



TUGAS AKHIR - TF 141581

**ANALISA PERFORMANSI DARI
PENYUSUNAN BATERAI TERHADAP
MASING-MASING JENIS PENDRONGAN
PADA KAPAL SELAM**

**IQBALL DWI CANDRA PATMANEGARA
NRP. 0231144000053**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Juniarko Prananda, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 141581

**PERFORMANCE ANALYSIS OF BATTERY
DEVELOPMENT ON EACH TYPES OF
DRIVERS IN SUBMARINE**

**IQBALL DWI CANDRA PATMANEGARA
NRP. 0231144000053**

**Supervisor
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Juniarko Prananda, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

This page intentionally left blank

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Iqball Dwi Candra Patmanegara
NRP : 02311440000053
Departemen : Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“Analisa Performansi Dari Penyusunan Baterai Terhadap Masing-Masing Jenis Pendorongan Pada Kapal Selam”** adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 25 Juli 2018
Yang membuat pernyataan

Iqball Dwi Candra Patmanegara
02311440000053

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERFORMANSI DARI PENYUSUNAN BATERAI TERHADAP MASING-MASING JENIS PENDORONGAN PADA KAPAL SELAM

TUGAS AKHIR

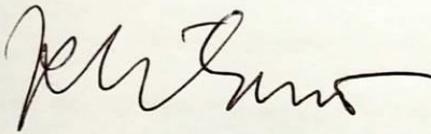
Oleh :

IQBALL DWI CANDRA PATMANEGARA
NRP. 0231144000053

Surabaya, 25 Juli 2018
Mengetahui / Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
NIP. 19761223 200501 1 001

Juniarko Prananda, S.T., M.T.
NIP. 19900605 201504 1 001

Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI – ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERFORMANSI DARI PENYUSUNAN BATERAI TERHADAP MASING-MASING JENIS PENDORONG PADA KAPAL SELAM

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Energi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

IQBALL DWI CANDRA PATMANEGARA
NRP 0231144000053

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. (Pembimbing I)
2. Juniarko Prananda, S.T., M.T. (Pembimbing II)
3. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA. (Penguji I)
4. Dr. Suyanto, S.T., M.T. (Penguji II)
5. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc. (Penguji III)

SURABAYA
JULI 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA PERFORMANSI DARI PENYUSUNAN BATERAI TERHADAP MASING-MASING JENIS PENDORONG PADA KAPAL SELAM

Nama Mahasiswa : Iqball Dwi Candra Patmanegara
NRP : 0231144000053
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
2. Juniarko Prananda, S.T., M.T.

Abstrak

Kapal selam mempunyai komponen penting yaitu baterai dan motor pendorong untuk proses pendorongan. Baterai berfungsi sebagai sumber utama penyuplai kebutuhan energi dan motor pendorong sebagai alat yang dapat merubah energi listrik menjadi energi gerak perlu dilakukan cara supaya kinerja dari baterai pada kapal selam dapat berjalan optimum. Dengan menggunakan metode BMS (*Battery Management System*) mampu membuat kinerja dari sebuah baterai jadi lebih baik. Pada kapal selam terdapat 5 jenis pendorongan. Jenis pendorongan tersebut disusun guna mendapatkan kecepatan kapal selam sesuai dengan yang diinginkan. Hasil dari penelitian adalah lama penggunaan baterai berbanding terbalik dengan ampere beban pada baterai. Berikut hasil simulasi pada tipe pendorongan sesuai dengan spesifikasi existing dari kapal selam. Tipe I waktu penggunaan selama 86,45 jam, tipe II waktu penggunaan selama 42,01 jam, tipe III waktu penggunaan selama 21,22 jam, tipe IV waktu penggunaan selama 5,33 jam, tipe V waktu penggunaan selama 1,75 jam. Pemakaian susunan baterai secara paralel waktu penggunaan lebih lama dari pada pemakaian susunan secara seri dan susunan secara paralel.

Kata kunci : Kapal Selam, Baterai Lead Acid, BMS (Battery Management System).

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERFORMANCE ANALYSIS OF BATTERY
DEVELOPMENT ON EACH TYPES OF DRIVERS IN
SUBMARINE**

Name : Iqball Dwi Candra Patmanegara
NRP : 0231144000053
Departement : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisors : 1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
2. Juniarko Prananda, S.T., M.T.

Abstract

Submarine has an important component that is the battery and motor booster for the process of encouragement. Battery serves as the main source of energy supply and motor drive as a tool that can convert electrical energy into motion energy needs to be done so that the performance of the battery on the submarine can run optimum. By using the method of BMS (Battery Management System) is able to make the performance of a battery so much better. On the submarine there are 5 types of encouragement. Type of encouragement is arranged to get the speed of the submarine in accordance with the chill. The result of the research is the long battery use inversely proportional to the load amperage on the battery. The following results are simulated on the type of assistance in accordance with the existing specifications of the submarine. Type I use time for 86.45 hours, type II usage time for 42.01 hours, type III usage time for 21.22 hours, type IV usage time for 5 , 33 hours, type V use time for 1.75 hours. The use of parallel battery packs takes longer time to use than in series and parallel arrangement.

Keywords: Submarine, Lead Acid Battery, BMS (Battery Management System).

This page intentionally left blank

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, penulis mampu menyelesaikan laporan penelitian Tugas Akhir yang berjudul:

“ANALISA PERFORMANSI DARI PENYUSUNAN BATERAI TERHADAP MASING-MASING JENIS PENDORONG PADA KAPAL SELAM”

Pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku ketua Departemen Teknik Fisika FTI-ITS.
2. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. dan Bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang senantiasa sabar memberikan bimbingan, motivasi dan arahan dalam menyelesaikan penelitian ini.
3. Segenap Bapak dan Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika FTI-ITS.
4. Kedua orang tua, Bapak Sujadi dan Ibu Sri Suhartiwiningsih yang selalu memberi motivasi dan do'a sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu.
5. Mas Edwin selaku mentor sekaligus teman sharing saya dalam belajar software Matlab guna menunjang pengerjaan penelitian ini.
6. Sahabatku Arwinda Widyanova, Shintya Novitasari, dan Achbel Rizki yang selalu memberi motivasi, dukungan dan hiburan dikala selama proses mengerjakan penelitian ini.
7. Kabinet BEM FTI “Torsi” yang sering menemani dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

8. Alfian Harida Maulana dan Fahmi Izdhiharudin yang selalu menemani saya setiap malam dalam proses pengerjaan tugas akhir.
9. Gerry Prasetyo dan Laily Kusuma yang membantu memberi bimbingan untuk merapikan penulisan tugas akhir ini.
10. Teman-teman pejuang wisuda 118 Laboratorium Kelompok Studi Energi Teknik Fisika ITS yang telah berjuang bersama sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini tepat waktu.
11. Teman-teman angkatan Teknis Fisika 2014 yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Jika dalam penulisan laporan penelitian ini terdapat kesalahan maka saran dan kritik yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan. Penulis berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 25 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| PERYATAAN BEBAS PLAGIASME | v |
| LEMBAR PENGESAHAN | ix |
| Abstrak | xi |
| <i>Abstract</i> | xiii |
| KATA PENGANTAR..... | xv |
| DAFTAR ISI..... | xvii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xix |
| DAFTAR TABEL | xxiii |
| DAFTAR NOTASI | xxv |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan | 2 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 3 |
| 2.1 <i>BMS (Battery Management System)</i> | 3 |
| 2.2 <i>Battery Lead Acid</i> | 5 |
| 2.3 <i>Motor DC</i> | 12 |
| 2.4 Kapal Selam..... | 19 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 21 |
| 3.1 Metode Penelitian | 21 |
| 3.2 Kerangka Alur penelitian | 21 |
| 3.3 Penjelasan Flowchart penelitian | 22 |
| BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN | 33 |
| 4.1 Penjelasan Hasil Pemodelan Simulasi pada Matlab..... | 33 |
| 4.2 Validasi Hasil Simulasi | 41 |
| 4.3 Analisa Data Tiap Jenis Pendorong pada kondisi existing..... | 42 |
| 4.4 Analisa Data Variasi Baterai Pada Tiap Jenis Pendorong..... | 52 |
| 4.5 Analisa Data Variasi Baterai Seri-Pararel pada Tiap Jenis Pendorong | 59 |

| | |
|----------------------|----|
| BAB V PENUTUP | 69 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 69 |
| 5.2 Saran | 70 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 71 |
| LAMPIRAN A..... | 73 |
| LAMPIRAN B | 76 |
| LAMPIRAN C | 81 |
| BIODATA PENULIS..... | 82 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 2. 1 | Ilustrasi SoC di BMS | 4 |
| Gambar 2. 2 | Grafik Hubungan DoD dengan <i>Life cycle</i> | 5 |
| Gambar 2. 3 | Katoda dan Anoda pada sel baterai | 6 |
| Gambar 2. 4 | Proses Elektrokimia pada sel baterai | 6 |
| Gambar 2. 5 | Karakteristik Battery Lead Acid. | 7 |
| Gambar 2. 6 | Baterai pada Kondisi Discharge | 10 |
| Gambar 2. 7 | Baterai pada kondisi Charge | 11 |
| Gambar 2. 8 | Tahapan Pengisian Baterai | 12 |
| Gambar 2. 9 | Medan magnet yang mambawa arus mengelilingi konduktor | 13 |
| Gambar 2. 10 | Prinsip kerja motor dc | 13 |
| Gambar 2. 11 | Rangkaian motor dc shunt | 14 |
| Gambar 2. 12 | Karateristik motor dc shunt | 14 |
| Gambar 2. 13 | Rangkaian motor dc series | 15 |
| Gambar 2. 14 | Karateristik motor dc series | 15 |
| Gambar 2. 15 | Rangkaian motor dc kompon | 16 |
| Gambar 2. 16 | Karateristik motor dc kompon..... | 16 |
| Gambar 2. 17 | Kurva torsi dan kecepatan | 17 |
| Gambar 2. 18 | Grafik torsi dan kecepatan dengan luas Daerah persegi..... | 18 |
| Gambar 2. 19 | Baterai Kapal Selam u-209/1300..... | 19 |
| Gambar 3. 1 | Flowchart Penelitian | 22 |
| Gambar 3. 2 | Skema pendorongan I | 23 |
| Gambar 3. 3 | Hasil pemodelan pendoronga I di Matlab ... | 24 |
| Gambar 3. 4 | Skema pendorongan II | 24 |
| Gambar 3. 5 | Hasil pemodelan pendorongan II di Matlab | 25 |
| Gambar 3. 6 | Skema pendorongan III..... | 25 |
| Gambar 3. 7 | Hasil pemodelan pendorongan III di Matlab | 26 |
| Gambar 3. 8 | Skema pendorongan IV..... | 26 |
| Gambar 3. 9 | Hasil pemodelan pendorongan IV di Matlab | 27 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 3. 10 | Skema pendorongan V | 27 |
| Gambar 3. 11 | Hasil pemodelan pendorongan V di Matlab | 28 |
| Gambar 3. 12 | (a) disusun seri, (b) disusun paralel (c) disusun seri-paralel..... | 30 |
| Gambar 4. 1 | Pemasangan baterai jenis pendorong I..... | 33 |
| Gambar 4. 2 | Pemasangan motor jenis pendorong I | 34 |
| Gambar 4. 3 | Pemasangan baterai pendorong II..... | 35 |
| Gambar 4. 4 | Pemasangan motor jenis pendorong II..... | 36 |
| Gambar 4. 5 | Pemasangan baterai jenis pendorong III | 36 |
| Gambar 4. 6 | Pemasangan motor jenis pendorong III..... | 37 |
| Gambar 4. 7 | Pemasangan baterai jenis pendorong IV | 38 |
| Gambar 4. 8 | Pemasangan motor jenis pendorong IV | 39 |
| Gambar 4. 9 | Pemasangan baterai jenis pendorong V | 40 |
| Gambar 4. 10 | Pemasangan motor jenis pendorong V..... | 41 |
| Gambar 4. 11 | Hasil perhitungan waktu Pendorong I..... | 43 |
| Gambar 4. 12 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada Pendorong II..... | 43 |
| Gambar 4. 13 | Hasil Perhitungan waktu Pendorong II | 44 |
| Gambar 4. 14 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada Pendorong II..... | 45 |
| Gambar 4. 15 | Hasil Perhitungan waktu Pendorong III | 46 |
| Gambar 4. 16 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada Pendorong III | 46 |
| Gambar 4. 17 | Hasil Perhitungan waktu Pendorong IV | 47 |
| Gambar 4. 18 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong IV | 48 |
| Gambar 4. 19 | Hasil perhitungan waktu Pendorongan V.... | 49 |
| Gambar 4. 20 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada Pendorong V..... | 49 |
| Gambar 4. 21 | Grafik Hubungan Antara Waktu SoC dengan Arus Beban..... | 51 |
| Gambar 4. 22 | Grafik Hubungan Antara Torsi dengan Arus..... | 52 |
| Gambar 4. 23 | Hasil Perhitungan waktu Pendorongan I.... | 53 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 4. 24 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong I | 53 |
| Gambar 4. 25 | Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong II | 54 |
| Gambar 4. 26 | Grafik Perhitungan waktu Penggunaan pada Pendorong III | 54 |
| Gambar 4. 27 | Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong III..... | 55 |
| Gambar 4. 28 | Grafik Perhitungan waktu Penggunaan pada Pendorong III | 55 |
| Gambar 4. 29 | Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong IV | 56 |
| Gambar 4. 30 | Grafik Perhitungan waktu Penggunaan pada Pendorong IV | 56 |
| Gambar 4. 31 | Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong V..... | 57 |
| Gambar 4. 32 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong V..... | 57 |
| Gambar 4. 33 | Perbandingan waktu penggunaan variasi penyusunan baterai | 59 |
| Gambar 4. 34 | Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong I | 60 |
| Gambar 4. 35 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong I | 60 |
| Gambar 4. 36 | Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong II..... | 61 |
| Gambar 4. 37 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong II | 61 |
| Gambar 4. 38 | Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong III..... | 62 |
| Gambar 4. 39 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong III..... | 62 |
| Gambar 4. 40 | Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong IV | 63 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 4. 41 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong IV | 63 |
| Gambar 4. 42 | Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong V | 64 |
| Gambar 4. 43 | Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong V | 64 |
| Gambar 4. 44 | Perbandingan waktu penggunaan variasi penyusunan baterai | 66 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tabel 3. 1 | RPM pada masing-masing jenis pendorongan | 29 |
| Tabel 3. 2 | Arus masing-masing jenis pendorongan..... | 29 |
| Tabel 4. 1 | Hasil Validasi Simulasi..... | 41 |
| Tabel 4. 2 | Data Hasil Simulasi | 50 |
| Tabel 4. 3 | Perbandingan variasi penyusunan baterai | 58 |
| Tabel 4. 4 | Perbandingan variasi penyusunan baterai | 65 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

| | |
|------------|----------------------------------|
| <i>BMS</i> | <i>Battery Management System</i> |
| <i>SoC</i> | <i>State of Charge</i> |
| <i>SoH</i> | <i>State of Health</i> |
| <i>DoD</i> | <i>Depth of Discharge</i> |
| <i>V</i> | <i>Voltase (volt)</i> |
| <i>C</i> | <i>Kapasitas Baterai (Ah)</i> |
| <i>Ah</i> | <i>Ampere Hours</i> |
| <i>I</i> | <i>Arus (Ampere)</i> |
| <i>RPM</i> | <i>Rotate Per Minute</i> |
| <i>Kw</i> | <i>Kilowatt</i> |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal Selam merupakan kapal yang bergerak dibawah permukaan air, umumnya digunakan untuk tujuan kepentingan militer. Kapal selam dalam militer digunakan untuk kepentingan perang atau untuk patroli laut menajaga wilayah suatu negara. Indonesia cukup disegani karena mempunyai kapal selam yang terbilang handal. Salah satu kapal selam yang dimiliki Indonesia tersebut bertipe u-209/1300. Komponen penting yang ada pada kapal selam adalah baterai. Karena baterai merupakan sumber utama tenaga listrik pada saat kondisi di dalam air. Baterai digunakan untuk menggerakkan motor pendorong pada kapal selam untuk bergerak, baterai sebagai sumber utama untuk mengaktifkan ventilator supaya kondisi para awak kapal selam tetap merasa nyaman, dan masih banyak lagi fungsi lain dari baterai ketika kapal selam berada di dalam air laut.

Mengingat begitu pentingnya fungsi baterai pada kapal selam, maka performa baterai yang baik, akan mendukung perangkat yang ditunjangnya. Maka dari itu diperlukan sebuah rancangan sistem BMS (*Battery Management System*) agar performa baterai dapat mencapai maksimal. Sistem kerja dari BMS adalah melakukan monitoring. Monitoring parameter baterai meliputi tegangan sel individu pengukuran (untuk mencegah over discharge dan overcharge), total sel tegangan, arus total, deteksi impedansi, deteksi suhu. Perkiraan kondisi baterai dengan mendeteksi SoC (*State of Charge*) dan SoH (*State of Health*) pada baterai dengan menggunakan model dan algoritma seperti state space model, neural network, logika fuzzy dan seterusnya^[1]. SoC diperkirakan menggunakan parameter voltase, arus dan suhu. SoH diperkirakan sesuai dengan penurunan kinerja baterai yang terkait dengan kapasitas memudar dan daya memudar^[2].

Pada tugas akhir kali ini akan membahas variasi komposisi susunan baterai dengan BMS (*Batteray Management System*)

yang tepat guna agar performa dari baterai mencapai maksimal terhadap masing-masing jenis pendorongan pada kapal selam. Sehingga pada penelitian dapat menemukan dan menyimpulkan komposisi variasi baterai yang optimal terhadap masing-masing jenis pendorongan pada kapal selam.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pemodelan baterai di kapal selam menggunakan metode BMS (*Battery Management System*) pada Matlab ?
2. Apa pengaruh variasi susunan baterai menggunakan BMS (*Battery Management System*) terhadap kinerja masing-masing jenis pendorongan pada kapal selam dengan menggunakan Matlab ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Baterai yang digunakan adalah jenis *lead acid* @120 cell sebanyak 4 buah kapasitas 240 volt dan 4000 Ah.
2. Pada penelitian ini dibatasi pada proses discharging pada kapal selam untuk mengetahui performansi baterai.
3. Terdapat 5 jenis pendoronga pada kapal selam.
4. Motor yang digunakan jenis motor dc.
5. Perhitungan fisis yang dicari adalah *current*, *voltage*, *SoC* (*State of Current*).

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui cara menyusun pemodelan baterai di kapal selam menggunakan metode BMS (*Battery Management System*) pada Matlab.
2. Mengetahui pengaruh variasi susunan baterai menggunakan BMS (*Battery Management System*) terhadap kinerja masing-masing jenis pendorongan pada kapal selam dengan menggunakan Matlab.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 BMS (Battery Management System)

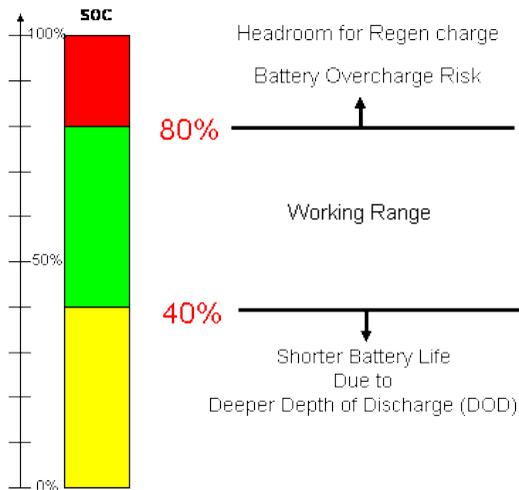
Baterai Management System (BMS) dapat diartikan sebagai otak dari sebuah sistem baterai. BMS dapat melakukan monitoring yaitu memantau voltase pada baterai, temperature yang terjadi pada baterai selama pemakaian, Arus yang ada pada baterai, *SoC*, *SoH*, dll untuk memastikan penggunaan optimal dari sebuah kinerja baterai atau untuk meminimalkan resiko kerusakan yang ditimbulkan^[3].

BMS punya fungsi yaitu mengontrol pengisian baterai dengan praktis dan memastikan tidak ada pengisian yang berlebihan sehingga dapat memperpanjang umur dari sebuah baterai. Fungsi kedua yaitu memonitor proses pelepasan baterai yang berguna unntuk mencegah kerusakan yang timbul pada baterai. Fungsi selanjutnya yaitu melacak *SoC* baterai dan menggunakan nilai yang ditentukan untuk mengontrol pengisian dan pemakaian baterai dan memberi sinyal nilai kepada pengguna perangkat portabel.

Berikut istilah-istilah yang ada dalam BMS (*Battery Management System*)^[4],

a) SoC(State oh Charge)

SoC merupakan parameter penting yang mencerminkan kinerja dari baterai sehingga estimasi SoC yang akurat tidak hanya untuk melindungi baterai dari kondisi bahaya namun juga mencegah terjadinya overdischarging, meningkatkan masa pakai suatu baterai tetapi juga sebagai acuan untuk membangun sistem pengontrolan untuk menghemat penggunaan energi melalui sistem mangemen baterai. SoC merupakan rasio kapasitas energy yang tersedia dalam sebuah baterai, dengan kapasitas energy maksimum. Nilai SOC dinyatakan dalam persentase, 0% - 100%, dimana 0% menyatakan baterai dalam keadaan kosong tanpa ada kapasitas energy yang tersimpan, sedangkan nilai 100% merupakan keadaan bateri ketika kapasitas energy tersimpan penuh . Berikut ilustrasi nilai dari SoC pada sistem BMS,



Gambar 2. 1 Ilustrasi SoC di BMS ^[4]

b) *SoH (State of Health)*

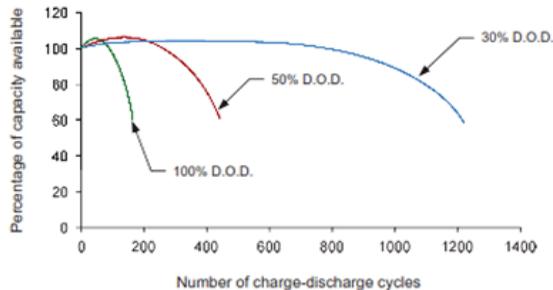
SoH merupakan indikator dari kondisi performa sebuah baterai, dengan menunjukkan kinerja baterai yang dibandingkan dengan kondisi baterai saat masih baru, dengan asumsi kondisi baterai saat masih baru dalam kondisi yang terbaik. SoH dapat diprediksi dengan cara melihat parameter resistensi internal baterai, kapasitas baterai, dll. Sehingga SoH dapat dijadikan sebagai bahan justifikasi apakah baterai itu dalam keadaan baik atau di keadaan buruk.

c) *Life Cycle*

Life Cycle merupakan indikator dari sebuah baterai mengenai usia pakai.

d) *DoD (Depth of Discharge)*

DoD merupakan batas kedalaman pelepasan energy (*discharge*) pada baterai tersebut. Baterai yang tidak digunakan sampai habis akan mencegah pengerusakan dan memperpanjang *life cycle* ari sebuah baterai. DOD ini juga berpengaruh pada jumlah siklus charge-discharge pada umur baterai. Semakin banyak energi dari suatu baterai dikeluarkan maka umur vaterai akan semakin pendek. Berikut hubungan DoD dengan life cycle,



Gambar 2. 2 Grafik Hubungan DoD dengan *Life cycle* ^[4]

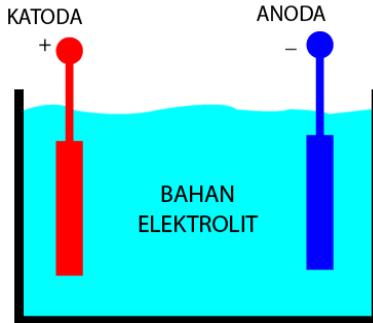
2.2 *Battery Lead Acid*

Baterai adalah perangkat yang mengandung sel listrik yang dapat menyimpan energi yang dapat dikonversi menjadi daya. Baterai atau accumulator adalah sebuah sel listrik dimana di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi ^[4]. *Reversible* dapat diartikan dalam baterai terjadi proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian). Pengisian kembali baterai dengan cara regenerasi dari elektroda – elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel.

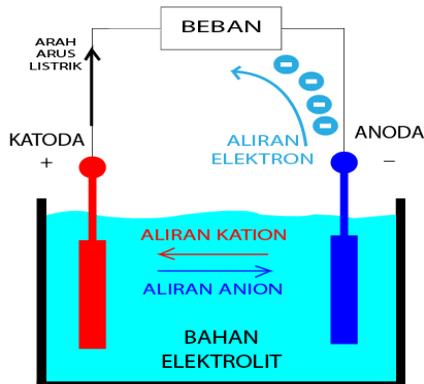
Teknologi baterai berkembang semakin pesat dan hanya ada dua jenis battery yang biasa digunakan pada kapal selam yaitu *battery lead acid*, dan *battery Lithium Ion* ^[11]. Hingga saat ini teknologi battery kapal selam masih didominasi menggunakan *battery lead acid* karena lebih unggul.

Battery lead acid terdiri dari 2 atau lebih sel elektrokimia yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Kutub bertanda negatif adalah sumber elektron yang ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan eksternal. Ketika

baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion didalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja.



Gambar 2. 3 Katoda dan Anoda pada sel baterai ^[4].



Gambar 2. 4 Proses Elektrokimia pada sel baterai ^[4].

Selama proses produksi energi listrik (*Discharge Cycle*) tersebut, jumlah keasaman pada bahan elektrolit akan berkurang dan elektroda positif dan negatif akan menjadi unsur yang sejenis. Ketika elektroda positif dan negatif menjadi unsur yang sejenis,

atau dalam kondisi jenuh, maka tegangan antara elektroda positif dan negatif akan menjadi kosong dikarenakan tidak ada beda potensial sehingga arus listrik juga tidak mengalir. Berikut menurut jurnal ^[5] tentang karakteristik dari baterai Lead Acid :

| Karakteristik | Lead Acid |
|---|------------------|
| Energi Spesifik (Wh/kg) | 30-50 |
| Resistansi Internal (mΩ) | Sangat Rendah |
| Siklus Hidup (80% discharge) | 200-300 |
| Waktu <i>Fast-Charge</i> | 8-16 jam |
| Toleransi <i>Overcharge</i> | Tinggi |
| <i>Self-discharge</i> per bulan | 5% |
| Tegangan Sel (nominal) | 2V |
| Tegangan Cutoff <i>Charge</i> (V/cell) | 2.40 |
| | Float 2.25 |
| Tegangan Cutoff <i>Discharge</i> (V/cell, 1C) | 1.75 |
| Arus <i>Load Peak</i> | 5C |
| <i>best result</i> | 0.2C |
| Suhu <i>Charge</i> | -20 sampai 50 °C |
| Suhu <i>Discharge</i> | -20 sampai 50 °C |
| Perawatan | 3-6 bulan |
| Keamanan | Suhu Stabil |
| Digunakan Sejak | Sekitar 1800-an |

Gambar 2. 5 Karakteristik Battery Lead Acid^[5].

2.2.1 Kapasitas Baterai

Kapasitas suatu baterai adalah kemampuan dari sebuah baterai mengalirkan besarnya arus listrik (Ampere) ke suatu beban dalam jangka waktu tertentu (jam) dan untuk memberikan tegangan tertentu pula. Kapasitas baterai dipengaruhi oleh ukuran tebal plat, jumlah plat tiap sel, jumlah sel dan jumlah maupun kualitas elektrolit dalam baterai ^[13]. Kapasitas Baterai bisa diartikan juga sebagai kemampuan sebuah baterai menyimpan daya listrik atau besarnya energi. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah). Sesuai dengan persamaan rumus matematika sebagai berikut :

$$C = I \times T \quad (2.1)$$

Keterangan :

C : Kapasitas Baterai (Ah)
 I : Besar Arus yang mengalir (A)
 T : Waktu (jam)

Jumlah Ampere jam { $Ah = \text{Kuat Arus (ampere)} \times \text{Waktu (jam)}$ }, artinya baterai dapat memberikan/menyuplai sejumlah isinya secara rata-rata sebelum tiap selnya menyentuh tegangan/voltase turun (drop voltage) yaitu sebesar 1.75V (ingat tiap tegangan memiliki tegangan sebesar 2V. Jika dipakai maka tegangan akan menurun terus sampai kapasitas terpakai semua). Misalkan baterai 12V 75Ah, maka baterai ini bisa memberikan kuat arus sebesar 75 ampere dalam waktu satu jam dan artinya memberikan daya sebesar 900 Watt ($\text{Watt} = V \times I$ sehingga $12 V \times 75 A = 900 \text{ Watt}$).

Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh besar / banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai juga menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (discharging) selama waktu tertentu, dinyatakan dalam Ah (Ampere – hour).

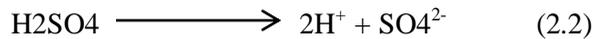
Berarti sebuah baterai dapat memberikan arus yang kecil untuk waktu yang lama atau arus yang besar untuk waktu yang pendek. Pada saat baterai diisi (charging), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (Ampere - hour), muatan inilah yang akan dikeluarkan untuk menyuplai beban.

2.2.2 Discharge (Proses Pengosongan)

Bila baterai dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir ke elektroda positif (PbO_2) melalui beban dari elektroda negatif (Pb), kemudian ion-ion negatif mengalir ke elektroda

positif dan ion-ion positif mengalir ke elektroda negatif. Arus listrik dapat mengalir disebabkan adanya elektron yang bergerak ke dan/atau dari elektroda sel melalui reaksi ion antara molekul elektroda dengan molekul elektrolit sehingga memberikan jalan bagi elektron untuk mengalir.

Proses reaksi kimia yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut ^[14]:



Setiap molekul cairan elektrolit Asam sulfat (H_2SO_4) dalam sel tersebut pecah menjadi dua yaitu ion hydrogen yang bermuatan positif (2H^+) dan ion sulfat yang bermuatan negatif (SO_4^{2-})

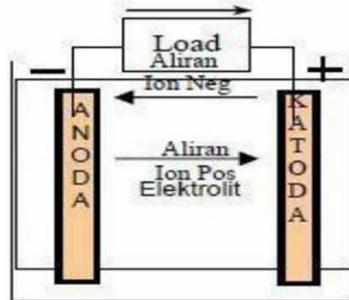
Bila baterai dibebani, maka tiap ion negatif sulfat (SO_4^{2-}) akan bereaksi dengan plat timah murni (Pb) menjadi timah sulfat (PbSO_4) sambil melepaskan dua elektron. Sedangkan sepasang ion hidrogen (2H^+) akan bereaksi dengan plat timah peroksida (PbO_2) menjadi timah sulfat (PbSO_4) sambil mengambil dua elektron dan bersenyawa dengan satu atom oksigen untuk membentuk air (H_2O). Pengambilan dan pemberian elektron dalam proses kimia ini akan menyebabkan timbulnya beda potensial listrik antara kutub-kutub sel baterai. Reaksi ini akan berlangsung terus sampai isi (tenaga baterai) habis alias dalam keadaan discharge. Proses tersebut terjadi secara simultan dengan reaksinya dapat dinyatakan dengan ^[14]:



Keterangan :

- PbO_2 : Timah Peroxida (kutub positif / anoda)
- Pb : Timah murni (kutub negatif / katoda)
- $2\text{H}_2\text{SO}_4$: Asam sulfat (elektrolit)
- PbSO_4 : Timah sulfat
- H_2O : Air setelah proses pengosongan

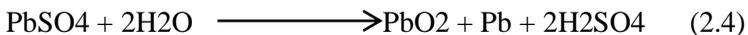
Jadi, pada proses pengosongan baterai akan timah sulfat (PbSO_4) pada kutub negatif dan positif, sehingga mengurangi reaktifitas dari cairan elektrolit karena asamnya menjadi timah, sehingga tegangan baterai antar kutub – kutub nya menjadi lemah. Berikut menurut Aslimeri dkk skema dari proses discharge:



Gambar 2. 6 Baterai pada Kondisi Discharge ^[6]

2.2.3 Charge (Proses Pengisian)

Poses ini adalah kebalikan dari proses pengosongan dimana arus listrik dialirkan yang arahnya berlawanan dengan arus yang terjadi pada saat pengosongan. Pada proses ini setiap molekul air terurai. Ion oksigen yang bebas bersatu dengan tiap atom Pb pada plat positif membentuk timah peroxida (PbO_2). Sedangkan tiap pasang ion hidrogen (2H^+) yang dekat plat negatif bersatu dengan ion negatif Sulfat (SO_4^-) pada plat negatif untuk membentuk asam sulfat. Berikut proses reaksi kimia pada saat Charge atau proses pengisian pada baterai ^[14]:



Keterangan :

PbO_2 : Timah Peroxida (kutub positif / anoda)

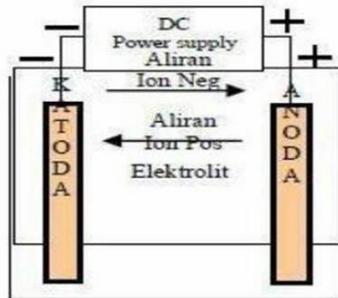
Pb : Timah murni (kutub negatif / katoda)

$2\text{H}_2\text{SO}_4$: Asam sulfat (elektrolit)

PbSO_4 : Timah sulfat

H_2O : Air setelah proses pengosongan

Berikut menurut Aslimeri dkk skema dari proses discharge :



Gambar 2. 7 Baterai pada kondisi Charge ^[6]

Pengisian baterai dibagi menjadi 3 tahapan ^[12]:

a) *Partial Charge*

Partial Charge merupakan tipe pengisian baterai yang paling umum dilakukan di dalam laut. Pada tipe ini dilakukan untuk mengisi baterai kembali pada tingkat SOC paling tinggi pada periode waktu yang telah dibatasi atau sudah diatur sebelumnya.

b) *Intermediate Charge*

Intermediate Charge merupakan tipe pengisian baterai yang terbatas, hanya terdiri dari stage pertama sampai stage kedua. Sedangkan untuk stage ketiga pada tipe ini belum bisa dilakukan.

c) *Full Charge*

Full Charge merupakan proses dari pengisian baterai dengan cara mengisi seluruh sel dalam baterai dengan kapasitas yang maksimum yang dimiliki baterai. Hal ini sangat penting untuk dilakukan pemeliharaan pengisian.

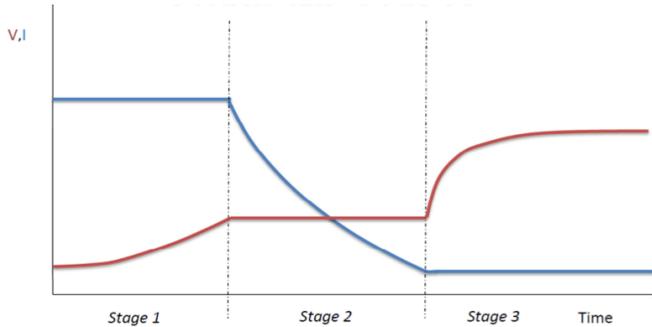
d) *Equalizing Charge*

Equalizing Charge merupakan salah satu tipe pengisian baterai dengan yang bersifat tambahan, karena pada pengisian tipe bertujuan untuk memastikan semua sel baterai dalam keadaan terisi penuh.

e) *Refresh Charge*

Refresh Charge merupakan tipe pengisian baterai yang digunakan pada saat untuk mempertahankan baterai pada kondisi

SOC (*State of Health*) yang penuh. *Refresh Charge* digunakan pada saat periode baterai tersebut sedang tidak beroperasi atau digunakan.



Gambar 2. 8 Tahapan Pengisian Baterai ^[4]

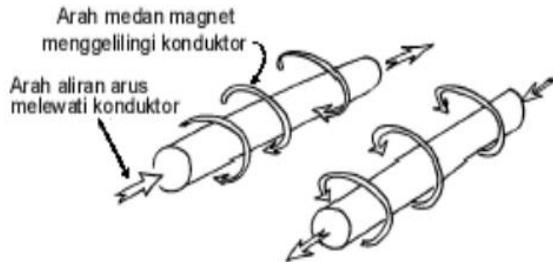
2.3 Motor DC

Sebuah motor listrik adalah suatu perangkat elektromagnetis yang mengubah dari energi listrik ke energi mekanik. Motor listrik dc atau arus searah merupakan salah satu dari motor dc. Motor listrik dc (arus searah) dapat berfungsi sebagai generator dc atau motor dc. Kedua jenis tersebut dibedakan berdasarkan fungsi yang akan dimanfaatkan. Generator dc merupakan alat atau perangkat yang dapat merubah energi mekanik menjadi energi listrik dc. Sedangkan motor dc merupakan alat atau perangkat yang dapat merubah energi listrik dc menjadi energi mekanik putaran. Untuk tugas akhir ini menggunakan motor dc yang berfungsi sebagai alat yang dapat merubah energi listrik (bersumber dari baterai *lead acid*) ke bentuk energi mekanik. Energi mekanik tersebut berguna untuk menggerakkan motor pada kapal selam yang berfungsi sebagai alat sistematika pendorong atau penggerak dari kapal selam.

2.3.1 Cara Kerja Motor DC

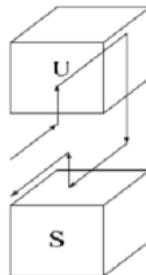
Prinsip kerja motor DC didasarkan pada prinsip bahwa jika sebuah konduktor yang dialiri arus listrik diletakkan dalam medan magnet, maka tercipta gaya pada konduktor tersebut yang

cenderung membuat konduktor berotasi. arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor.



Gambar 2. 9 Medan magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor ^[7]

Pada daerah kumparan medan di motor dc yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Proses konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi, medan magnet juga berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi, daerah tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. 10 Prinsip kerja motor dc ^[7]

Agar proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar daripada tegangan gerak yang disebabkan reaksi. Dengan

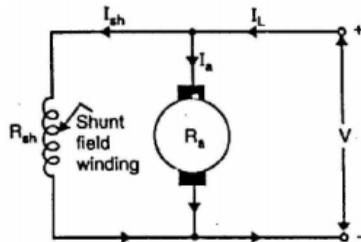
memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor.

2.3.2 Macam-macam Motor DC

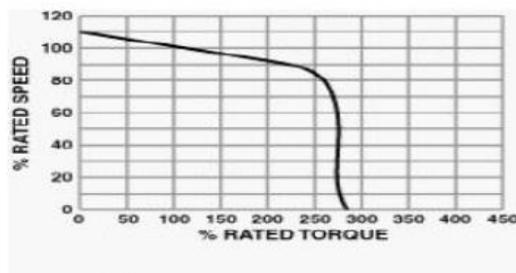
Berikut 3 macam-macam dari motor dc yaitu motor dc shunt, motor dc series, motor dc kompon.

a) Motor dc shunt

Motor dc shunt terbentuk dari gulungan medan (medan shunt) disambungkan secara paralel dengan gulungan kumparan motor dc. Sehingga total arus adalah penjumlahan arus medan dan arus kumparan motor dc. Kecepatan pada prakteknya konstan tidak tergantung pada beban (hingga *torque* tertentu setelah kecepatannya berkurang, oleh karena itu cocok untuk penggunaan komersial dengan beban awal yang rendah, seperti peralatan mesin.



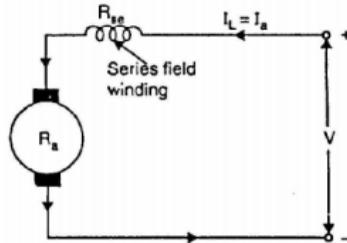
Gambar 2. 11 Rangkaian motor dc shunt ^[8]



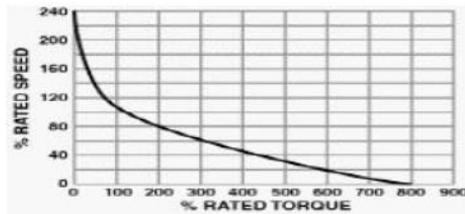
Gambar 2. 12 Karakteristik motor dc shunt ^[8]

b) Motor dc series

Motor DC seri terbentuk dari gulungan medan (medan shunt) disambungkan secara seri dengan gulungan kumparan motor DC. Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus kumparan motor DC. Motor-motor seri cocok untuk penggunaan yang memerlukan *torque* penyalan awal yang tinggi.



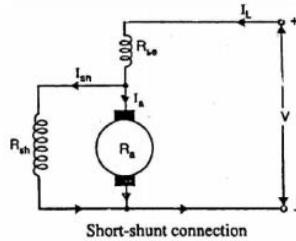
Gambar 2. 13 Rangkaian motor dc series ^[8]



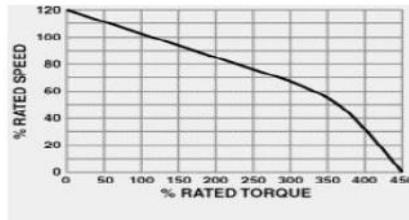
Gambar 2. 14 Karakteristik motor dc series ^[8]

c) Motor dc kompon

Motor dc kompon adalah gabungan dari motor dc seri dan motor dc shunt. Motor dc kompon terbentuk dari gulungan medan (medan shunt) disambungkan secara paralel dan seri dengan gulungan kumparan motor dc. Sehingga, motor kompon memiliki *torque* penyalan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula *torque* penyalan awal yang dapat ditangani oleh motor ini.



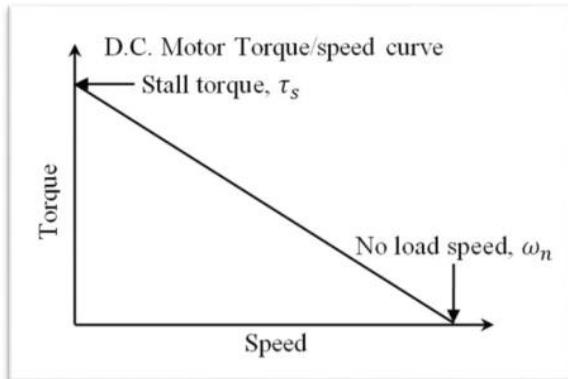
Gambar 2. 15 Rangkaian motor dc kompon ^[8]



Gambar 2. 16 Karakteristik motor dc kompon ^[8]

2.3.3 Karakteristik Motor DC

Karakter dari dc motor dapat dijelaskan melalui gambar kurva daya dan kurva torsi atau kecepatannya, sehingga dari kurva tersebut dapat dilakukan analisa batasan-batasan kerja dari sebuah motor dc serta daerah kerja optimum dari motor dc. Berikut kurva tersebut,



Gambar 2. 17 Kurva torsi dan kecepatan ^[7]

Dari gambar diatas dapat dilihat hubungan antara torsi dan kecepatan pada suatu motor dc. Dapat disimpulkan bahwa torsi berbanding terbalik dengan kecepatan putaran. Dengan kata lain terdapat tradeoff antara torsi yang dihasilkan motor dengan kecepatan putaran motor. Dua karakteristik penting terlihat dari grafik yaitu:

1. *Stall torque*, menunjukan titik pada grafik dimana dimana adalah torsi maksimum tetapi tidak ada perputaran putaran pada motor.
2. *No load speed*, menunjukan titik pada grafik dimana terjadi kecepatan perputaran putaran maksimum tetapi tidak ada beban pada motor.

Analisa terhadap grafik dilakukan dengan menghubungkan kedua titik tersebut dengan sebuah garis, dimana persamaan garis tersebut dapat di tulis di dalam fungsi torsi atau kecepatan sudut,

$$\tau_{motor} = \frac{1}{2} \tau_s \quad (2.5)$$

$$\omega_{motor} = \frac{1}{2} \omega_n \quad (2.6)$$

$$\tau_{motor} = \tau_s - \frac{\omega \tau_s}{\omega_n} \quad (2.7)$$

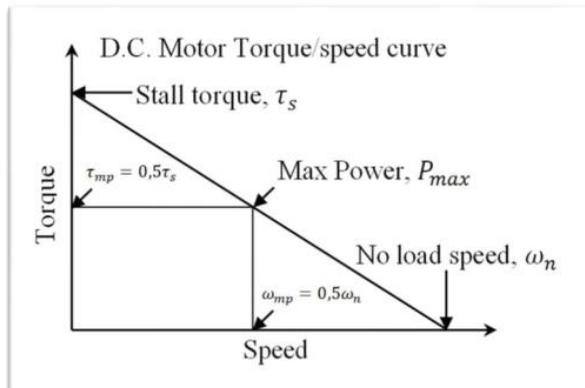
$$\omega_{motor} = (\tau_s - \tau) \cdot \frac{\omega_n}{\tau_s} \quad (2.8)$$

Dengan memasukkan persamaan torsi dan kecepatan kedalam persamaan daya diperoleh,

$$p_{motor} = -\frac{\tau_s}{\omega_n} \omega^2 + \tau_s \omega \quad (2.9)$$

$$p_{motor} = -\frac{\omega_n}{\tau_s} \tau^2 + \omega_n \tau \quad (2.10)$$

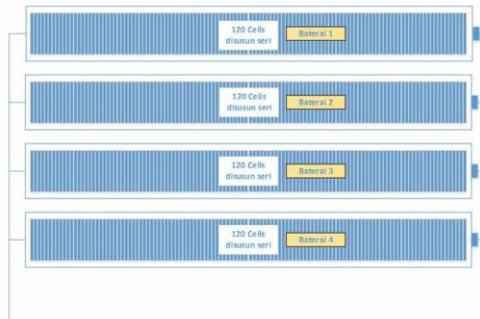
Dari persamaan daya terlihat bahwa daya merupakan perkalian antara torsi dan kecepatan sudut. Dimana di dalam grafik ditunjukkan oleh luas daerah persegi di bawah kurva torsi dan kecepatan,



Gambar 2. 18 Grafik torsi dan kecepatan dengan luas daerah persegi^[7]

2.4 Kapal Selam

Kapal Selam U-209/1300 merupakan objek yang digunakan selama melakukan penelitian. Kapal ini memiliki berat selam 1,395 ton. Dengan dimensi 59,5 meter x 6,3 meter x 5,5 meter. Tenaga digerakan oleh motor listrik Siemens jenis low-speed disalurkan langsung (tanpa gear pengurang putaran) melalui sebuah shaft ke baling-baling kapal. Total daya yang dikirim adalah 5000 shp (shaft horse power), tenaga motor listrik datang dari baterai-baterai besar yang beratnya sekitar 25% dari berat kapal, baterai dibuat oleh Varta (low power) dan Hagen (Hi-power). Kapal ini sanggup mendorong kapal hingga kecepatan 21,5 knot. Di kapal selam terdapat istilah jenis pendorongan yaitu merupakan cara mendapatkan besar – kecilnya tingkat berputarnya motor pendorong pokok pada kapal selam dan juga menentukan tingkat kecepatan kapal selam. Hal ini tergantung dari pengaturan atau penggunaan : arus listrik, hubungan kedua jangkar motor pendorong pokok (seri / parallel), tanpa / menggunakan exiting converter, & hubungan keempat grup baterai (seri / parallel). Kapal selam tipe u-2019/1300 menggunakan 4 buah baterai masih-masing @120 cell. Berikut Skemanya :



Gambar 2. 19 Baterai Kapal Selam u-209/1300 ^[9]

Berdasarkan kondisi existing pada kapal selam ini terdapat 5 macam jenis pendorngan. Berikut penjelasan tiap jenis pendorongan ^[9]:

1. Jenis Pendorongan 1
 - a. Dengan Converter (untuk maju)
 - motor pendorong pokok digerakkan oleh converter
 - kedua jangkar terhubung seri
 - balingan motor antara 18 – 32 rpm
 - b. Tanpa Converter (untuk mundur)
 - Kedua jangkar motor pendorong terhubung seri
 - Baterai terhubung seri
 - balingan motor antara 16-19 rpm
2. Jenis Pendorongan 2
 - a. Dengan converter (untuk maju dan mundur)
 - Kedua jangkar motor pendorong terhubung seri
 - Baterai terhubung paralel
 - balingan motor antara 29-79 rpm
3. Jenis Pendorongan 3
 - a. Dengan converter & tanpa converter (untuk maju)
 - Kedua jangkar motor pendorong terhubung paralel
 - Baterai terhubung paralel
 - balingan motor antara 55-117 rpm
 - b. Dengan converter & tanpa converter (untuk mundur)
 - Kedua jangkar motor pendorong terhubung seri
 - Baterai terhubung paralel
 - balingan motor antara 55-117 rpm
4. Jenis Pendorongan 4
 - a. Dengan converter & tanpa converter (untuk maju)
 - Kedua jangkar motor pendorong terhubung seri
 - Baterai terhubung seri
 - balingan motor antara 102-175 rpm
5. Jenis pendorongan 5
 - a. Dengan & tanpa converter (untuk maju)
 - Kedua jangkar motor pendorong terhubung paralel
 - Baterai terhubung seri
 - balingan motor antara 175-200 rpm

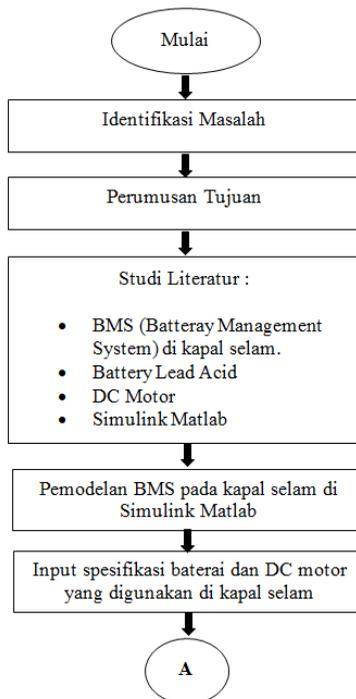
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

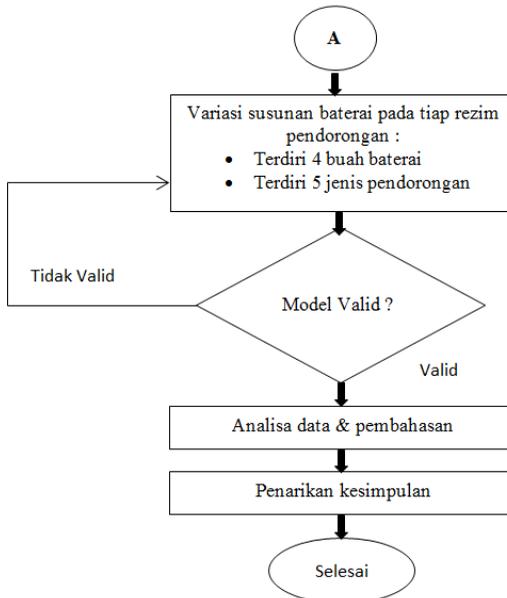
3.1 Metode Penelitian

Metodologi merupakan kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir. Metodologi penulisan tugas akhir ini mencakup semua kegiatan yang dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisis terhadap permasalahan tugas akhir.

3.2 Kerangka Alur penelitian

Kerangka atau alur berpikir penelitian digunakan untuk mempermudah proses penelitian. Adapun kerangka berpikir penelitian ini dijelaskan pada *flowchart* penelitian dibawah ini,





Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

3.3 Penjelasan Flowchart penelitian

Proses dalam penyelesaian penelitian ini melalui beberapa tahap tahap sebagai berikut,

3.3.1 Tahap Identifikasi

Pada tahapan awal identifikasi dilakukan pengamatan terhadap masalah yang dirumuskan menjadi tujuan dari penelitian yaitu menyediakan informasi pengaruh variasi baterai dengan metode BMS (*Battery Management System*) terhadap jenis-jenis pendorongan pada kapal selam. Studi literature mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan BMS (*Battery Management System*), *battery lead acid*, *dc Motor*, dan program simulasi simulink pada matlab. Studi literature ini diperoleh dari berbagai sumber teks book, dan penulis juga memasukan beberapa sumber lain seperti jurnal ilmiah dan beberapa penelitian terdahulu yang dapat menunjang proses pengerjaan tugas akhir ini. Kemudian dilakukan pengumpulan data tentang spesifikasi dari baterai lead acid dan dc motor pada kapal selam

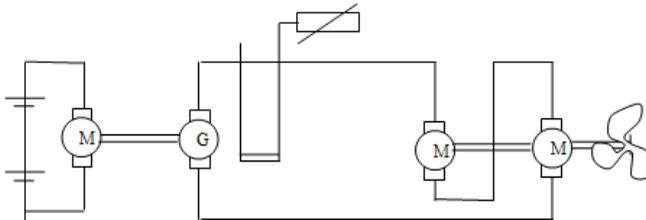
yang digunakan sebagai referensi dalam pengerjaan tugas akhir ini.

3.3.2 Tahap Simulasi dan Input Data

Media simulasi yang digunakan adalah simulink pada Matlab. Sehingga diharapkan pada tugas akhir ini mampu menyusun atau merancang BMS (Battery Management System) pada kapal selam dengan benar dan akurat. Setelah simulasi dimasukan spesifikasi dari baterai lead acid dan dc motor pada kapal selam.

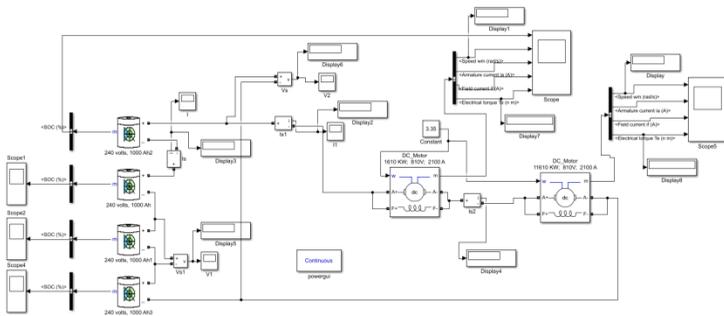
Perencanaan pemodelan jenis pendorongan menggunakan simulink matlab dengan referensi spesifikasi data pada baterai *lead acid* dan *dc motor* yang digunakan pada kapal selam. Berikut 5 jenis pendorongan pada kapal selam,

a. Jenis pendorong I



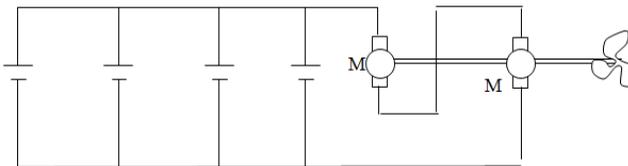
Gambar 3. 2 Skema pendorongan I ^[9]

Pada jenis pendorong I ini keempat baterai jenis *lead acid* tersusun secara seri dan kedua motor pendorong yaitu dc motor terpasang seri. Berikut hasil pemodelan dengan menggunakan simulink matlab dilihat pada gambar 3.3.



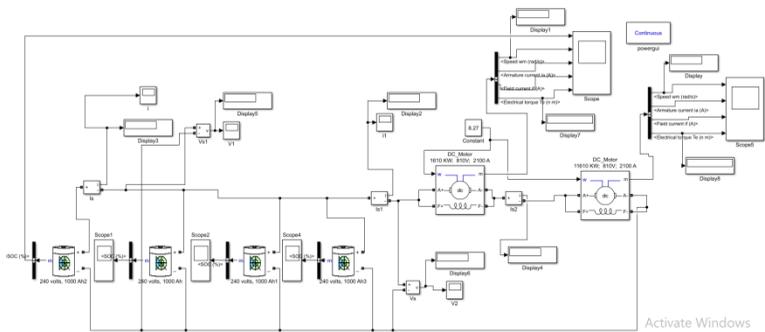
Gambar 3. 3 Hasil pemodelan pendoronga I di Matlab

b. Jenis pendorong II



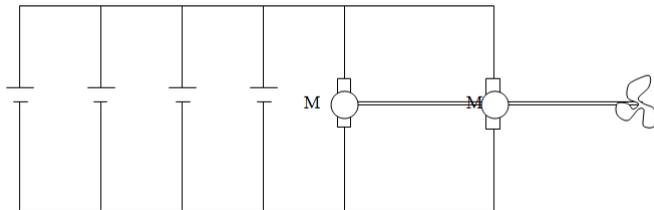
Gambar 3. 4 Skema pendorongan II ^[9]

Pada jenis pendorong II ini keempat baterai jenis *lead acid* tersusun secara paralel dan kedua motor pendorong yaitu dc dan motor terpasang seri. Berikut hasil pemodelan dengan menggunakan simulink matlab dilihat pada gambar 3.5.



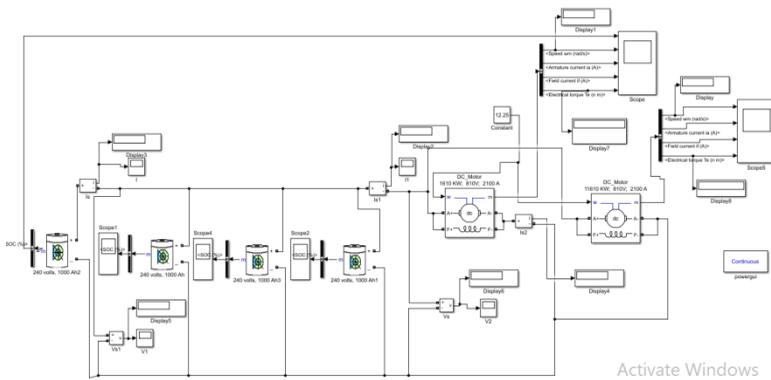
Gambar 3. 5 Hasil pemodelan pendorongan II di Matlab

c. Jenis pendorong III



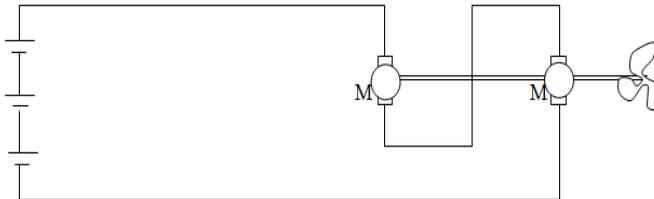
Gambar 3. 6 Skema pendorongan III ^[9]

Pada jenis pendorong III ini keempat baterai jenis *lead acid* tersusun secara paralel dan kedua motor pendorong yaitu dc motor terpasang paralel. Berikut hasil pemodelan dengan menggunakan simulink matlab dilihat pada gambar 3.7.



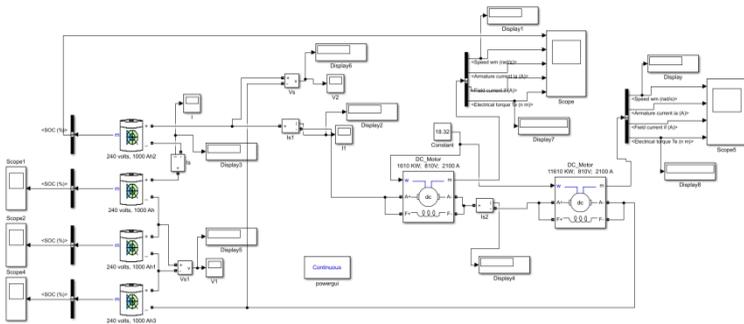
Gambar 3. 7 Hasil pemodelan pendorong III di Matlab

d. Jenis pendorong IV



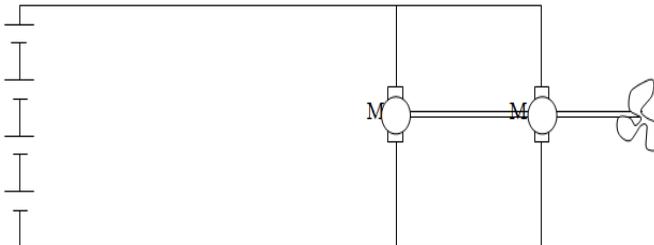
Gambar 3. 8 Skema pendorong IV ^[9]

Pada jenis pendorong IV ini keempat baterai jenis *lead acid* tersusun secara seri dan kedua motor pendorong yaitu dc motor terpasang seri. Berikut hasil pemodelan dengan menggunakan simulink matb dilihat pada gambar 3.9.



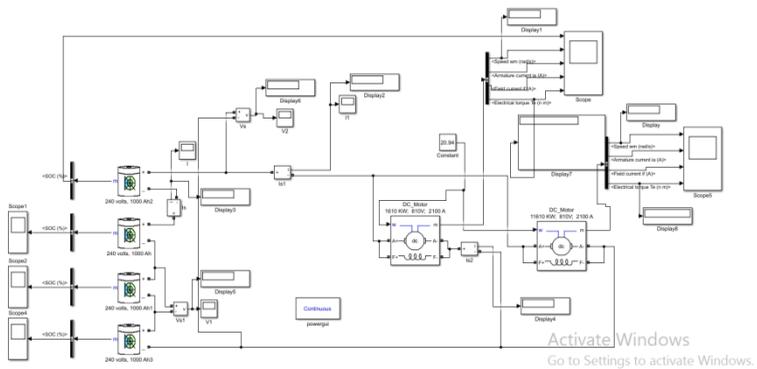
Gambar 3. 9 Hasil pemodelan pendorongan IV di Matlab

e. Jenis pendorong V



Gambar 3. 10 Skema pendorongan V ^[9]

Pada jenis rezim pendorong V ini keempat baterai jenis *lead acid* tersusun secara seri dan kedua motor pendorong yaitu dc motor terpasang paralel. Berikut hasil pemodelan dengan menggunakan simulink matlab dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3. 11 Hasil pemodelan pendorongan V di Matlab

Setelah memodelkan pada Matlab, kemudian dilakukan penginputan data spesifikasi. Baterai dan motor penggerak merupakan bagian terpenting pada kapal selam untuk berpindah tempat. Baterai sebagai sumber energi yang digunakan dan motor pendorong sebagai alat yang merubah energi listrik ke energi gerak. Baterai yang digunakan adalah jenis *lead acid* dan motor pendorong yang digunakan bertipe DC Motor. Berikut spesifikasi baterai dan motor pendorong ^[9].

Spesifikasi baterai lead acid dan motor pendorong,

1. Baterai *Lead Acid*

Buatan : Pabrik W. Hagen Jerman Barat
 Type : 45.PS.13E
 Jumlah : Terdiri 4 buah @ 120 cell
 Kapasitas : 4000Ah
 Vout : 240volt

2. Motor Pendorong

Buatan : Pabrik Siemens Jerman Barat
 Type : VG.489/50-12
 Kapasitas : 2 x 1850 Kw

Berikut data RPM dari masing-masing jenis pendorongan yang ada pada kapal selam. Data RPM tersebut digunakan sebagai variabel tetap pada penelitian ini ^[9],

Tabel 3. 1 RPM pada masing-masing jenis pendorongan

| Jenis - jenis Pendorong pada kapal selam | RPM (RPM = Rotate Per Minute) |
|--|----------------------------------|
| Jenis Pendorong I | 18 – 32 rpm |
| Jenis Pendorong II | 29 – 79 rpm |
| Jenis Pendorong III | 55 – 117 rpm |
| Jenis Pendorong IV | 102 – 175 rpm |
| Jenis Pendorong V | 175 – 200 rpm |

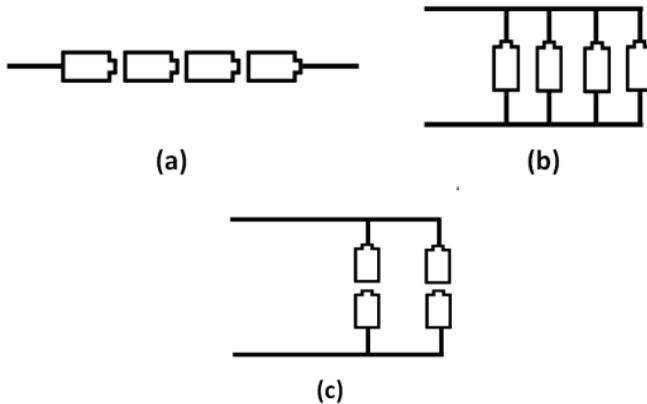
Selanjutnya adalah input arus yang dikeluarkan oleh baterai untuk menggerakkan motor pendorong pada kapal selam,

Tabel 3. 2 Arus masing-masing jenis pendorongan

| Jenis - jenis Pendorong pada kapal selam | Arus yang dikeluarkan baterai pada motor pendorong (A = Ampere) |
|--|--|
| Jenis Pendorong I | 40 – 54 A |
| Jenis Pendorong II | 100 – 860 A |
| Jenis Pendorong III | 220 – 1660/2400 A |
| Jenis Pendorong IV | 630 – 2800 A |
| Jenis Pendorong V | 1840 – 2300 A |

3.3.3 Tahap Variasi

Pada tahap variasi ini dilakukan terhadap susunan baterai. Baterai berjumlah 4 buah. Tujuan melakukan variasi susunan baterai adalah untuk mengetahui pengaruh variasi baterai terhadap performansi masing-masing jenis pendorong yang ada pada kapal selam. Berikut beberapa variasi dari penyusunan baterai pada tugas akhir ini.



Gambar 3. 12 (a) disusun seri, (b) disusun paralel (c) disusun seri-paralel

3.3.4 Tahap Validasi

Pada tahap validasi ini diperlukan supaya simulasi yang dihasilkan bisa diandalkan. Validasi pada penelitian tugas akhir ini menggunakan nilai waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai SOC (State of Charge) dari kondisi 100% menuju 20% dari sebuah baterai.

3.3.5 Tahap Analisa Data dan Pembahasan

Pada tahap ini data yang sudah didapat dari hasil simulasi kemudian dilakukan dianalisa berdasarkan teori yang ada. Analisa data yang dilakukan yaitu untuk mengetahui performa dari variasi penyusunan baterai terhadap masing-masing jenis rezim pendorongan pada kapal selam.

3.3.6 Tahap Penarikan Kesimpulan

Data yang sudah dianalisa dan dilakukan pembahasan kemudian akan diambil beberapa kesimpulan berdasarkan data yang telah didapat untuk menjawab permasalahan yang sudah ditentukan di awal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

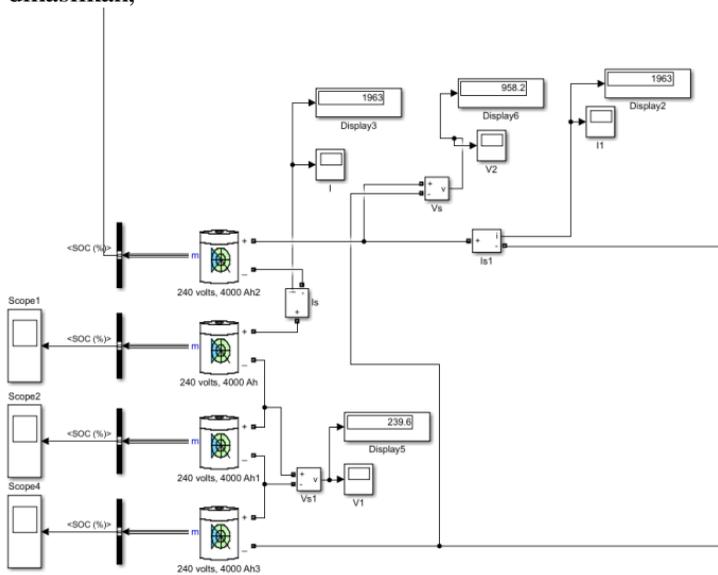
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penjelasan Hasil Pemodelan Simulasi pada Matlab

Pada penelitian tugas akhir saya ini mempunyai tujuan yaitu melakukan permodelan tiap jenis pendorongan pada kapal selam pada simulink matlab. Berikut penjelasan pemodelan pada matlab dari tiap jenis pendorongan kondisi existing pada kapal selam,

4.1.1 Pemodelan Jenis Pendorongan I

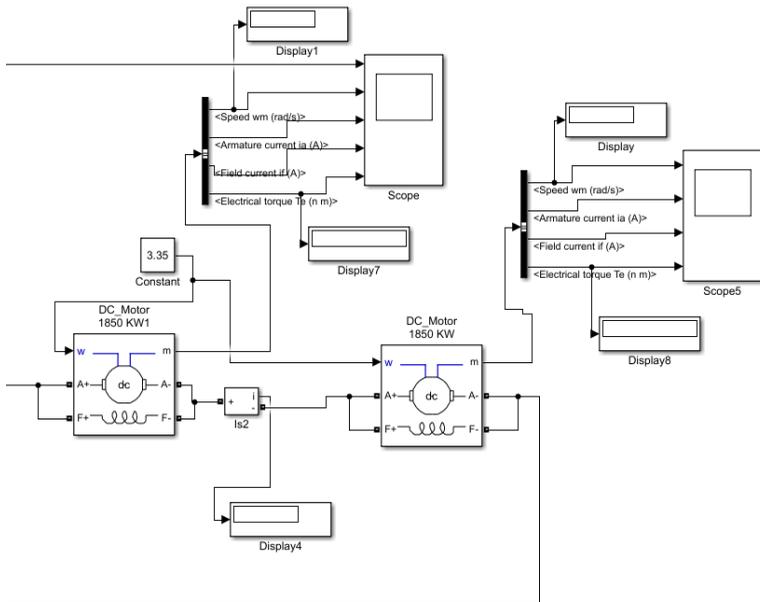
Pada jenis pendorong I pemasangan 4 baterai disusun secara seri dengan spesifikasi tiap baterai adalah 240 volt, 4000Ah. Baterai tersebut akan diberi beban sesuai dengan kondisi jenis pendorongan I. Berikut hasil pemodelan susunan baterai yang dihasilkan,



Gambar 4. 1 Pemasangan baterai jenis pendorong I

Akibat 4 baterai disusun secara seri maka voltase yang dihasilkan menjadi 958,2 volt dari yang semula spesifikasinya sebesar 240 volt tiap baterai dan arus tidak terjadi perubahan nilai

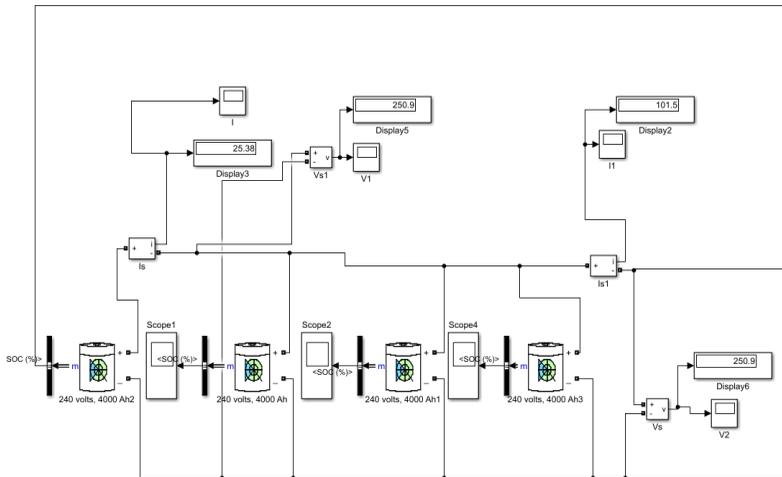
yaitu 54 ampere (nilai dari beban yang harus dipenuhi dari jenis pendorong I). Kemudian 4 baterai yang disusun seri tersebut digunakan sebagai sumber energi untuk menggerakkan 2 motor pendorong dipasang secara seri yang masing-masing mempunyai daya kapasitas 1850 kw. Pada jenis pendorong I ini motor diharuskan mempunyai nilai 32 rpm atau setara 3.35 rad/s. Sehingga dengan demikian dapat diketahui nilai lama penggunaan dari baterai tersebut. Berikut pemodelannya,



Gambar 4. 2 Pemasangan motor jenis pendorong I

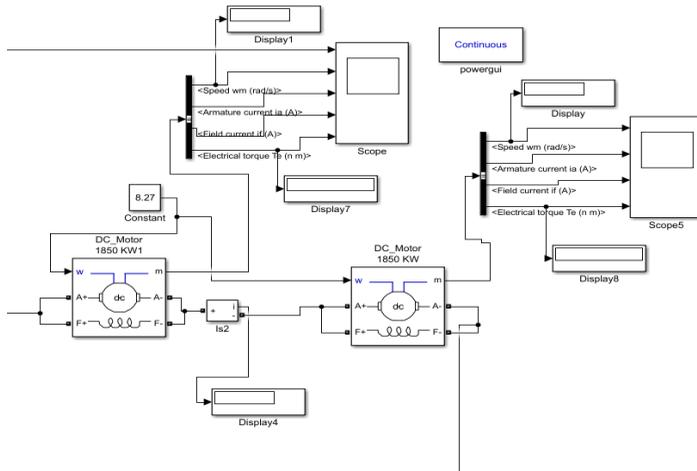
4.1.2 Pemodelan Jenis Pendorongan II

Pada jenis pendorong IV pemasangan 4 baterai disusun secara seri dengan spesifikasi tiap baterai adalah 240 volt, 4000Ah. Baterai tersebut akan diberi beban sesuai dengan kondisi jenis pendorongan II. Berikut hasil pemodelan susunan baterai yang dihasilkan,



Gambar 4. 3 Pemasangan baterai pendorong II

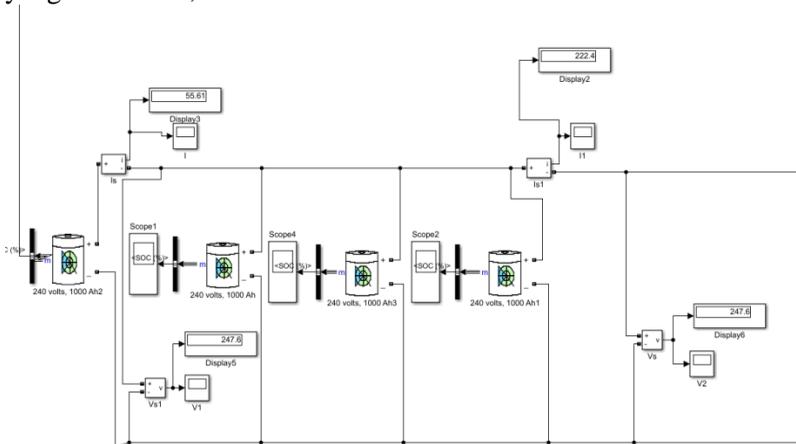
Akibat 4 baterai disusun secara paralel maka terjadi penjumlahan arus dari keempat baterai. Arus total yang diperlukan pada jenis pendorong III adalah 100 ampere sehingga tiap baterai hanya mengeluarkan arus sebesar 25.38 ampere. Sedangkan nilai voltase total tetap sesuai spesifikasi dari baterai yaitu 240 volt. Kemudian 4 baterai yang disusun paralel tersebut digunakan sebagai sumber energi untuk menggerakkan 2 motor pendorong dipasang secara paralel yang masing-masing mempunyai daya kapasitas 1850 kw. Pada jenis pendorong III ini motor diharuskan mempunyai nilai 79 rpm atau setara 8.27 rad/s. Sehingga dengan demikian dapat diketahui nilai lama penggunaan dari baterai tersebut. Berikut pemodelannya,



Gambar 4. 4 Pemasangan motor jenis pendorong II

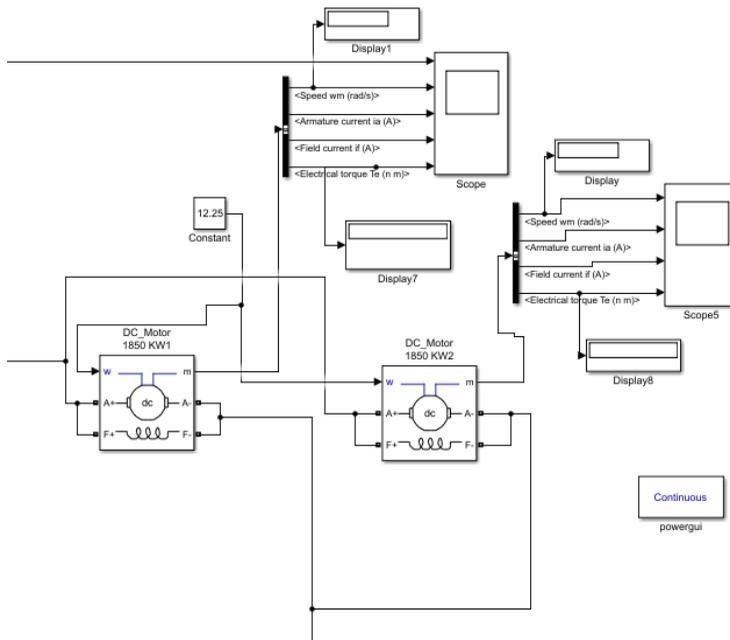
4.1.3 Pemodelan Jenis Pendorongan III

Pada jenis pendorong III pemasangan 4 baterai disusun secara paralel dengan spesifikasi tiap baterai adalah 240 volt, 4000Ah. Baterai tersebut akan diberi beban sesuai dengan kondisi jenis pendorongan IV. Berikut hasil pemodelan susunan baterai yang dihasilkan,



Gambar 4. 5 Pemasangan baterai jenis pendorong III

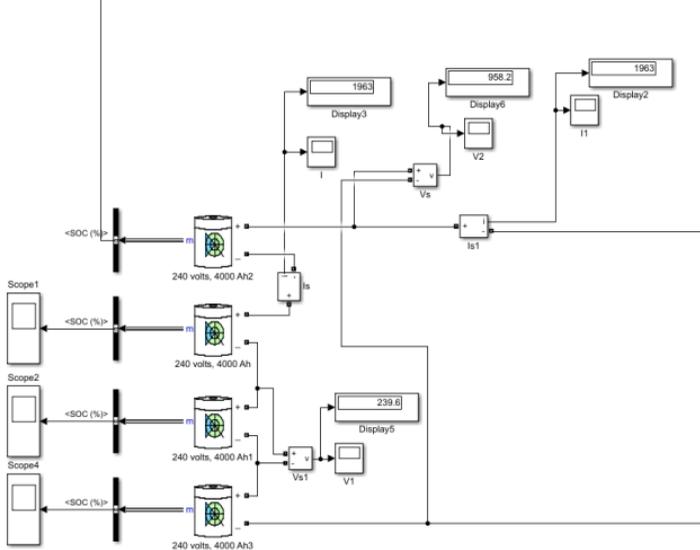
Akibat 4 baterai disusun secara paralel maka terjadi penjumlahan arus dari keempat baterai. Arus total yang diperlukan pada jenis pendorong III adalah 220 ampere sehingga tiap baterai hanya mengeluarkan arus sebesar 55.5 ampre. Sedangkan nilai voltase total tetap sesuai spesifikasi dari baterai yaitu 240 volt. Kemudian 4 baterai yang disusun paralel tersebut digunakan sebagai sumber energi untuk menggerakkan 2 motor pendorong dipasang secara paralel yang masing-masing mempunyai daya kapasitas 1850 kw. Pada jenis pendorong III ini motor diharuskan mempunyai nilai 117 rpm atau setara 12,25 rad/s. Sehingga dengan demikian dapat diketahui nilai lama penggunaan dari baterai tersebut. Berikut pemodelannya,



Gambar 4. 6 Pemasangan motor jenis pendorong III

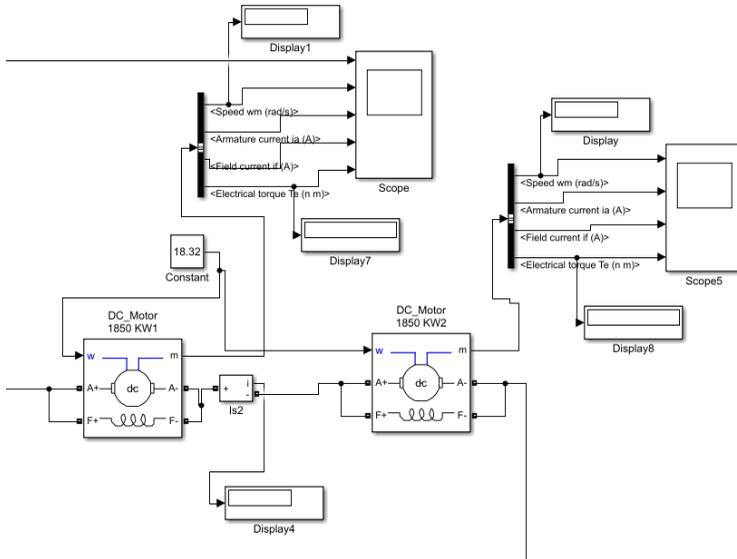
4.1.4 Pemodelan Jenis Pendorong IV

Pada jenis pendorong IV pemasangan 4 baterai disusun secara seri dengan spesifikasi tiap baterai adalah 240 volt, 4000Ah. Baterai tersebut akan diberi beban sesuai dengan kondisi jenis pendorong IV. Berikut hasil pemodelan susunan baterai yang dihasilkan,



Gambar 4. 7 Pemasangan baterai jenis pendorong IV

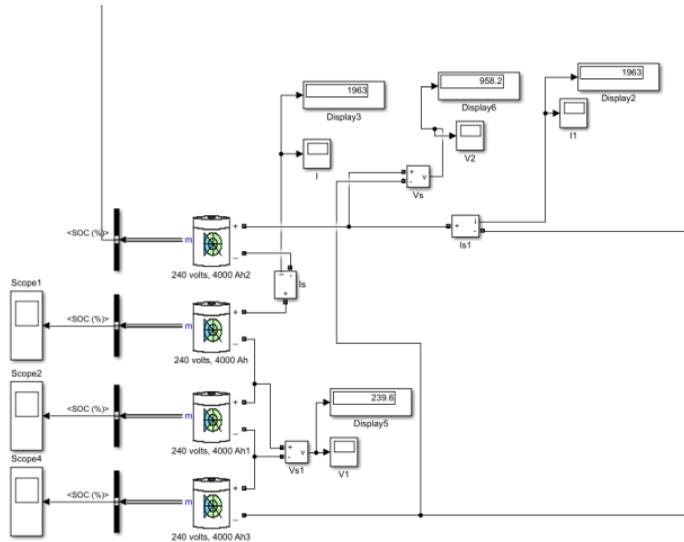
Akibat 4 baterai disusun secara seri maka voltase yang dihasilkan menjadi 958,2 volt dari yang semula spesifikasinya sebesar 240 volt tiap baterai dan arus tidak terjadi perubahan nilai yaitu 630 ampere (nilai dari beban yang harus dipenuhi dari jenis pendorong IV). Kemudian 4 baterai yang disusun seri tersebut digunakan sebagai sumber energi untuk menggerakkan 2 motor pendorong dipasang secara seri yang masing-masing mempunyai daya kapasitas 1850 kw. Pada jenis pendorong IV ini motor diharuskan mempunyai nilai 175 rpm atau setara 18.32 rad/s. Sehingga dengan demikian dapat diketahui nilai lama penggunaan dari baterai tersebut. Berikut pemodelannya,



Gambar 4. 8 Pemasangan motor jenis pendorong IV

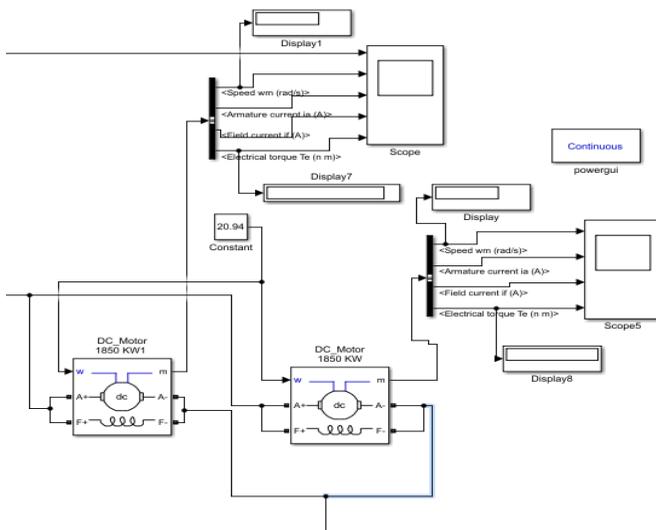
4.1.5 Pemodelan Jenis Pendorongan V

Pada jenis pendorong V pemasangan 4 baterai disusun secara seri dengan spesifikasi tiap baterai adalah 240 volt, 4000Ah. Baterai tersebut akan diberi beban sesuai dengan kondisi jenis pendorongan V. Berikut hasil pemodelan susunan baterai yang dihasilkan,



Gambar 4. 9 Pemasangan baterai jenis pendorong V

Akibat 4 baterai disusun secara seri maka voltase yang dihasilkan menjadi 958,2 volt dari yang semula spesifikasinya sebesar 240 volt tiap baterai dan arus tidak terjadi perubahan nilai yaitu 1840 ampere (nilai dari beban yang harus dipenuhi dari jenis pendorong V). Kemudian 4 baterai yang disusun seri tersebut digunakan sebagai sumber energi untuk menggerakkan 2 motor pendorong dipasang secara paralel yang masing-masing mempunyai daya kapasitas 1850 kw. Pada jenis pendorong v ini motor diharuskan mempunyai nilai 200 rpm atau setara 20.94 rad/s. Sehingga dengan demikian dapat diketahui nilai lama penggunaan dari baterai tersebut. Berikut pemodelannya,



Gambar 4. 10 Pemasangan motor jenis pendorong V

4.2 Validasi Hasil Simulasi

Validasi merupakan proses penting dari sebuah penelitian yang berbasis simulasi. Dengan melakukan validasi maka dapat diketahui kesesuaian uji coba dengan kondisi acuan yang dituju. Penelitian ini membahas tentang performa dari baterai terhadap tiap-tiap jenis rezim pendorongan. Performa baterai dihitung dari lamanya waktu untuk mencapai kondisi SoC (State of charge) mulai keadaan penuh 100% sampai keadaan 20%. Berikut data validasi yang telah dilakukan,

Tabel 4. 1 Hasil Validasi Simulasi

| Jenis Pendorongan | Data By Design | Data Hasil Simulasi | Error % |
|------------------------|----------------|---------------------|---------|
| 1 (Keadaan Silent Run) | 110 Jam | 86.45 | 21% |

Pada validasi hasil simulasi itu didapatkan error sebesar 21%, dan berdasarkan hasil wawancara dengan awak kapal pada keadaan existing pada kondisi silent run hanya berlangsung

maksimal selama 80 jam beroperasi dan harus segera melakukan charging sehingga nilai error tersebut masih ditoleransi. Karena yang dijadikan data pembanding hasil simulasi adalah data by design bukan data by report. Validasi yang dilakukan cukup pada jenis rezim pendorongan 1 karena dapat mewakili pada jenis rezim pendorong lain.

4.3 Analisa Data Tiap Jenis Pendorong pada kondisi existing

Analisa data diperlukan sebagai bahan untuk menganalisis penelitian yang telah dilakukan. Berikut data hasil simulasi yang didapatkan dari Matlab mengenai kinerja baterai terhadap masing-masing jenis pendorongan pada kondisi existing yang akan dibahas sebagai berikut,

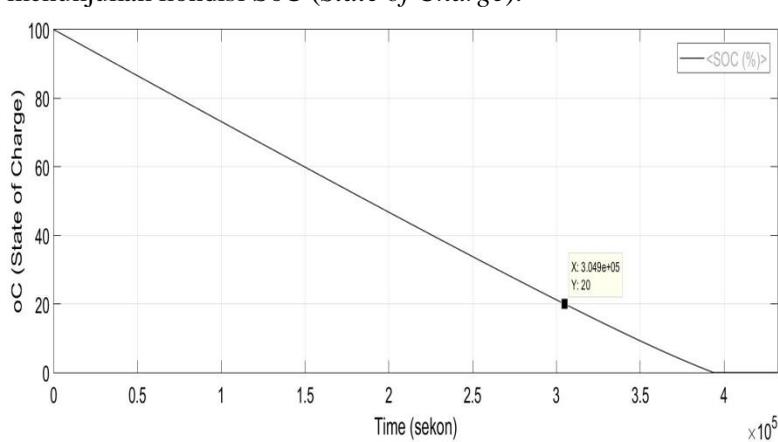
4.3.1 Analisa Pendorong Jenis I

Pada tipe I ini susunan baterai menggunakan susunan baterai secara seri dan susunan motor pendorong secara seri. Arus yang dikeluarkan oleh baterai sebesar 40 – 54 Ampere ke motor pendorong digunakan sebagai sumber energi untuk merubah energi listrik menuju energi gerak yang akan digunakan pada sistem pendorongan. Pada pendorongan jenis I ini kecepatan dari sebuah kapal selam yang diinginkan sebesar 18-32 RPM sehingga bisa didapatkan nilai dari SoC (*State of Charge*). SoC adalah parameter baterai mengenai kondisi baterai selama proses discharging atau penggunaan. Pada penelitian ini ditetapkan proses perhitungan dimulai saat kondisi SoC pada baterai 100% menuju ke kondisi SoC pada baterai sebesar 20%. Pada tipe 1 ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 304860 sekon atau 86.45 jam atau 5187 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| Measurements | | | |
|-----------------------|------------|----------------------|-----------|
| | Time | Value | |
| 1 | 0.000e+00 | 1.000e+02 | |
| 2 | 304860.727 | 2.001e+01 | |
| ΔT | 304.861 ks | ΔY | 7.999e+01 |
| $1 / \Delta T$ | | 3.280 μHz | |
| $\Delta Y / \Delta T$ | | 262.370 (/Ms) | |

Gambar 4. 11 Hasil perhitungan waktu Pendorong I

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*).



Gambar 4. 12 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada Pendorong II

4.3.2 Analisa Pendorong Jenis II

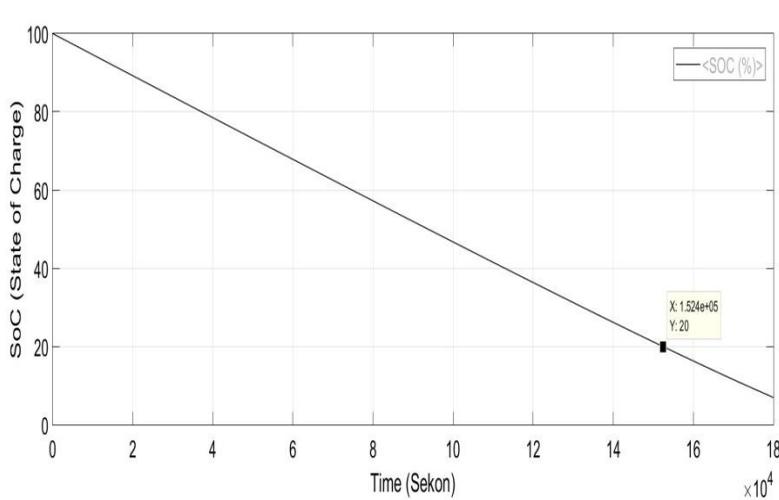
Pada tipe II ini susunan baterai menggunakan susunan baterai secara seri dan susunan motor pendorong secara paralel. Arus yang dikeluarkan oleh baterai sebesar 100 – 860 Ampere ke

motor pendorong digunakan sebagai sumber energi untuk merubah energi listrik menuju energi gerak yang akan digunakan pada sistem pendorongan. Pada pendorong jenis II ini kecepatan dari sebuah kapal selam yang diinginkan sebesar 29-79 RPM sehingga bisa didapatkan nilai dari SoC (*State of Charge*). SoC adalah parameter baterai mengenai kondisi baterai selama proses discharging atau penggunaan. Pada penelitian ini ditetapkan proses perhitungan dimulai saat kondisi SoC pada baterai 100% menuju ke kondisi SoC pada baterai sebesar 20%. Pada tipe II ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 151265 sekon atau 42.01 jam atau 2521 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| Measurements | | | |
|--------------|-----------------------|------------|----------------|
| | Time | | Value |
| 1 | 632.377 | | 9.965e+01 |
| 2 | 151265.823 | | 2.058e+01 |
| ΔT | 150.633 ks | ΔY | 7.907e+01 |
| <hr/> | | | |
| | $1 / \Delta T$ | | 6.639 μ Hz |
| | $\Delta Y / \Delta T$ | | 524.947 (/Ms) |

Gambar 4. 13 Hasil Perhitungan waktu Pendorong II

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 14 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada Pendorong II

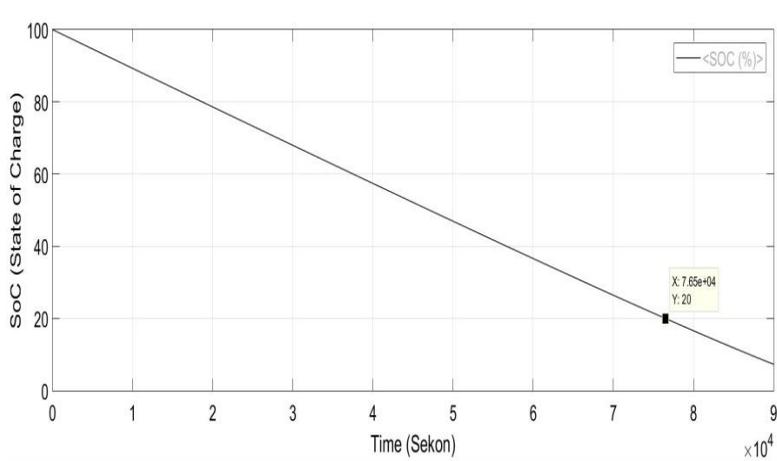
4.3.3 Analisa Pendorong Jenis III

Pada tipe III ini susunan baterai menggunakan susunan baterai secara paralel dan susunan motor pendorong secara paralel. Arus yang dikeluarkan oleh baterai sebesar 220 – 1660/2400 Ampere ke motor pendorong digunakan sebagai sumber energi untuk merubah energi listrik menuju energi gerak yang akan digunakan pada sistem pendorongan. Pada pendorong jenis III ini kecepatan dari sebuah kapal selam yang diinginkan sebesar 55-117 RPM sehingga bisa didapatkan nilai dari SoC (*State of Charge*). SoC adalah parameter baterai mengenai kondisi baterai selama proses discharging atau penggunaan. Pada penelitian ini ditetapkan proses perhitungan dimulai saat kondisi SoC pada baterai 100% menuju ke kondisi SoC pada baterai sebesar 20%. Pada tipe III ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 76426 sekon atau 21.22 jam atau 1273 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| ▼ Measurements | | | |
|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Time | Value | |
| 1 | 0.000e+00 | 1.000e+02 | |
| 2 | 76424.051 | 2.008e+01 | |
| ΔT | 76.424 ks | ΔY | 7.992e+01 |
| $1 / \Delta T$ | | 13.085 μHz | |
| $\Delta Y / \Delta T$ | | 1.046 (/ks) | |

Gambar 4. 15 Hasil Perhitungan waktu Pendorong III

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 16 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada Pendorong III

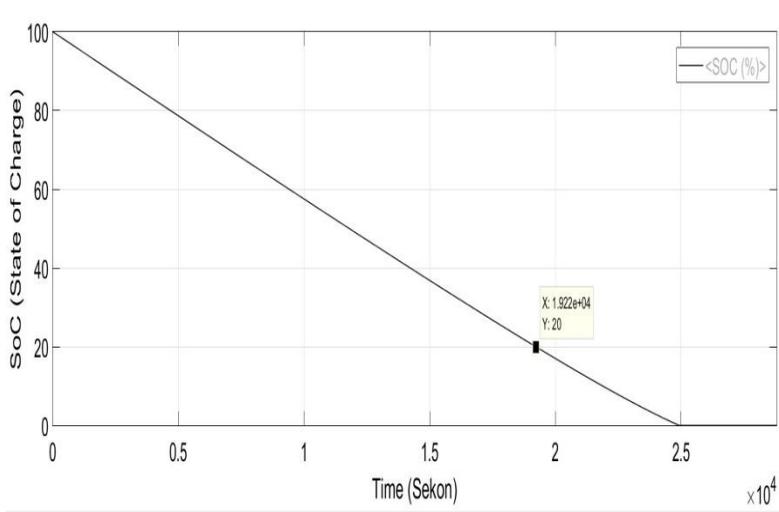
4.3.4 Analisa Pendorong Jenis IV

Pada tipe IV ini susunan baterai menggunakan susunan baterai secara seri dan susunan motor pendorong secara seri. Arus yang dikeluarkan oleh baterai sebesar 630 – 2800 Ampere ke motor pendorong digunakan sebagai sumber energi untuk merubah energi listrik menuju energi gerak yang akan digunakan pada sistem pendorongan. Pada pendorong jenis IV ini kecepatan dari sebuah kapal selam yang diinginkan sebesar 102-175 RPM sehingga bisa didapatkan nilai dari SoC (*State of Charge*). SoC adalah parameter baterai mengenai kondisi baterai selama proses discharging atau penggunaan. Pada penelitian ini ditetapkan proses perhitungan dimulai saat kondisi SoC pada baterai 100% menuju ke kondisi SoC pada baterai sebesar 20%. Pada tipe IV ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 19189 sekon atau 5.3 jam atau 318 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| ▼ Measurements | | | |
|----------------|-----------|-------------|-----------|
| | Time | Value | |
| 1 | 0.000e+00 | 1.000e+02 | |
| 2 | 19189.873 | 2.013e+01 | |
| ΔT | 19.190 ks | ΔY | 7.987e+01 |
| 1 / ΔT | | 52.111 μHz | |
| ΔY / ΔT | | 4.162 (/ks) | |

Gambar 4. 17 Hasil Perhitungan waktu Pendorong IV

Dan berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 18 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong IV

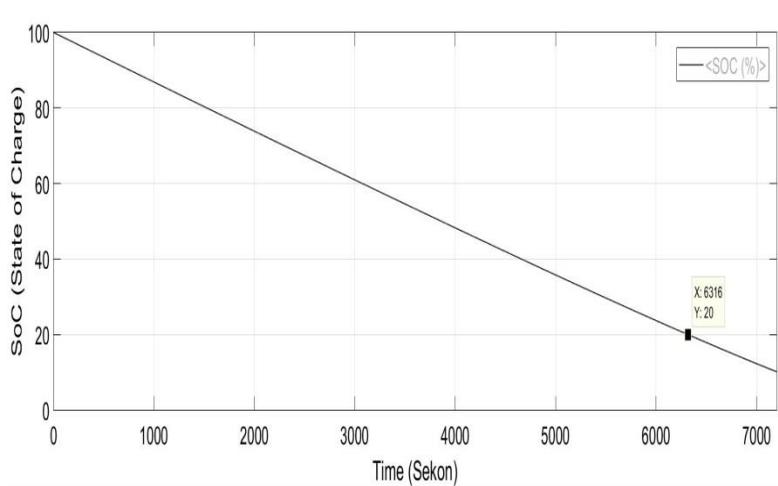
4.3.5 Analisa Pendorong Jenis V

Pada tipe V ini susunan baterai menggunakan susunan baterai secara seri dan susunan motor pendorong secara paralel. Arus yang dikeluarkan oleh baterai sebesar 1840 – 2300 Ampere ke motor pendorong digunakan sebagai sumber energi untuk merubah energi listrik menuju energi gerak yang akan digunakan pada sistem pendorongan. Pada pendorong jenis V ini kecepatan dari sebuah kapal selam yang diinginkan sebesar 175-200 RPM sehingga bisa didapatkan nilai dari SoC (*State of Charge*). SoC adalah parameter baterai mengenai kondisi baterai selama proses discharging atau penggunaan. Pada penelitian ini ditetapkan proses perhitungan dimulai saat kondisi SoC pada baterai 100% menuju ke kondisi SoC pada baterai sebesar 20%. Pada tipe V ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 6311 sekon atau 1.75 jam atau 105 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| ▼ Measurements | | | |
|----------------|-----------------------|------------------------|-----------|
| | Time | Value | |
| 1 | 0.000e+00 | 1.000e+02 | |
| 2 | 6311.392 | 2.005e+01 | |
| ΔT | 6.311 ks | ΔY | 7.995e+01 |
| <hr/> | | | |
| | $1 / \Delta T$ | 158.444 μHz | |
| | $\Delta Y / \Delta T$ | 12.667 (/ks) | |

Gambar 4. 19 Hasil perhitungan waktu Pendorongan V

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 20 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada Pendorong V

Untuk mempermudah dalam proses menganalisis maka dijelaskan dalam Tabel 4.2 berikut ini.

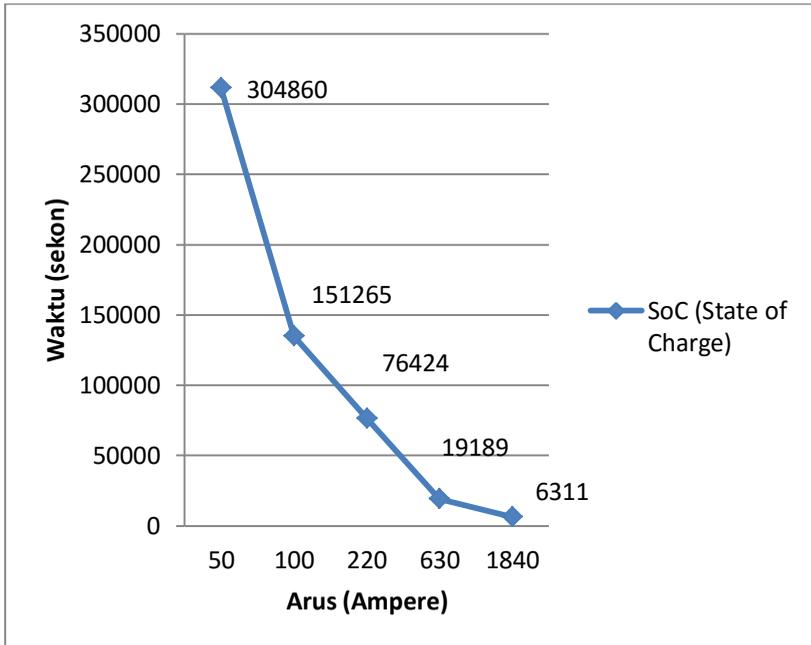
Tabel 4. 2 Data Hasil Simulasi

| Tipe Pendorongan | Penyusunan Baterai | Time (Sekon) | Time (Jam) |
|-------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | Seri | 304860 | 86.45 |
| 2 | Pararel | 151265 | 42.01 |
| 3 | Pararel | 76424 | 21.22 |
| 4 | Seri | 19189 | 5.33 |
| 5 | Seri | 6311 | 1.75 |

Pada data tersebut menunjukan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai SoC kondisi baterai dari keadaan 100% menuju keadaan SoC 20% dari tipe pendorongan jenis I sampai tipe pendorongan jenis V mengalami percepatan waktu pakai. Hal tersebut dikarenakan karena faktor dari baterai dan juga faktor dari motor pendorong yang saling berhubungan. Karakteristik dari baterai adalah dapat mengeluarkan arus atau biasa dikenal dengan proses discharging / proses pengosongan tergantung terhadap besar kecilnya ampere beban / load yang akan di suplay. Dalam percobaan ini telah ditetapkan total beban ampere tiap pendorongan (lihat tabel 3.1) yang harus disuplai oleh baterai untuk dapat menggerakkan tiap jenis pendorongan.

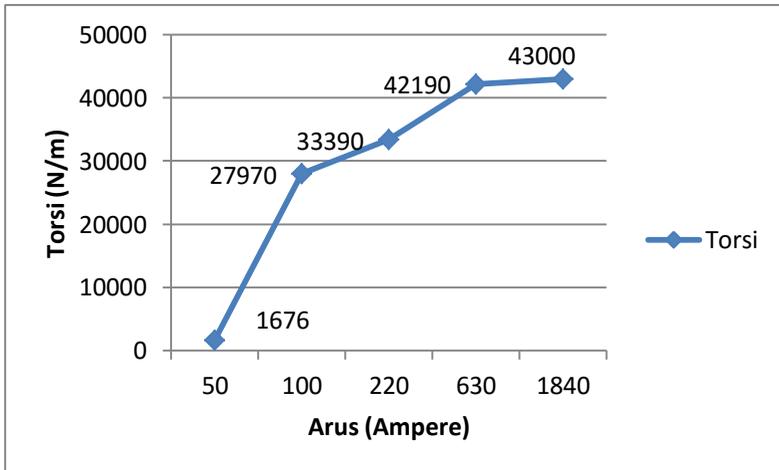
Dari tipe pendorongan jenis I sampai tipe pendorongan jenis II mengalami peninggakatan jumlah beban / load ampere sehingga mempercepat proses discharging atau pengosongan dari sebuah baterai. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahawa lama penggunaan baterai tergantung terhadap besar kecilnya beban / load yang harus disuplai. Semakin besar beban / load makan lama penggunaan akan semakin cepat.

Berikut grafik hubungan antara lama penggunaan dengan beban / load yang dihitung dalam kondisi SoC 100% - 20%.



Gambar 4. 21 Grafik Hubungan Antara Waktu SoC dengan Arus Beban

Selain mendapatkan lamanya waktu penggunaan terhadap masing-masing jenis pendorongan. Didapatkan juga data besarnya torsi terhadap masing jenis pendorongan dari jenis 1 sampai pendorong jenis 5. Berikut grafik hubungan antara torsi dan arus pada masing-masing jenis pendorongan,



Gambar 4. 22 Grafik Hubungan Antara Torsi dengan Arus

Pada grafik tersebut disimpulkan bahwa semakin besar arus pada motor dc maka semakin besar pula torsi yang akan dihasilkan. Sehingga hubungan antara torsi dan arus adalah berbanding lurus. Hal tersebut sesuai dengan hasil pada jurnal yang menyebutkan bahwa semakin besar arus pada sebuah motor maka torsi yang dihasilkan semakin besar.

4.4 Analisa Data Variasi Baterai Pada Tiap Jenis Pendorong

Pada tahap ini dilakukan variasi terhadap perbedaan susunan baterai pada tiap jenis pendorongan. Berikut hasil yang didapat setelah dilakukan simulasi,

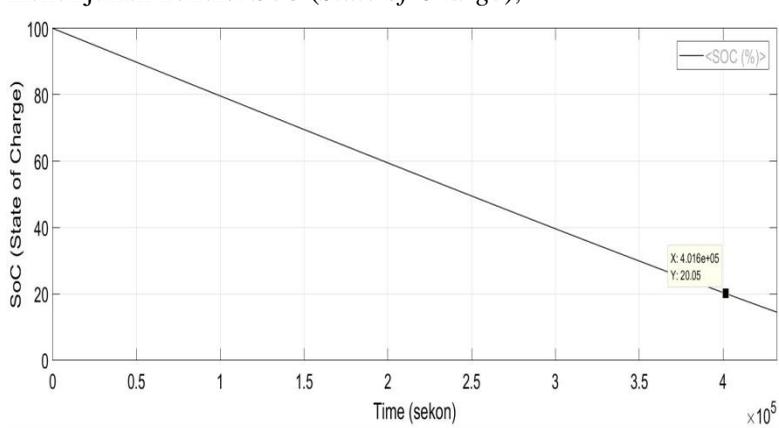
4.4.1 Analisa variasi baterai Pendorong Jenis I

Variasi yang dilakukan dari tipe pendorong I adalah merubah susunan baterai dari seri ke susunan baterai jadi paralel. Pada tipe I ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 400860 sekon atau 111.35 jam atau 6681 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| Measurements | | | |
|-----------------------|------------|----------------------|-----------|
| | Time | Value | |
| 1 | 151.881 | 9.997e+01 | |
| 2 | 400860.759 | 2.019e+01 | |
| ΔT | 400.709 ks | ΔY | 7.978e+01 |
| $1 / \Delta T$ | | 2.496 μHz | |
| $\Delta Y / \Delta T$ | | 199.092 (/Ms) | |

Gambar 4. 23 Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong I

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 24 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong I

4.4.2 Analisa variasi baterai Pendorong Jenis II

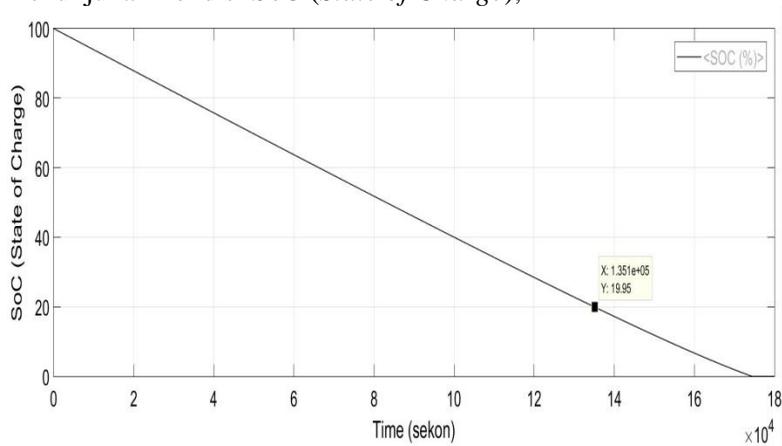
Variasi yang dilakukan dari tipe pendorong II adalah merubah susunan baterai dari paralel ke susunan baterai jadi seri. Pada tipe II ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 124113 sekon atau 34.47 jam atau 2068

menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| ▼ Measurements | | | |
|----------------|------------|-----------------------|----------------------|
| | Time | Value | |
| 1 | 0.000e+00 | 1.000e+02 | |
| 2 | 124113.924 | 2.009e+01 | |
| | ΔT | 124.114 ks | ΔY 7.991e+01 |
| | | $1 / \Delta T$ | 8.057 μ Hz |
| | | $\Delta Y / \Delta T$ | 643.848 (/Ms) |

Gambar 4. 25 Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong II

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 26 Grafik Perhitungan waktu Penggunaan pada Pendorong III

4.4.3 Analisa variasi baterai Pendorong Jenis III

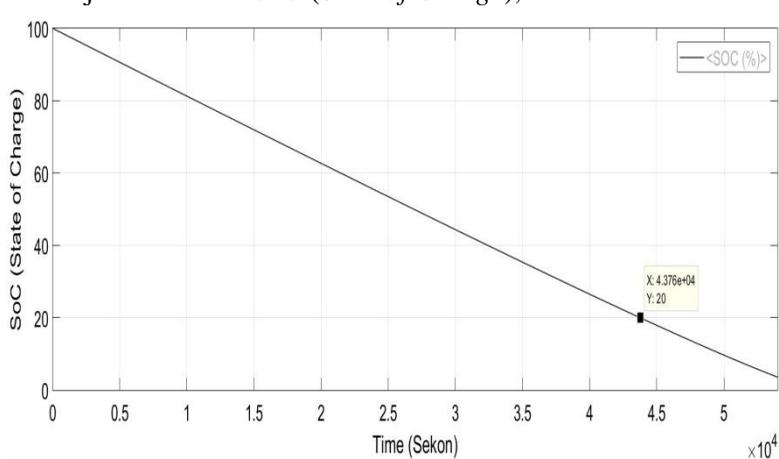
Variasi yang dilakukan dari tipe pendorongan III adalah merubah susunan baterai dari paralel ke susunan baterai jadi seri.

Pada tipe III ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 43721 sekon atau 12.14 jam atau 728 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| Measurements | | | |
|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Time | Value | |
| 1 | 1.266 | 1.000e+02 | |
| 2 | 43721.519 | 2.007e+01 | |
| ΔT | 43.720 ks | ΔY | 7.993e+01 |
| $1 / \Delta T$ | | 22.873 μHz | |
| $\Delta Y / \Delta T$ | | 1.828 (/ks) | |

Gambar 4. 27 Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong III

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 28 Grafik Perhitungan waktu Penggunaan pada Pendorong III

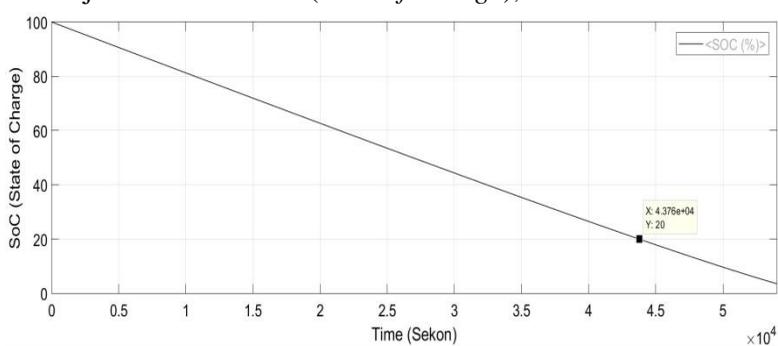
4.4.4 Analisa variasi baterai Pendorong Jenis IV

Variasi yang dilakukan dari tipe pendorongan IV adalah merubah susunan baterai dari seri ke susunan baterai jadi paralel. Pada tipe IV ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 56076 sekon atau 15.57 jam atau 934 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| Measurements | | |
|--------------|-------------------------|----------------------|
| | Time | Value |
| 1 | 0.000e+00 | 1.000e+02 |
| 2 | 56075.949 | 2.000e+01 |
| ΔT | 56.076 ks | ΔY 8.000e+01 |
| <hr/> | | |
| | 1 / ΔT | 17.833 μ Hz |
| | ΔY / ΔT | 1.427 (/ks) |

Gambar 4. 29 Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong IV

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 30 Grafik Perhitungan waktu Penggunaan pada Pendorong IV

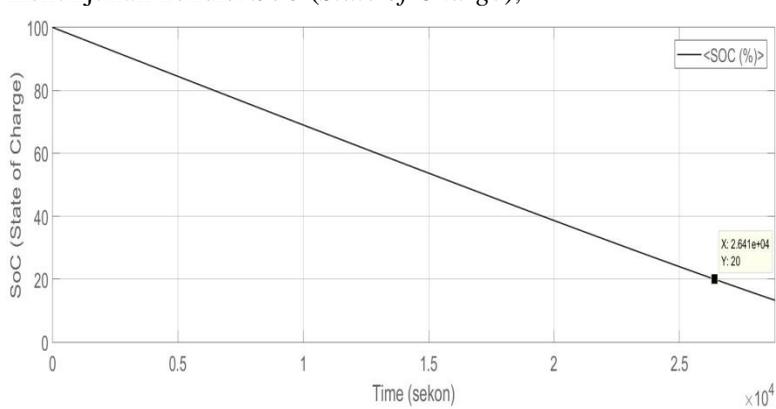
4.4.5 Analisa variasi baterai Pendorong Jenis V

Variasi yang dilakukan dari tipe pendorongan V adalah merubah susunan baterai dari seri ke susunan baterai jadi paralel. Pada tipe V ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 26400 sekon atau 7.33 jam atau 440 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| ▼ Measurements | | | |
|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Time | Value | |
| 1 | 2.532 | 1.269e+04 | |
| 2 | 26400.000 | 7.799e+03 | |
| ΔT | 26.397 ks | ΔY | 4.888e+03 |
| $1 / \Delta T$ | | 37.882 μHz | |
| $\Delta Y / \Delta T$ | | 185.186 (/ks) | |

Gambar 4. 31 Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong V

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



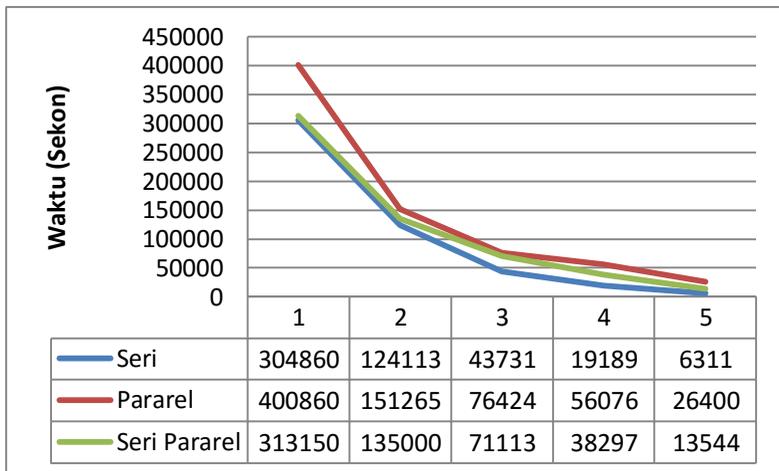
Gambar 4. 32 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong V

Untuk mempermudah dalam proses menganalisis data, berikut tabel perbandingan penggunaan variasi penyusunan baterai pada tiap jenis pendorongan pada kapal selam,

Tabel 4. 3 Perbandingan variasi penyusunan baterai

| Tipe Pendorong | Susunan Baterai | Hasil (sekon) | Hasil (jam) |
|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Seri | 304860 | 86.45 |
| | Pararel | 400860 | 111.35 |
| 2 | Seri | 124113 | 34.47 |
| | Pararel | 151263 | 42.01 |
| 3 | Seri | 43731 | 12.14 |
| | Pararel | 76424 | 21.11 |
| 4 | Seri | 19189 | 5.33 |
| | Pararel | 56076 | 15.57 |
| 5 | Seri | 6311 | 1.75 |
| | Pararel | 26400 | 7.33 |

Pada data tersebut menunjukkan bahwa pemasangan baterai secara seri lama penggunaannya lebih lama dibanding penyusunan baterai hal tersebut terjadi dari pendorong I sampai pendorongan V. Hal tersebut terjadi karena sifat baterai yaitu apabila dipasang secara pararel maka akan meningkatkan arus dan voltasenya tetap, sedangkan pemasangan seri akan membuat peningkatan voltase dan arusnya tetap. Berikut grafik perbandingan variasi penyusunan baterai pada pendorongan pada kapal selam.



Gambar 4. 33 Perbandingan waktu penggunaan variasi penyusunan baterai

4.5 Analisa Data Variasi Baterai Seri-Pararel pada Tiap Jenis Pendorong

Variasi baterai yang digunakan adalah pemasangan seri-pararel terhadap masing-masing jenis pendorongan. Berikut data hasil simulasi yang didapatkan dari Matlab mengenai kinerja baterai terhadap masing-masing jenis pendorongan yang akan dibahas sebagai berikut,

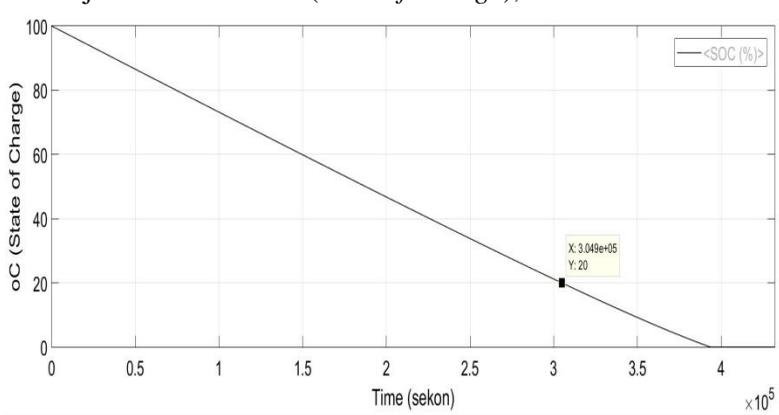
4.5.1 Analisa variasi baterai seri-pararel Pendorong Jenis I

Variasi yang dilakukan dari tipe pendorongan I adalah merubah susunan baterai menjadi susunan seri-pararel. Pada tipe I ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 135000 sekon atau 37.5 jam atau 2250 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| Measurements | | | |
|-----------------------|------------|----------------------|-----------|
| | Time | Value | |
| 1 | 0.000e+00 | 1.000e+02 | |
| 2 | 313151.899 | 2.011e+01 | |
| ΔT | 313.152 ks | ΔY | 7.989e+01 |
| $1 / \Delta T$ | | 3.193 μHz | |
| $\Delta Y / \Delta T$ | | 255.126 (/Ms) | |

Gambar 4. 34 Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong I

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 35 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong I

4.5.2 Analisa variasi baterai seri-pararel Pendorong Jenis II

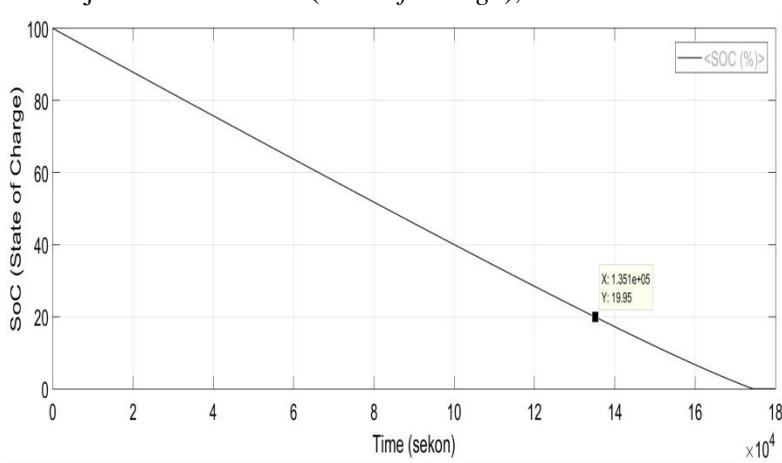
Variasi yang dilakukan dari tipe pendorongan II adalah merubah susunan baterai menjadi susunan seri-pararel. Pada tipe II ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 135000 sekon atau 37.5 jam atau 2250 menit

waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| | Time | Value |
|------------|-----------------------|----------------------|
| 1 | 2.532 | 1.000e+02 |
| 2 | 135000.000 | 2.000e+01 |
| ΔT | 134.997 ks | ΔY 8.000e+01 |
| <hr/> | | |
| | $1 / \Delta T$ | 7.408 μHz |
| | $\Delta Y / \Delta T$ | 592.589 (/Ms) |

Gambar 4. 36 Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong II

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 37 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong II

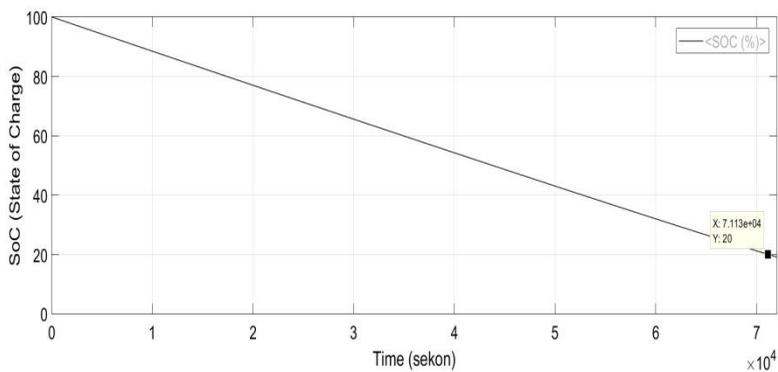
4.5.3 Analisa variasi baterai seri-pararel Pendorong Jenis III

Variasi yang dilakukan dari tipe pendorongan III adalah merubah susunan baterai menjadi susunan seri-pararel. Pada tipe III ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 71113 sekon atau 19.75 jam atau 1185 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| Measurements | | | |
|-----------------------|-----------|-----------------|-----------|
| | Time | Value | |
| 1 | 1.266 | 1.000e+02 | |
| 2 | 71113.924 | 2.002e+01 | |
| ΔT | 71.113 ks | ΔY | 7.998e+01 |
| $1 / \Delta T$ | | 14.062 μ Hz | |
| $\Delta Y / \Delta T$ | | 1.125 (/ks) | |

Gambar 4. 38 Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong III

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 39 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong III

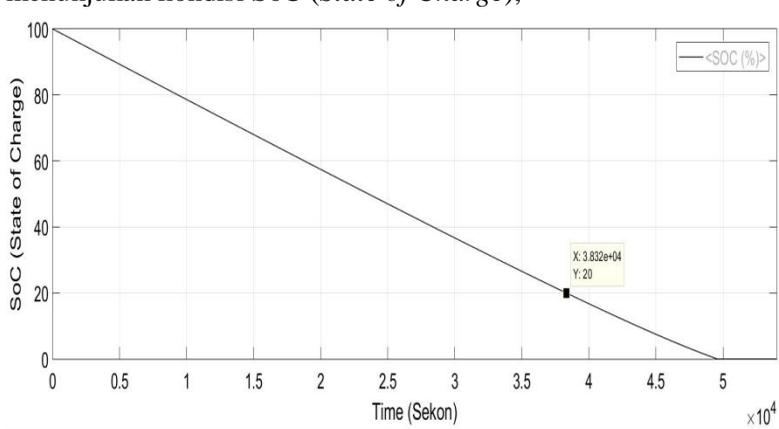
4.5.4 Analisa variasi baterai seri-pararel Pendorong Jenis IV

Variasi yang dilakukan dari tipe pendorongan IV adalah merubah susunan baterai menjadi susunan seri-pararel. Pada tipe IV ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 38297 sekon atau 10.63 jam atau 638 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| Measurements | | | |
|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Time | Value | |
| 1 | 0.000e+00 | 1.000e+02 | |
| 2 | 38297.468 | 2.004e+01 | |
| ΔT | 38.297 ks | ΔY | 7.996e+01 |
| $1 / \Delta T$ | | 26.111 μHz | |
| $\Delta Y / \Delta T$ | | 2.088 (/ks) | |

Gambar 4. 40 Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong IV

Berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),



Gambar 4. 41 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong IV

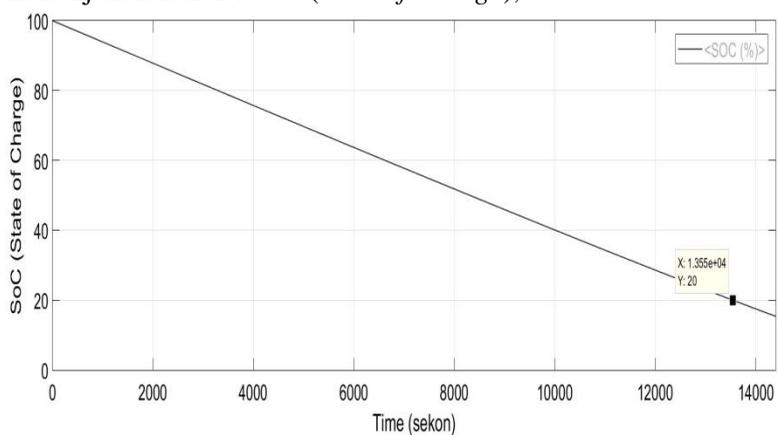
4.5.5 Analisa variasi baterai seri-pararel Pendorong Jenis V

Variasi yang dilakukan dari tipe pendorongan V adalah merubah susunan baterai menjadi susunan seri-pararel. Pada tipe V ini diperoleh data kondisi SoC baterai 100% menuju SoC baterai 20% selama 13544 sekon atau 3.76 jam atau 225 menit waktu penggunaan. Berikut hasil pengukuran waktu yang diperlukan tersebut dalam simulasi pada matlab,

| Measurements | | | |
|--------------|-----------------------|------------|-----------------------|
| | Time | | Value |
| 1 | 0.000e+00 | | 1.000e+02 |
| 2 | 13544.304 | | 2.002e+01 |
| ΔT | 13.544 ks | ΔY | 7.998e+01 |
| <hr/> | | | |
| | $1 / \Delta T$ | | 73.832 μHz |
| | $\Delta Y / \Delta T$ | | 5.905 (/ks) |

Gambar 4. 42 Hasil Perhitungan waktu pada Pendorong V

Dan berikut grafik yang didapatkan pada hasil simulasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SoC dari baterai mengalami penurunan selama waktu penggunaan berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu (sekon) dan sumbu y adalah menunjukkan kondisi SoC (*State of Charge*),

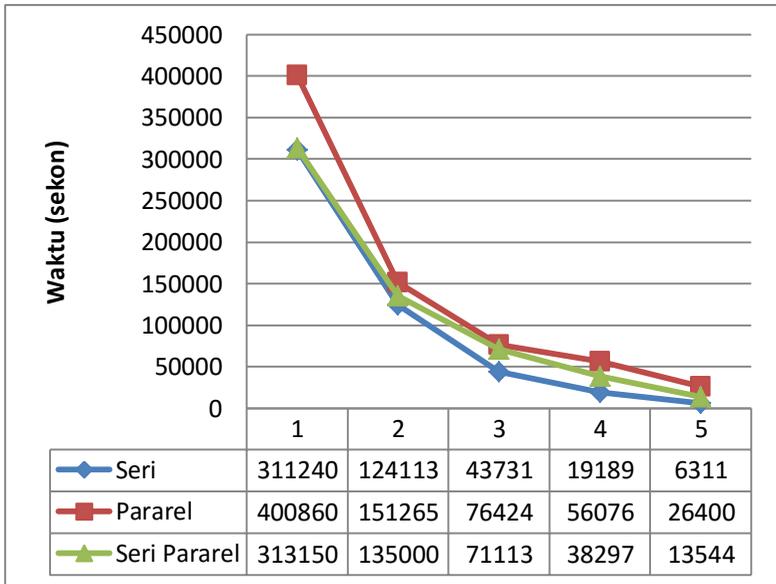


Gambar 4. 43 Grafik Perhitungan waktu penggunaan pada pendorong V

Untuk mempermudah dalam proses menganalisis data pengaruh variasi susunan baterai seri-pararel terhadap tiap jenis pendorongan pada kapal selam. Berikut tabel perbandingan.

Tabel 4. 4 Perbandingan variasi penyusunan baterai

| Tipe Pendorong | Susunan Baterai | Hasil (sekon) | Hasil (jam) |
|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Seri | 304860 | 86.45 |
| | Pararel | 400860 | 111.35 |
| | Seri-Pararel | 313150 | 86.98 |
| 2 | Seri | 124113 | 34.47 |
| | Pararel | 151263 | 42.01 |
| | Seri-Pararel | 135000 | 37.5 |
| 3 | Seri | 43731 | 12.14 |
| | Pararel | 76424 | 21.11 |
| | Seri-Pararel | 71113 | 19.75 |
| 4 | Seri | 19189 | 5.33 |
| | Pararel | 56076 | 15.57 |
| | Seri-Pararel | 38297 | 10.63 |
| 5 | Seri | 6311 | 1.75 |
| | Pararel | 26400 | 7.33 |
| | Seri-Pararel | 13544 | 3.76 |



Gambar 4. 44 Perbandingan waktu penggunaan variasi penyusunan baterai

Pada data tersebut menunjukkan telah dilakukannya tiga variasi susunan baterai, yaitu secara seri, pararel dan seri-pararel. Dari grafik gambar 4.34 terjadi penurunan lama penggunaan baterai di setiap jenis pendorongan dari tipe I sampai tipe V. Hal tersebut berlaku pada semua variasi baterai.

Pada jenis pendorongan I didapatkan hasil data lama penggunaan baterai disusun secara seri 86.45 jam, disusun secara seri-pararel 86.98 jam dan secara pararel 113.35 jam. Pada jenis pendorongan II didapatkan hasil data lama penggunaan baterai disusun secara seri 34.47 jam, disusun secara seri-pararel 37.5 jam dan secara pararel 42.01 jam. Pada jenis pendorongan III didapatkan hasil data lama penggunaan baterai disusun secara seri 12.14 jam, disusun secara seri-pararel 19.75 jam dan secara pararel 21.11 jam. Pada jenis pendorongan IV didapatkan hasil data lama penggunaan baterai disusun secara seri 5.33 jam,

disusun secara seri-pararel 10.63 jam dan secara pararel 15.57 jam. Pada jenis pendorongan V didapatkan hasil data lama penggunaan baterai disusun secara seri 1.75 jam, disusun secara seri-pararel 3.76 jam dan secara pararel 7.33 jam.

Dari uraian tersebut terlihat bahwa urutan lama penggunaan dari yang paling lama sampai paling cepat waktu penggunaan baterai dari variasi susunan baterai adalah susunan secara pararel, susunan secara seri-pararel dan susunan seri-pararel. Hal tersebut terjadi karena sifat baterai yaitu apabila dipasang secara pararel maka akan meningkatkan arus dan voltasenya tetap, sedangkan pemasangan seri akan membuat peningkatan voltase dan arusnya tetap.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, analisa, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hubungan antara lama waktu proses discharge baterai dari SoC (*State of Charge*) kondisi 100% - 20% dengan total arus beban / load adalah berbanding lurus. Semakin besar beban / load maka akan semakin cepat waktu penggunaan proses discharge pada baterai, berlaku juga sebaliknya. Hal tersebut berlaku untuk semua jenis variasi susunan baterai. Berikut kondisi existing jenis pendorongan pada kapal selam. Jenis pendorongan I susunan baterai seri dengan arus beban 54 Ampere menghasilkan lama penggunaan 86.45 jam, Jenis pendorongan V susunan baterai seri dengan beban 1840 Ampere menghasilkan lama penggunaan 1.75 jam.
2. Penyusunan susunan baterai secara paralel mempunyai waktu penggunaan yang lebih lama dibanding dengan penyusunan baterai secara seri dan penyusunan secara seri-paralel pada tiap jenis pendorongan. Jenis pendorong I waktu penggunaan baterai yang disusun secara seri adalah 86.45 jam, baterai yang disusun secara seri-paralel 86.98 jam, dan baterai yang disusun secara paralel adalah 111.35 jam.
3. Pemasangan baterai secara paralel dapat berpengaruh pada penambahan nilai voltase dan nilai arus yang dihasilkan tetap, sedangkan pemasangan baterai secara seri dapat berpengaruh terhadap penambahan nilai arus dan nilai voltase yang dihasilkan sama.
4. Rekomendasi yang dapat diberikan berdasarkan hasil simulasi pada tugas akhir ini adalah pemasangan baterai pada kapal selam untuk sistem pendorongan dapat disusun secara paralel pada masing-masing jenis pendorongan, karena dari hasil yang didapatkan waktu penggunaan yang lebih lama.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya berdasarkan penelitian ini adalah perlu dilakukan pengkajian terhadap parameter BMS yang lainnya seperti efek temperature pada baterai, efek aging pada baterai dan efek proses charging pada baterai agar dapat diketahui lebih lengkap performansi dan kondisi baterai pada saat kapal selam beroperasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Salkind A.J., Fennie C., Singh P., Atweter T., Reisner DE. "Determination of state-of-charge and state-of-health of batteries by fuzzy logic methodology." 1998.
- [2]. Pattipati B., Pattipati K., Christopherson J.P., Namburu S.M., Prokhorov D.V., Qiao L.Q.L., "Automotive battery management systems". IEEE. 2008.
- [3]. Huria, Taruna., Ceraolo, Massiomo., Gazzari, Javier., Jackey, Robyn., "High Fidelity Electrical Model with Thermal Dependence for Characterization and Simulation of High Power lithium Battery Cells," IEEE. 2012.
- [4]. Prananda, Juniarko., "Sistem Managemen Baterai pada Kapal Selam Mini."
- [5]. Farizy, Ahmad Faiz., Asfani, Dimas Anton., Soedibjo., "Desain Sistem Monitoring *State of Charge* Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis *Fuzzy Logic* Dengan Mempertimbangkan Temperature," 2016.
- [6]. Aslimeri, dkk. "Teknik Transmisi Tenaga Listrik," Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional. 2008.
- [7]. Zuhail, "Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya", Jakarta: Gramedia. 1998
- [8]. <http://zoniaelektro.net/motor-dc/> diakses tanggal 1 juni 2018
- [9]. Naskah "Pengetahuan Dasar Kapal Selam Kelas u-209/1300". 1979
- [10]. Gazzari, J., Shrivastava, N., Jackey, R., and Borghesani, C., "Battery Pack Modeling, Simulation, and Deployment on a Multicore Real Time Target," *SAE Int. J. Aerosp.* 7(2). 2014.

- [11].Hagen Batterie Submarine. Training Submarine 209 Propulsion Batttery Bad Lauterberg Indonesia. February 2017.
- [12].Faria, Ricardo., Moura, Pedro., Delgado, Joaquim., “Managing the charging of Electrical Vehicle : Impacts on the Electrical Grid and on the Enviromental”. Intelligent Transportation Systems Magazine,” IEEE Vol 6. 2014.
- [13].Hannan M.A., Lipu M.S.H., Hussain A., Mohammed A., “ A Review of Lithium-ion Battery State of Charge and management System in Electrical Vehicle Application: Challenges and Recomendation” Science Direct. 2017.
- [14].Rismansyah, M., Nazir, R., “Pengaturan Kesetimbangan Pengisian Dan Pengosongan Baterai Asam Timbal,” ISSN 2302-2949. 2016

LAMPIRAN A

Hasil perhitungan pada Matlab baterai jenis *Lead Acid* dengan kapasitas 240 volt 4000 Ah.

Block Parameters: 240 volts, 1000 Ah2

Battery (mask) (link)

Implements a generic battery model for most popular battery types. Temperature and aging (due to cycling) effects can be specified for Lithium-Ion battery type.

Parameters Discharge

Type:

Lead-Acid

Nominal voltage (V) 240

Rated capacity (Ah) 4000

Initial state-of-charge (%) 100

Battery response time (s) 30

OK Cancel Help Apply

Block Parameters: 240 volts, 1000 Ah2

Battery (mask) (link)

Implements a generic battery model for most popular battery types. Temperature and aging (due to cycling) effects can be specified for Lithium-Ion battery type.

Parameters Discharge

Determined from the nominal parameters of the battery

Maximum capacity (Ah) 4166.6667

Cut-off Voltage (V) 180

Fully charged voltage (V) 261.3158

Nominal discharge current (A) 800

Internal resistance (Ohms) 0.0006

Capacity (Ah) at nominal voltage 1241.1111

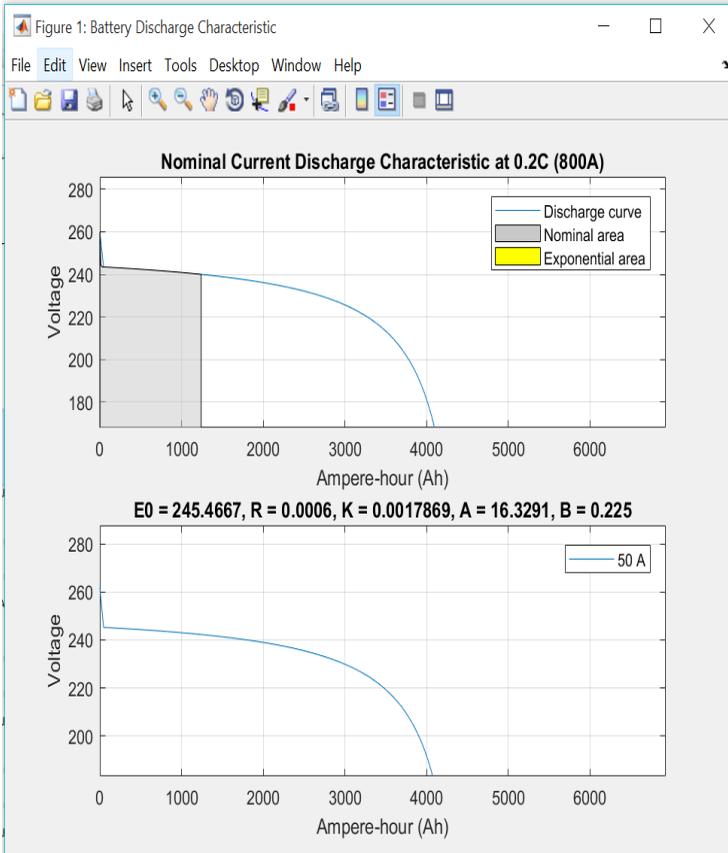
Exponential zone [Voltage (V), Capacity (Ah)] 244.3421 13.33333

Display characteristics

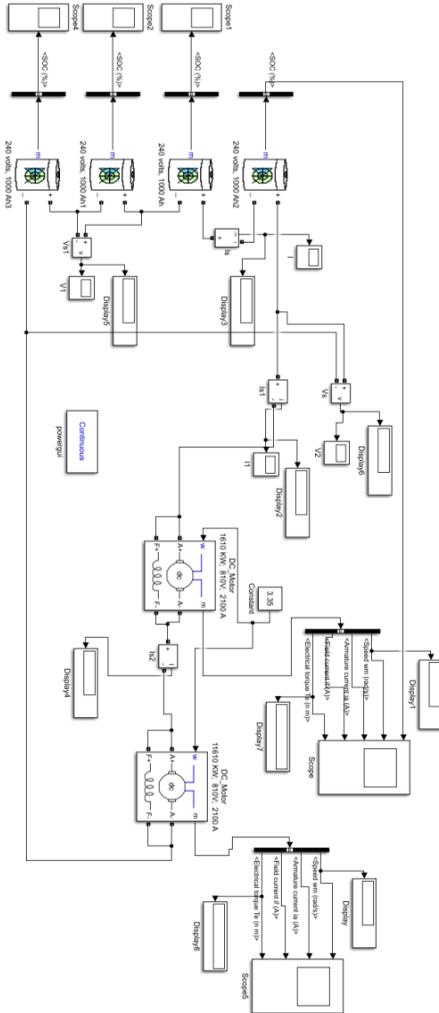
Discharge current [i1, i2, i3,...] (A) 50

Units Ampere-hour Plot

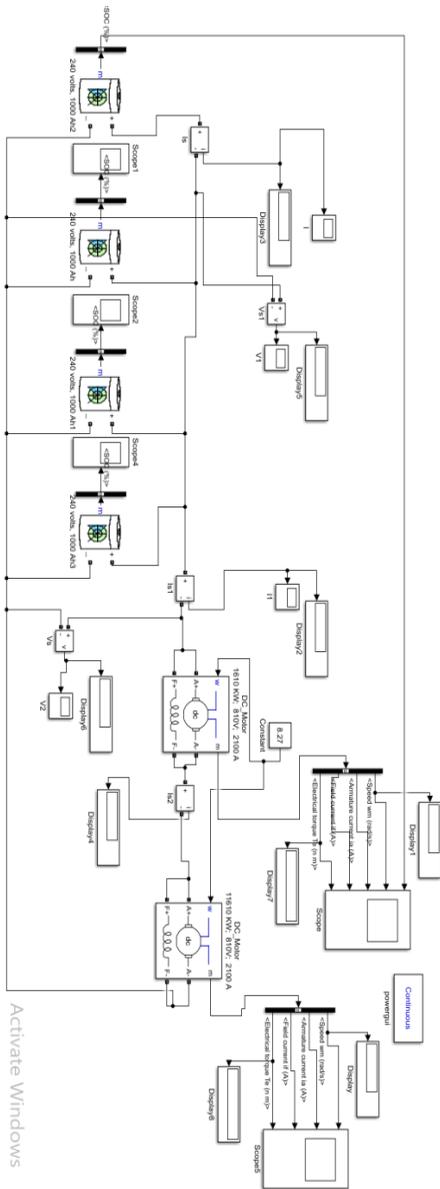
OK Cancel Help Apply



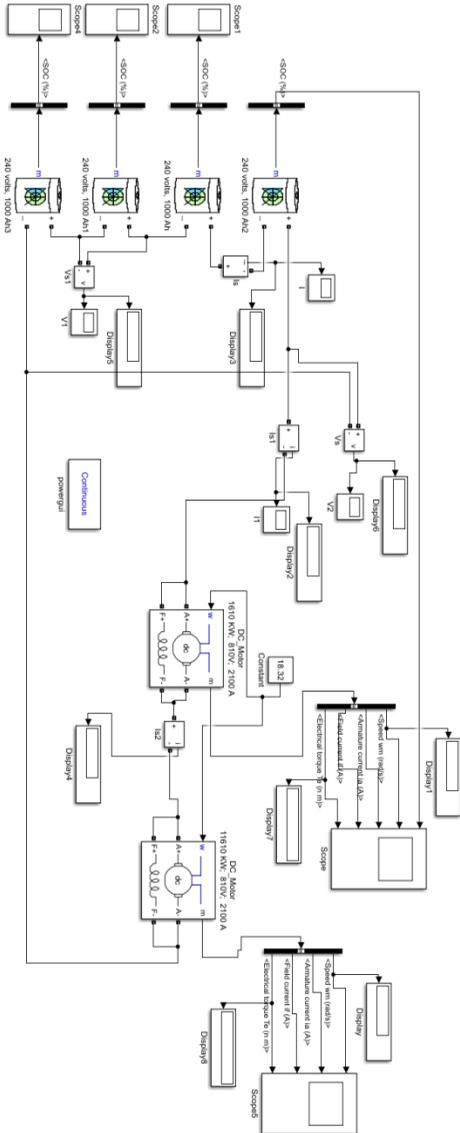
LAMPIRAN B



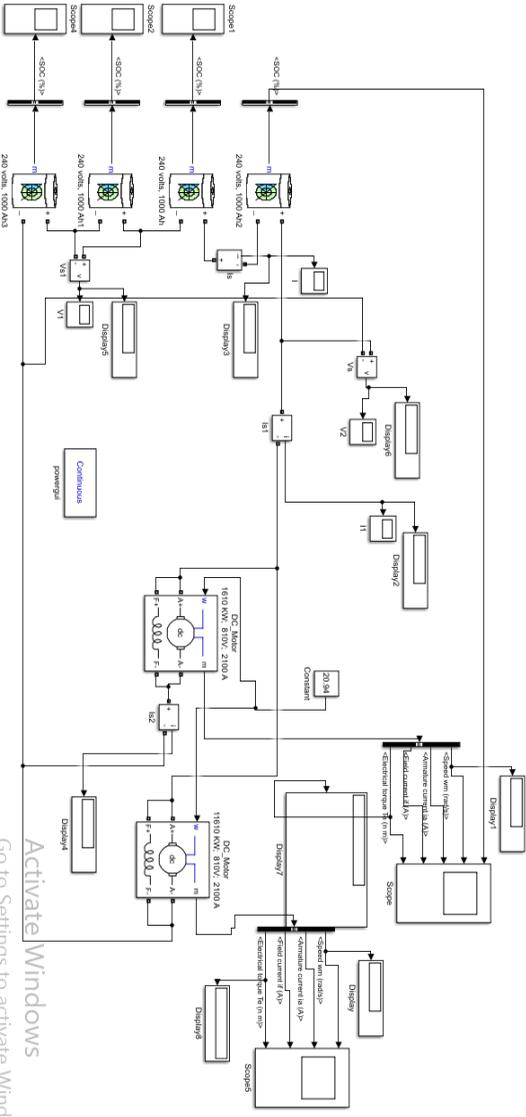
1. Hasil Pemodelan di Matlab Jenis Pendorong I



2. Hasil Pemodelan di Matlab Jenis Pendorong II



4. Hasil Pemodelan di Matlab Jenis Pendorong IV



5. Hasil Pemodelan di Matlab Jenis Pendorong V

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.

LAMPIRAN C

| Rezim Pendorong an | Bentuk Hubungan | Dengan a-tau tanpa Omformer | Kondisi Batere | Putaran (rpm) | Pangkat-pendinginan oleh Ventilator | Arus tiap Jangkar | Arus penguat tiap motor |
|---------------------|-----------------|-----------------------------|----------------|---------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| I Maju & Mundur | | Dengan Omformer | Penuh | 18 - 32 | 0 | 85 - 130 | 12 - 15 |
| | | Tanpa Omformer | Terpakai | 18 - 32 | 0 | 85 - 130 | 11 - 15 |
| II Maju & Mundur | | Tanpa Omformer | Penuh | 19 | 0 | 54 | 27 |
| | | Dengan Omformer | Terpakai | 16 | 0 | 50 | 25 |
| | | Tanpa Omformer | Penuh | 32 - 75 | 0 | 100 - 860 | 34 - 9 |
| | | Dengan Omformer | Terpakai | 32 - 75 | 0 | 110 - 1000 | 23 - 8 |
| III Maju | | Tanpa Omformer | Penuh | 32 - 79 | 0 | 100 - 1000 | 34 - 8 |
| | | Dengan Omformer | Terpakai | 29 - 75 | 0 | 80 - 1000 | 34 - 8 |
| | | Tanpa Omformer | Penuh | 75-111 | I | 410 - 1320 | 20 - 8 |
| | | Dengan Omformer | Terpakai | 75-111 | I | 450 - 1550 | 16 - 6 |
| IV Mundur | | Tanpa Omformer | Penuh | 59-117 | I (II) | 220 - 1660 (220 - 2400) | 40 - 6,5 (40 - 8) |
| | | Dengan Omformer | Terpakai | 55-112 | I (II) | 200 - 1660 | 40 - 6 |
| | | Tanpa Omformer | Penuh | 75-111 | I | 390 - 1450 | 27 - 7 |
| | | Dengan Omformer | Terpakai | 75-111 | I | 440 - 1600 | 20 - 5 |
| V Maju | | Tanpa Omformer | Penuh | 59-117 | I | 220 - 1660 | 40 - 6,5 |
| | | Dengan Omformer | Terpakai | 55-112 | I | 200 - 1660 | 40 - 6 |
| | | Tanpa Omformer | Penuh | 111-175 | II | 630 - 2800 | 45 - 14 |
| | | Dengan Omformer | Terpakai | 111-168 | II | 690 - 2800 | 31 - 13 |
| VI Maju | | Tanpa Omformer | Penuh | 111-175 | II | 630 - 2800 | 45 - 14 |
| | | Dengan Omformer | Terpakai | 102-168 | II | 550 - 2800 | 45 - 13 |
| | | Tanpa Omformer | Penuh | 190-200 | II | 1660 - 2300 | 61 - 28 |
| | | Dengan Omformer | Terpakai | 176-200 | II | 1470 - 2800 | 45 - 13 |
| VII Maju | | Tanpa Omformer | Penuh | 196-200 | II | 1840 - 2300 | 45 - 28 |
| | | Dengan Omformer | Terpakai | 175-200 | II | 1470 - 2800 | 45 - 13 |

BIODATA PENULIS



Nama penulis Iqball Dwi Candra Patmanegara dilahirkan di Magetan pada tanggal 11 Januari 1996. Saat ini penulis tinggal di Magetan. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di MIN Takeran Kabupaten Magetan pada tahun 2008, SMPN 1 Nguntoronadi Kabupaten Magetan pada tahun 2011, SMAN 3 Madiun Kota Madiun pada tahun 2014, dan sedang menempuh pendidikan S1 Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang. Bidang minat yang diambil penulis ketika menempuh perkuliahan adalah Bidang Minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan. Pada bulan Juli 2018 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **ANALISA PERFORMANSI DARI PENYUSUNAN BATERAI TERHADAP MASING-MASING JENIS PENDORONG PADA KAPAL SELAM**. Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui *email*: iqball15patmanegara@gmail.com. Terima Kasih.