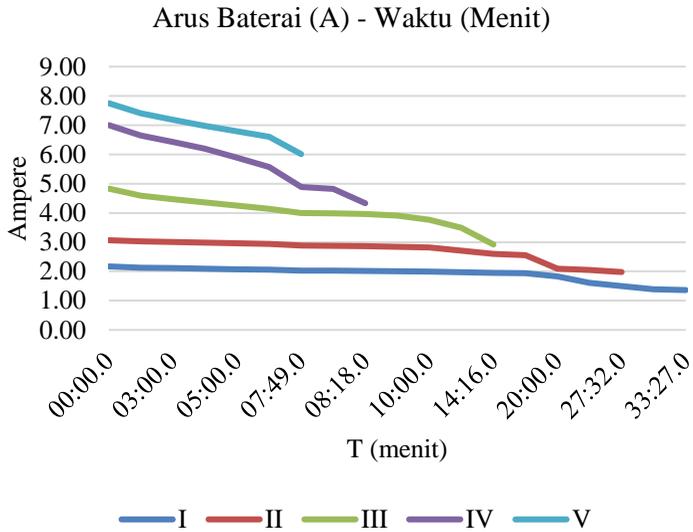
Pada eksperimen ini, batas minimum penggunaan baterai tergantung pada power inverter yang digunakan. Ketika mencapai tegangan dan arus tertentu yang dianggap sebagai batas bawah penggunaan baterai, power inverter akan membunyikan alarm. Dengan semakin tinggi nya beban yang diberikan, semakin tinggi pula arus listrik yang keluar daripada baterai, tinggi nya arus dan penurunan tegangan baterai mempengaruhi power inverter untuk memutus listrik dari baterai. Pemutusan listrik oleh power inverter bertujuan untuk mengamankan baterai agar tidak terjadi *deep-discharge* yang mengakibatkan baterai tidak dapat diisi ulang kembali.

Dari eksperimen didapatkan bahwa tegangan maksimal ketika baterai mendapatkan beban adalah sebesar 11.9 V. Tegangan tersebut didapatkan pada eksperimen I dimana motor DC tidak mendapatkan beban apapun.

4.2.2 Analisa Perbandingan Arus Baterai dengan Waktu

Data-data dari kelima praktikkum yang telah dilakukan ditampilkan menjadi bentuk grafik dengan membandingkan waktu praktikkum dengan arus baterai dan waktu. Adapun grafik ditampilkan pada Gambar IV.2.

Perlu diperhatikan bahwa arus baterai yang terbaca menggunakan clampmeter yang membaca arus AC sehingga terdapat selisih yang cukup signifikan apabila dilakukan perhitungan arus baterai berdasarkan dengan tegangan baterai yang dibandingkan dengan tegangan dan arus motor DC.



Gambar IV.2 Grafik perbandingan arus baterai (ampere) dengan waktu (menit)

Keterangan:

- I: Eksperimen Tanpa Beban
- II: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Tanpa Beban
- III: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 55V
- IV: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 115V
- V: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 240W dengan Tegangan Eksitasi 150V

Arus baterai dapat dihitung berdasarkan tegangan baterai, tegangan motor, arus motor dan efisiensi daripada power

inverter. Dengan menggunakan persamaan daya, maka persamaan daripada arus baterai yaitu:

$$P_b = P_m \times \eta_i \quad (\text{IV. 1})$$

$$V_b \times I_b = V_m \times I_m \times \eta_i \quad (\text{IV. 2})$$

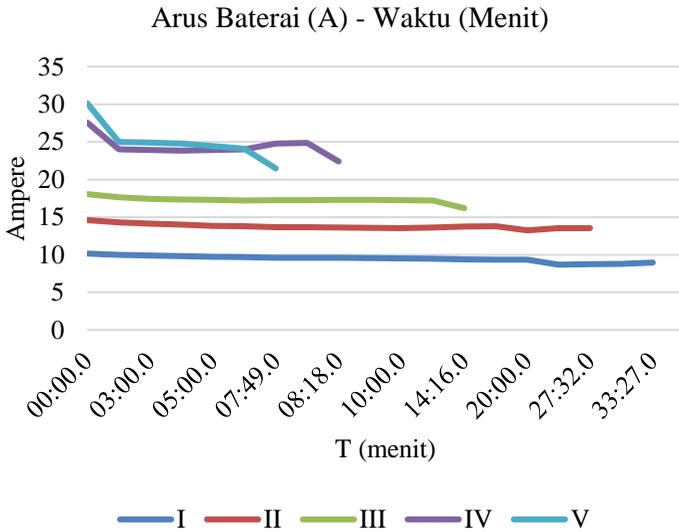
$$I_b = \frac{V_m \times I_m \times \eta_i}{V_b} \quad (\text{IV. 3})$$

Keterangan:

- Pb: Daya baterai
- Pm: Daya motor DC
- η_i : Efisiensi power inverter
- Vb: Tegangan baterai
- Ib: Arus baterai
- Vm: Tegangan motor
- Im: Arus motor DC

Adapun grafik dari arus baterai, dengan asumsi efisiensi dari power inverter sebesar 80%, yang didapat dari persamaan (IV.3) adalah sebagai Gambar IV.3.

Terlihat pada eksperimen I, II, dan III terlihat pola yang hampir serupa antara arus baterai yang diukur dengan clampmeter dan arus baterai yang didapat dari perhitungan. Namun ada perbedaan yang terjadi pada eksperimen IV dan V antara arus baterai yang terukur dengan clampmeter dan arus baterai yang didapat dari perhitungan. Perbedaan ini disebabkan oleh tegangan awal motor ketika eksperimen tidaklah sama yaitu pada eksperimen IV tegangan motor adalah sebesar 180V sedangkan untuk eksperimen V tegangan motor adalah sebesar 210V.



Gambar IV.3 Grafik perbandingan arus baterai (ampere) terhitung dengan waktu (menit)

Keterangan:

- I: Eksperimen Tanpa Beban
- II: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Tanpa Beban
- III: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 55V
- IV: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 115V
- V: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 240W dengan Tegangan Eksitasi 150V

Semakin besar daya yang dikeluarkan oleh baterai maka arus yang keluar dari baterai yang terukur dengan clampmeter

mengalami penurunan yang semakin signifikan bila dibandingkan dengan waktu. Penurunan arus yang terjadi tidaklah signifikan penurunan tegangan baterai seperti terlihat pada Gambar IV.3. Hal ini menunjukkan bahwa baterai berusaha menjaga daya yang dikeluarkan walaupun dengan baterai telah mengalami penurunan tegangan signifikan melalui arus yang dikeluarkan. Didapatkan bahwa arus terbesar yang mampu dikeluarkan oleh baterai berdasarkan eksperimen adalah sebesar 7.75 A jika diukur dengan clampmeter dan 30.12 A jika berdasarkan dengan perhitungan.

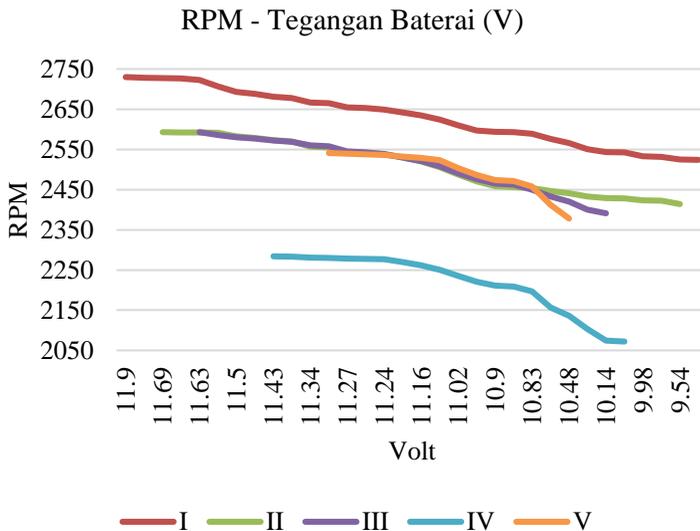
4.2.3 Analisa Perbandingan Kecepatan Motor dengan Tegangan Baterai

Data-data dari kelima praktikkum yang telah dilakukan ditampilkan menjadi bentuk grafik dengan membandingkan waktu praktikkum dengan waktu dan tegangan baterai. Adapun grafik tersebut ditampilkan pada Gambar IV.4.

Dari grafik tersebut terlihat hubungan kecepatan motor dengan tegangan baterai berbanding lurus, penurunan pada tegangan baterai berarti penurunan pada kecepatan motor. Tegangan sangat mempengaruhi kecepatan daripada motor. Terlihat bahwa perbedaan signifikan ada pada eksperimen IV yang memiliki kecepatan berbeda jauh dengan eksperimen lainnya, ini dikarenakan *voltage drop* yang terjadi ketika dilakukan pembebanan dimana tegangan motor jatuh dari 210V menjadi 180V. Pada eksperimen II, III, dan V kecepatan motor berada pada daerah yang hampir sama, karena tegangan motor terus dijaga pada rentang 210V.

Kecepatan pada eksperimen II, III, dan V menunjukkan perbedaan yang tidak begitu signifikan jika kecepatan dibandingkan dengan tegangan baterai. Walaupun ada perbedaan pembebanan yang diberikan pada kedua eksperimen tersebut, namun ada kesamaan dalam tegangan eksitasi yang diberikan pada generator yang dijadikan beban untuk motor

DC. Berbeda grafik yang ditunjukkan eksperimen III dan IV, walaupun sama-sama dibebani sebesar 120W namun perbedaan tegangan eksitasi diantara keduanya menunjukkan perbedaan kecepatan motor yang cukup signifikan. Didapatkan bahwa kecepatan motor DC maksimal adalah sebesar 2730 RPM pada tegangan 11.9 V.



Gambar IV.4 Grafik perbandingan kecepatan motor (rpm) dengan tegangan baterai (volt)

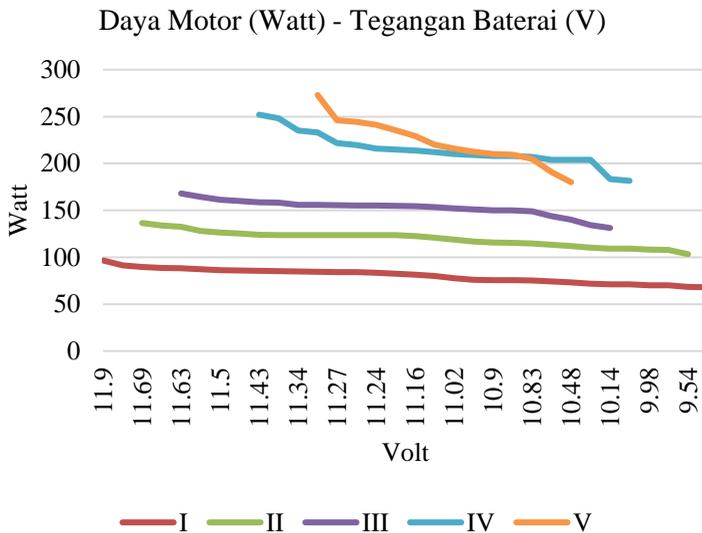
Keterangan:

- I: Eksperimen Tanpa Beban
- II: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Tanpa Beban
- III: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 55V

- IV: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 115V
- V: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 240W dengan Tegangan Eksitasi 150V

4.2.4 Analisa Perbandingan Daya Motor dengan Tegangan Baterai

Data-data dari kelima praktikkum yang telah dilakukan ditampilkan menjadi bentuk grafik dengan membandingkan daya motor dengan tegangan. Adapun grafik ditampilkan pada Gambar IV.5.



Gambar IV.5 Grafik perbandingan daya motor (watt) dengan tegangan baterai (volt)

Keterangan:

- I: Eksperimen Tanpa Beban
- II: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Tanpa Beban
- III: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 55V
- IV: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 115V
- V: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 240W dengan Tegangan Eksitasi 150V

Dari grafik tersebut terlihat bahwa daya yang masuk ke motor DC mengalami penurunan sesuai dengan penurunan tegangan baterai. Daya motor DC lebih banyak dipengaruhi daripada beban yang diberikan kepada motor dan arus baterai. Sehingga pada tegangan yang sama daya yang masuk ke motor DC dapat berbeda-beda. Dari data dan grafik tersebut, daya masuk ke motor DC maksimal adalah sebesar 273 Watt pada tegangan baterai sebesar 11.33 V.

4.2.5 Analisa Voltage Drop, Efisiensi dan Variasi Tegangan Awal Baterai Setiap Siklus Charge

Data-data dari kelima praktikkum yang telah dilakukan ditampilkan menjadi bentuk tabel dengan membandingkan tegangan awal baterai sebelum berbeban dengan tegangan baterai ketika berbeban. Tabel juga menampilkan nominal, persentase daripada selisih tegangan atau *voltage drop*, dan efisiensi daripada baterai pada setiap eksperimen.

Berdasarkan dari table Tabel IV-6 terlihat bahwa semakin besar beban yang diberikan kepada baterai, semakin besar *voltage drop* yang terjadi. *Voltage drop* terendah adalah

sebesar 0.75 V atau sebesar 6% dari tegangan awal, yaitu pada eksperimen I dimana motor DC belum diberikan apapun. *Voltage drop* tertinggi terjadi pada eksperimen V, yaitu ketika motor DC diberikan beban maksimal dan mendapatkan daya masuk sebesar 273 Watt, sebesar 1.25 V atau sebesar 10% dari tegangan awal.

Efisiensi daripada baterai dapat dihitung berdasarkan persamaan (II.10). Didapatkan semakin tinggi beban yang diberikan kepada baterai, semakin rendah efisiensi yang dimiliki oleh baterai. Efisiensi tertinggi baterai adalah pada eksperimen I sebesar 94% dan efisiensi terendah baterai adalah pada eksperimen II yaitu sebesar 90%. Variasi tegangan awal baterai setiap siklus charge berdasarkan Tabel IV-7 yang didapatkan tidaklah signifikan. Variasi berkisar pada 0.07, 0.17 V dan 0.18V atau sekitar $\pm 1\%$ saja.

Tabel IV-6 Selisih tegangan awal dan tegangan berbeban daripada baterai dan efisiensi pada setiap percobaan

Percobaan	Tegangan Awal	Tegangan Berbeban	Selisih Tegangan		Efisiensi
I	12.65	11.9	0.75	6%	94%
II	12.65	11.69	0.96	8%	92%
III	12.48	11.63	0.85	7%	93%
IV	12.47	11.43	1.04	8%	92%
V	12.58	11.33	1.25	10%	90%

Tabel IV-7 Variasi daripada tegangan awal baterai setiap siklus charge dan persentasenya

	I		II		III		IV		V	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
I	0	0%	0	0%	0.17	1%	0.18	1%	0.07	1%
II	0	0%	0	0%	0.17	1%	0.18	1%	0.07	1%
III	-0.17	-1%	-0.17	-1%	0	0%	0.01	0%	-0.1	-1%

IV	-0.18	-1%	-0.18	-1%	-0.01	0%	0	0%	-0.11	-1%
V	-0.07	-1%	-0.07	-1%	0.1	1%	0.11	1%	0	0%

Keterangan:

- I: Eksperimen Tanpa Beban
- II: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Tanpa Beban
- III: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 55V
- IV: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 120W dengan Tegangan Eksitasi 115V
- V: Eksperimen Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban 240W dengan Tegangan Eksitasi 150V
 - a: Nominal selisih tegangan awal
 - b: Persentase selisih tegangan awal

4.2.6 Analisa Kemungkinan Aplikasi Baterai dalam Sistem Propulsi Elektrik di Kapal

Dalam aplikasi baterai terhadap sistem propulsi elektrik diperlukan kajian lebih dalam dalam hubungan baterai dan kebutuhan performa daripada kapal, serta faktor keselamatannya. Seperti dibahas pada BAB II, *discharge test* digunakan untuk mendapatkan performa daripada baterai untuk memahami kemungkinan aplikasinya. Data-data baterai yang telah dianalisis sebelumnya pada bagian ini akan dibandingkan dengan peraturan dari klas untuk mengetahui apakah sistem yang digunakan dalam eksperimen, terutama baterai, dapat diaplikasikan sebagai sistem propulsi elektrik di kapal. Peraturan klas yang dipakai adalah peraturan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

Berdasarkan dari peraturan BKI pada BKI Vol. IV mengenai *Rules for Electrical Installations Section 1.F.1 tabel 1.7*, jika hasil eksperimen dibandingkan dengan peraturan dapat dilihat pada Tabel IV-8.

Terlihat bahwa variasi tegangan yang diatur oleh BKI dapat dipenuhi oleh baterai dan sistem eksperimen karena *voltage drop* yang didapatkan dari eksperimen adalah sebesar 6% - 10%. Sehingga dari sisi operasional sistem yang digunakan dalam eksperimen, terutama baterai, layak untuk diaplikasikan di kapal.

Tabel IV-8 Perbandingan peraturan BKI mengenai operasional baterai dengan hasil eksperimen

Sistem	Variasi	Hasil Eksperimen
Baterai terhubung dengan komponen	+30%, -25%	Min 6% Maks 10%
Baterai tidak terhubung dengan komponen	+20%, -25%	

Terlihat bahwa batas *voltage drop* belum terlampaui dan masih ada selisih yang cukup besar. Selisih daripada *voltage drop* ini mengindikasikan bahwa baterai 12 V yang dihubungkan dengan motor DC Feedback Tipe No. 63-110 yang digunakan dalam eksperimen dapat menanggung beban yang lebih besar lagi. Adapun keterbatasan daripada eksperimen adalah kemampuan daripada motor DC dan kapasitas baterai yang rendah.

Tabel IV-9 Perkiraan batas kemampuan maksimal dari baterai 12 V

V baterai	Daya	Voltage drop dengan Vawal: 12.65		Voltage drop dengan Vawal: 12.58	
9.60	813.33	3.05	24%	2.98	24%
9.43	869.4	3.23	25%	3.16	25%
9.25	925.47	3.40	27%	3.33	26%

V baterai	Daya	Voltage drop Dengan Vawal: 12.48		Voltage drop Dengan Vawal: 12.47	
9.60	813.33	2.88	23%	2.87	23%
9.43	869.4	3.06	24%	3.05	24%
9.25	925.47	3.23	26%	3.22	26%

Dengan menggunakan metode ekstrapolasi linier pada program Ms. Excel, kemampuan maksimal dari baterai untuk aplikasi pada sistem propulsi elektrik dengan mempertimbangkan batasan *voltage drop* atau variasi tegangan dari peraturan BKI dapat diperkirakan. Perkiraan ini menggunakan data-data yang sudah ada sebelumnya mengenai tegangan awal baterai *voltage drop* yang terjadi.

Berdasarkan dari aturan BKI mengenai variasi tegangan pada baterai adalah antara 20%-30%, maka digunakan batas maksimal variasi tegangan adalah 25%. Dari Tabel IV-1 Tabel IV-9 dapat dilihat bahwa tegangan yang diprakirakan terukur pada batas tersebut adalah 9.43 V dengan *voltage drop* 3,05-3,23 V atau sekitar 24%-25%. Adapun daya maksimum yang mungkin dihasilkan pada batasan tersebut adalah sebesar 869.4 Watt untuk baterai 12 V yang digunakan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan eksperimen dan analisa terhadap performa baterai *lead-acid* VRLA 18Ah, hubungan performa baterai dengan motor DC Feedback tipe No. 63 – 110, dan kemungkinan baterai untuk aplikasi di sistem propulsi elektrik kapal, maka penulis menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Performa baterai 12V yang dihubungkan dengan motor DC berdasarkan eksperimen *discharge test* adalah sebagai berikut:
 - a. Tegangan tertinggi baterai ketika eksperimen didapatkan ketika tidak ada pembebanan lain kecuali motor DC, yaitu sebesar 11.9 V.
 - b. Arus baterai semakin tinggi dengan peningkatan beban dan kebutuhan daya motor DC, adapun arus baterai terbesar yang terukur dengan clampmeter adalah sebesar 7.75 A dan berdasarkan perhitungan dengan asumsi efisiensi power inverter sebesar 80% adalah 30.12 A.
 - c. *Cut off voltage* dari baterai berbeda-beda sesuai dengan beban yang diberikan, semakin tinggi beban, semakin tinggi pula *cut off voltage* berada pada tegangan dan arus daripada baterai pada pembebanan berbeda. Adapun *cut-off voltage* yang didapatkan pada eksperimen pertama sampai kelima dengan beban yang semakin bertambah adalah 9.48V; 9.54V; 10.14V; 10.13V; dan 10.48V.
 - d. Baterai akan mengalami *voltage drop* semakin besar jika mendapatkan beban yang semakin besar juga. Adapun *voltage drop* yang didapatkan pada

- eksperimen pertama sampai kelima adalah 0.75V; 0.96V; 0.85V; 1.04V; 1.25V.
- e. Efisien dari baterai akan turun dengan semakin besar beban yang diberikan. Adapun efisiensi yang didapatkan pada eksperimen pertama sampai kelima adalah 94%; 92%; 93%; 92%; 90%.
2. Hubungan antara performa baterai dengan performa motor DC dala *discharge test* adalah sebagai berikut
 - a. Tegangan berpengaruh penting dalam kecepatan daripada motor DC, kecepatan tertinggi yang didapatkan dari eksperimen adalah sebesar 2730 RPM pada tegangan baterai 11.9 V, kecepatan ini didapatkan ketika motor DC tidak mendapatkan beban apapun.
 - b. Daya yang masuk ke motor DC semakin tinggi dengan semakin tingginya beban yang diberikan, daya masuk maksimum didapatkan pada eksperimen V yaitu pada 273 watt dengan tegangan baterai sebesar 11.33 V.
 3. Kemampuan baterai 12V untuk diaplikasikan dalam sistem propulsi elektrik di kapal berdasarkan peraturan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) tentang aplikasi baterai di kapal adalah sebagai berikut:
 - a. Batas variasi tegangan yang terjadi pada baterai adalah sekitar 20%-30%, dan digunakan batasnya adalah 25%. Hasil analisa pada data-data yang didapatkan dari eksperimen, didapatkan bahwa variasi tegangan atau *voltage drop* pada baterai 12V yang digunakan pada motor DC Feedback tipe No. 63-110 berada pada kisaran 6%-10%, sehingga layak untuk diterapkan pada sistem propulsi elektrik.
 - b. Dengan menggunakan ekstrapolasi pada Ms. Excel didapatkan daya maksimum yang dapat diberikan baterai adalah sebesar 869.4 Watt pada tegangan

baterai 9.43V sebelum mencapai batas variasi tegangan yang diijinkan.

5.2 Saran

Berdasarkan dengan eksperimen dan data-data yang didapatkan, untuk pengembangan skripsi ini selanjutnya penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Melakukan modifikasi atau pergantian motor DC yang memiliki kapasitas lebih besar untuk mendapatkan batas aktual performa baterai dalam penerapannya di sistem propulsi elektrik sesuai dengan aturan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

"Halaman ini sengaja dikosongkan."

DAFTAR PUSTAKA

All About Circuits, ei pvm *Battery Ratings : Battery and Power Systems - Electronic Textbook*. [Online] Available at: <http://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-11/battery-ratings/> [Haettu 25 August 2016].

Chapman, S. J., 2012. *Electric Machinery Fundamentals*. 5th toim. New York: McGraw-Hill.

Daware, K., 2014. *Brushless DC (BLDC) Motor - Construction and Working*. [Online] Available at: <http://www.electricaleasy.com/2014/12/permanent-magnet-dc-pmdc-motors.html> [Haettu 4 October 2016].

Dedes, E. K., Hudson, D. A. & Turnock, S. R., 2016. Investigation of Diesel Hybrid Systems for Fuel Oil Reduction in Slow Speed Ocean Going Ships. *Energy*, Osa/vuosikerta 114, pp. 444-456.

DNV GL, 2013. *DNV GL Guideline for Large Maritime Battery Systems*, Havik: DNV GL.

Doucet, J., Eggleston, D., Shaw, J. & Bitar, S. J., 2007. *DC/AC Pure Sine Wave Inverter*, Worcester: Worcester Polytechnic Institute; NECAMSID.

Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E. & Emadi, A., 2005. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. Florida: CRC Press.

Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr., C. & Umans, S. D., 2003. *Electric Machinery*. 6th toim. New York: The McGraw Hill.

Hannan, M., Azidin, F. & Mohamed, A., 2014. Hybrid Electric Vehicles and Their Challenges: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Osa/vuosikerta 29, pp. 135-150.

Kumar, L. & Jain, S., 2014. Electric Propulsion System for Electric Vehicular Technology: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Osa/vuosikerta 29, pp. 924-940.

MAN, ei pvm *Diesel-electric Propulsion Plants*. [Online] Available at: <https://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/marine-broschures/diesel-electric-drives-guideline.pdf?sfvrsn=0> [Haettu 18 August 2016].

Megger, R. L., 2003-2004. Battery Testing - Then and Now. *NETA World*.

Pandey, A., 2015. *The Ever Changing World of Batteries*. [Online] Available at: <http://www.yoyotips.com/ever-changing-world-batteries/> [Haettu 29 December 2016].

REUK.co.uk, 2016. *Lead Acid Batteries* | *REUK.co.uk*. [Online] Available at: <http://www.reuk.co.uk/wordpress/storage/lead-acid-batteries/> [Haettu 29 December 2016].

Robertson, D. C. ym., 2016. A comparison of battery testing protocols: Those used by the U.S. advanced battery consortium and those used in China. *Journal of Power Sources*, Issue 306, pp. 268-274.

Smart Battery, 2016. *Smart Battery (R) | 12V Lithium Battery for RV, Marine and Automotive*. [Online]

Available at: <http://www.lithiumion-batteries.com/>
[Haettu 29 December 2016].

Theraja, B. & Theraja, B., 1994. *A Textbook of Electrical Technology Volume II*. New Delhi: S. Chand.

Vignarooban, K. ym., 2016. State of Health Detemination of Sealed Lead Acid Batteries Under Various Operating Conditions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Issue 18, pp. 134-139.

www.electrical-knowhow.com, 2012. *Electrical Motors Basic Components*. [Online]
Available at: <http://www.electrical-knowhow.com/2012/05/electrical-motors-basic-components.html>
[Haettu 3 October 2016].

"Halaman ini sengaja dikosongkan."

LAMPIRAN

Hasil perhitungan arus baterai di setiap eksperimen:

1. Eksperimen I

Waktu (menit)	Arus Baterai
00:00.0	10.15
05:00.0	9.71
10:00.0	9.50
15:00.0	9.36
20:00.0	9.33
25:00.0	8.68
30:00.0	8.79
33:27.0	8.97

2. Eksperimen II

Waktu	Arus baterai
00:00.0	14.60
05:00.0	13.84
10:00.0	13.53
15:00.0	13.78
20:00.0	13.24
25:00.0	13.53
27:32.0	13.53

3. Eksperimen III

Waktu	Arus baterai
00:00.0	18.06

03:00.0	17.43
06:00.0	17.20
09:00.0	17.30
12:00.0	17.19
14:16.0	16.18

4. Eksperimen IV

Waktu	Arus baterai
00:00.0	27.56
02:00.0	24.02
04:00.0	23.82
06:00.0	23.99
08:00.0	24.88
08:18.0	22.40

5. Eksperimen V

Waktu	Arus baterai
00:00.0	30.12
02:00.0	27.28
04:00.0	24.77
06:00.0	24.08
0:07:49	21.47

Data dari grafik termasuk data kosong yang diisi dengan metode interpolasi

1. Grafik Perbandingan Tegangan Baterai dengan Waktu

T (menit)	I	II	III	IV	V
00:00.0	11.90	11.69	11.63	11.43	11.33
02:00.0	11.85	11.64	11.52	11.24	11.27
03:00.0	11.83	11.61	11.47	11.13	11.19
04:00.0	11.80	11.59	11.43	11.02	11.10
05:00.0	11.78	11.56	11.38	10.83	11.00
06:00.0	11.75	11.53	11.34	10.63	10.90
07:49.0	11.71	11.51	11.23	10.28	10.48
08:00.0	11.70	11.51	11.22	10.25	
08:18.0	11.69	11.51	11.20	10.13	
09:00.0	11.68	11.50	11.16		
10:00.0	11.65	11.41	11.05		
12:0.0	11.59	11.33	10.83		
14:16.0	11.53	11.23	10.14		
15:00.0	11.50	11.20			
20:00.0	11.26	10.89			
25:00.0	10.95	9.98			
27:32.0	10.44	9.54			
30:00.0	9.95				
33:27.0	9.48				

2. Grafik Perbandingan Kecepatan Motor dengan Tegangan Baterai

Vbaterai	I	II	III	IV	V
11.9	2730				
11.78	2728				
11.69	2727	2593			
11.65	2727	2592			
11.63	2722	2592	2593		
11.56	2707	2591	2586		
11.5	2693	2583	2580		
11.47	2688	2578	2577		
11.43	281	2573	2572	2284	
11.41	2678	2570	2569	2283	
11.34	2666	2557	2560	2281	
11.33	2665	2555	2558	2280	2541
11.27	2655	2543	2545	2278	2539
11.26	2653	2541	2543	2278	2538
11.24	2649	2538	2538	2277	2536
11.2	2642	2530	2530	2269	2532
11.16	2635	2520	2521	2262	2529
11.1	2624	2506	2508	2250	2523
11.02	2610	2487	2491	2235	2503
10.95	2597	2470	2476	2221	2486
10.9	2594	2458	2465	2211	2474
10.89	2593	2456	2463	2209	2472
10.83	2589	2454	2450	2197	2458
10.63	2576	2447	2433	2157	2412
10.48	2566	2441	2420	2136	2378

10.25	2551	2433	2400	2103	
10.14	2544	2429	2391	2075	
10.13	2543	2428		2072	
9.98	2533	2423			
9.95	2531	2422			
9.54	2525	2414			
9.48	2524				

3. Grafik perbandingan arus baterai terukur dengan waktu

T (menit)	I	II	III	IV	V
00:00.0	2.17	3.07	4.83	7.00	7.75
02:00.0	2.13	3.03	4.59	6.65	7.40
03:00.0	2.11	3.01	4.47	6.43	7.19
04:00.0	2.09	2.99	4.36	6.20	6.98
05:00.0	2.07	2.97	4.25	5.89	6.79
06:00.0	2.06	2.94	4.14	5.57	6.60
07:49.0	2.03	2.88	4.00	4.89	6.01
08:00.0	2.02	2.88	3.99	4.82	
08:18.0	2.02	2.87	3.96	4.33	
09:00.0	2.01	2.85	3.91		
10:00.0	1.99	2.82	3.77		
12:00.0	1.97	2.71	3.49		
14:16.0	1.95	2.60	2.92		
15:00.0	1.94	2.56			
20:00.0	1.83	2.09			
25:00.0	1.61	2.05			
27:32.0	1.50	1.98			
30:00.0	1.39				
33:27.0	1.36				
35:00.0					

4. Grafik perbandingan arus baterai terhitung dengan waktu

T (menit)	I	II	III	IV	V
00:00.0	10.1	14.60	18.06	27.56	30.12
02:00.0	9.97	14.29	17.64	24.02	25.01
03:00.0	9.89	14.14	17.43	23.92	24.89
04:00.0	9.80	13.99	17.35	23.82	24.77
05:00.0	9.71	13.84	17.27	23.90	24.43
06:00.0	9.67	13.78	17.20	23.99	24.08
07:49.0	9.59	13.66	17.26	24.80	21.47
08:00.0	9.59	13.65	17.26	24.88	
08:18.0	9.57	13.63	17.27	22.40	
09:00.0	9.55	13.59	17.30		
10:00.0	9.5	13.53	17.26		
12:00.0	9.45	13.63	17.19		
14:16.0	9.38	13.74	16.18		
15:00.0	9.36	13.78			
20:00.0	9.33	13.24			
25:00.0	8.68	13.53			
27:32.0	8.74	13.53			
30:00.0	8.79				
33:27.0	8.97				

5. Grafik perbandingan daya masuk motor dengan tegangan baterai

V baterai	I	II	III	IV	V
11.9	96.6				
11.78	91.52				

11.69	89.48	136.5			
11.65	88.58	133.88			
11.63	88.25	132.58	168		
11.56	87.09	128	164.46		
11.5	86.1	126.19	161.42		
11.47	85.84	125.29	159.9		
11.43	85.49	124.08	158.70	252	
11.41	85.31	123.48	158.10	248.21	
11.34	84.70	123.48	156	234.95	
11.33	84.61	123.48	155.91	233.05	273
11.27	84.09	123.48	155.39	221.68	246
11.26	84	123.48	155.31	219.79	244.47
11.24	83.48	123.48	155.13	216	241.41
11.2	82.45	123.48	154.79	214.91	235.29
11.16	81.42	122.43	154.44	213.82	229.18
11.1	79.87	120.85	153.44	212.18	220
11.02	77.81	118.74	152.12	210	216.00
10.95	76	116.90	150.95	208.92	212.50
10.9	75.70	115.58	150.12	208.15	210
10.89	75.64	115.32	149.96	208.00	209.29
10.83	75.28	114.84	148.96	207.08	205.00
10.63	74.08	113.23	143.83	204	190.71
10.48	73.18	112.02	139.98	204.00	180
10.25	71.80	110.17	134.07	204	
10.14	71.14	109.29	131.25	183.38	
10.13	71.08	109.21		181.5	
9.98	70.18	108			
9.95	70	107.68			
9.54	68.26	103.24			
9.48	68				

Hasil ekstrapolasi linier dengan Ms. Excel untuk daya maksimum dari baterai dan *voltage drop*-nya

V_b	Daya	$V_{awal}: 12.65$		$V_{awal}: 12.58$		$V_{awal}: 12.48$		$V_{awal}: 12.47$	
11.90	96.6	0.75	6%	0.68	5%	0.58	5%	0.57	5%
11.69	136.5	0.96	8%	0.89	7%	0.79	6%	0.78	6%
11.63	168.0	1.02	8%	0.95	8%	0.85	7%	0.84	7%
11.33	273.0	1.32	10%	1.25	10%	1.15	9%	1.14	9%
11.20	308.7	1.46	12%	1.39	11%	1.29	10%	1.28	10%
11.02	364.8	1.63	13%	1.56	12%	1.46	12%	1.45	12%
10.84	420.8	1.81	14%	1.74	14%	1.64	13%	1.63	13%
10.66	476.9	1.99	16%	1.92	15%	1.82	15%	1.81	14%
10.49	533.0	2.16	17%	2.09	17%	1.99	16%	1.98	16%
10.31	589.1	2.34	18%	2.27	18%	2.17	17%	2.16	17%
10.13	645.1	2.52	20%	2.45	19%	2.35	19%	2.34	19%
9.96	701.2	2.69	21%	2.62	21%	2.52	20%	2.51	20%
9.78	757.3	2.87	23%	2.80	22%	2.70	22%	2.69	22%
9.60	813.3	3.05	24%	2.98	24%	2.88	23%	2.87	23%
9.43	869.4	3.23	25%	3.16	25%	3.06	24%	3.05	24%
9.25	925.5	3.40	27%	3.33	26%	3.23	26%	3.22	26%

Dokumentasi Eksperimen

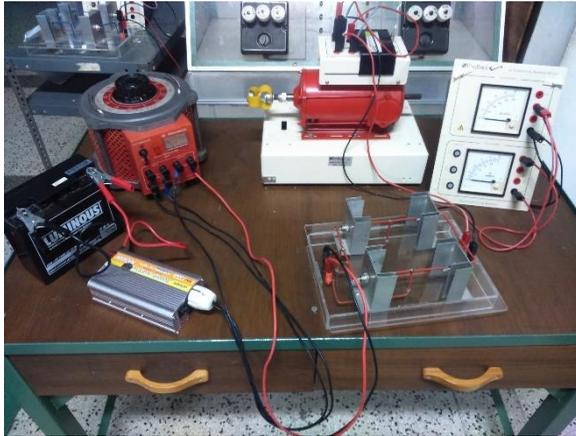
- Situasi laboratorium



- Eksperimen discharge test dengan motor DC terhubung dengan Generator



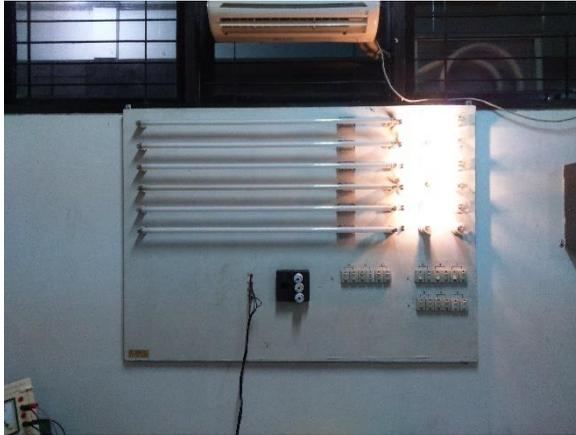
- Eksperimen discharge test motor DC tanpa beban



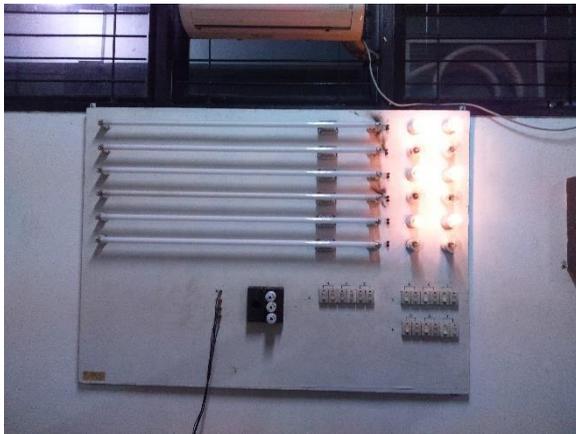
- Kondisi lampu pada eksperimen discharge test Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 120W dengan Tegangan Eksitasi 55V



- Kondisi lampu pada eksperimen discharge test Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 120W dengan Tegangan Eksitasi 115V



- Kondisi lampu pada eksperimen discharge test Discharge Test Motor DC Dihubungkan dengan Generator Berbeban Lampu 240W dengan Tegangan Eksitasi 150V



"Halaman ini sengaja dikosongkan."

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 30 Mei 1994 sebagai anak pertama dari tiga bebsaudara dengan nama lengkap Genesis Aldorino Pangemanan. Penulis menempuh pendidikan menengah atas di SMA Negeri 3 Kota Bogor kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menempuh pendidikan tinggi penulis aktif di bidang organisasi mahasiswa dan non-akademik di bidang teater, tepatnya di UKM Teater Tiyang Alit ITS.

Penulis dapat dihubungi di genesis.pangemanan@gmail.com.

"Halaman ini sengaja dikosongkan.