

**KAJIAN PENGGUNAAN MOTOR LISTRIK DC  
SEBAGAI PENGGERAK SPEEDBOAT**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**MUHAMMAD AFNAN HABIBI**

**NIM. 105060307111037 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**MALANG**

**2015**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**KAJIAN PENGGUNAAN MOTOR LISTRIK DC  
SEBAGAI PENGGERAK SPEEDBOAT**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**MUHAMMAD AFNAN HABIBI**

**NIM. 105060307111037 - 63**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Pembimbing 1**

**Pembimbing 2**

**Ir. Soemarwanto, M. T.**  
**NIP. 19500715 198003 1 002**

**Ir. Hery Purnomo, M.T.**  
**NIP. 19550708 198212 1 001**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**KAJIAN PENGGUNAAN MOTOR LISTRIK DC  
SEBAGAI PENGGERAK SPEEDBOAT**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Disusun Oleh:

**MUHAMMAD AFNAN HABIBI**

**NIM. 105060307111037-63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 13 Januari 2015

**MAJELIS PENGUJI**

**Ir. Mahfudz Shiddiq, M.T.**  
**NIP. 19580609 198703 1 003**

**Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.**  
**NIP. 19630106 198802 1 001**

**Ir. Teguh Utomo, M.T.**  
**NIP. 19650913 199103 1 003**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D**  
**NIP. 19741203 200012 1 001**

## PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim.*

*Alhamdulillah, Laa haula wa laa quwwata illa billahi*, tiada kata yang patut terucap selain puji syukur kehadirat Allah SWT. Dengan segala rahmat dan hidayah dari-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kajian Penggunaan Motor Listrik DC Sebagai Penggerak *Speedboat*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini membutuhkan banyak bimbingan, bantuan serta dorongan dari berbagai pihak. Dengan penuh rasa hormat, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

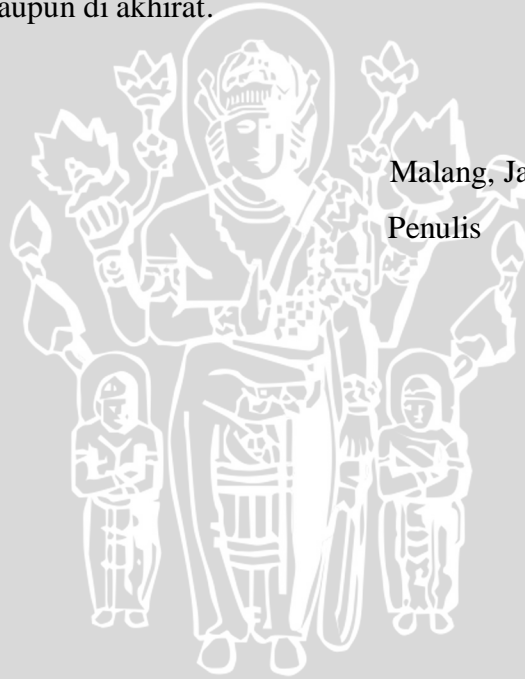
- Kedua orang tua, Bapak Zainal Abidin dan Ibu Masriatin yang senantiasa mendoakan, memberikan nasihat, serta mengajarkan ilmunya selama ini. Kedua saudara kandung saya Mas Muhammad Rodlin Billah dan Mbak Fauqa Arinil Aulia yang senantiasa memberikan motivasi dan menjadi panutan.
- Guru-guru yang telah meninggal saat keadaan mengajar, Pak Endo, Bu Insiatin, dan Ir. Chairuzzaini. Jasa Beliau tak dapat tergantikan sepanjang waktu, mengubah batu menjadi emas. Semoga ampunan Allah SWT bersama beliau.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT, Ph.D sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Soeprapto, MT selaku Dosen Pembimbing Akademik.
- Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc selaku KKDK Teknik Energi Elektrik.
- Ir. Soemarwanto, MT selaku Kepala Laboratorium Dasar Elektrik Pengukuran sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah memberikan seluruh ilmunya dengan membiasakan yang benar, dan bukan membenarkan yang biasa.
- Ir. Hery Purnomo, MT selaku Dosen Pembimbing II atas ilmu, waktu, saran, dan segala bantuannya.
- Mas Dedy Agus Wahyudi, A.Md selaku pranata Laboratorium Dasar Elektrik Pengukuran, serta Keluarga Besar asisten DEP seluruh angkatan.
- Bapak Ibu Dosen, karyawan, staf recording dan RBTE atas segala bantuan dan kemudahan.

- Seluruh sahabat yang selalu ada di rumah kos Jl. Kertosentono 119, utamanya Dheo, Azwar, Imam, dan Sesa atas kesediaannya dalam membantu dan berbagi keceriaan bersama dalam kondisi susah dan senang. Serta seluruh sahabat yang membanggakan, MAGNET'10, yang memberikan doa, semangat serta dukungan kepada penulis.
- Teman-teman ELECTRICAL POWER ENGINEERING 2010.
- Semua pihak yang telah membantu penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi. Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat di dunia maupun di akhirat.

Malang, Januari 2015

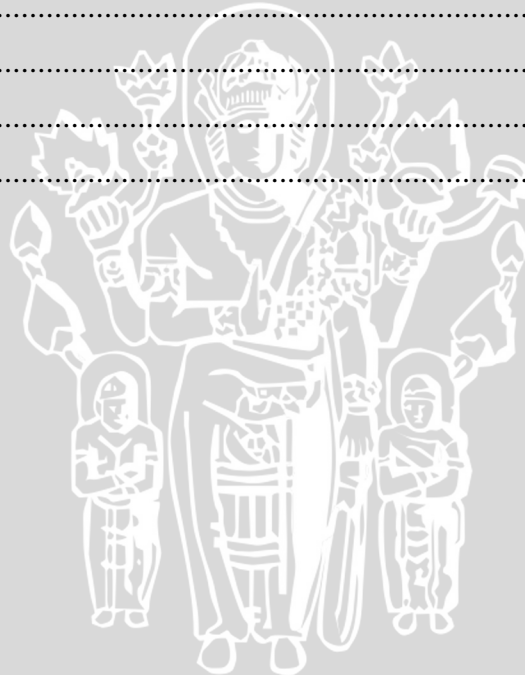
Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
RINGKASAN.....	ix
SUMMARY.....	x
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Teori Penggerak Kapal.....	4
2.2 Penelitian <i>Speedboat</i> .....	14
2.3 Prinsip Kerja Motor DC.....	16
2.3.1 Motor DC <i>Shunt</i> .....	21
2.3.2 Parameter Motor DC <i>Shunt</i> .....	27
2.3.3 Parameter Dimensi Utama.....	28
2.3.4 Parameter Jangkar.....	30
2.4 Kapasitas Baterai.....	32
BAB III.....	35
METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1 Lokasi.....	35
3.2 Pencarian Data.....	36
3.3 Pengambilan Data.....	36
3.4 Perhitungan dan Penentuan Kapasitas Motor DC.....	36

3.5	Perhitungan dan Penentuan Parameter Motor DC <i>Shunt</i> .....	37
3.6	Perhitungan Torsi dan Kecepatan Motor DC <i>Shunt</i> .....	38
3.7	Perhitungan Dan Penentuan Kapasitas Baterai .....	39
3.8	Kesimpulan Dan Saran.....	39
BAB IV .....		40
ANALISIS MOTOR DC SEBAGAI PENGGERAK SPEEDBOAT.....		40
4.1	Data Speedboat .....	40
4.2	Perhitungan Kapasitas Motor DC .....	40
4.3	Perhitungan Parameter Motor DC <i>Shunt</i> .....	44
4.4	Torsi dan Kecepatan Motor DC <i>Shunt</i> .....	47
4.5	Perhitungan Kapasitas Baterai Beban <i>Speedboat</i> .....	50
BAB V .....		53
PENUTUP .....		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran .....	53
DAFTAR PUSTAKA .....		54



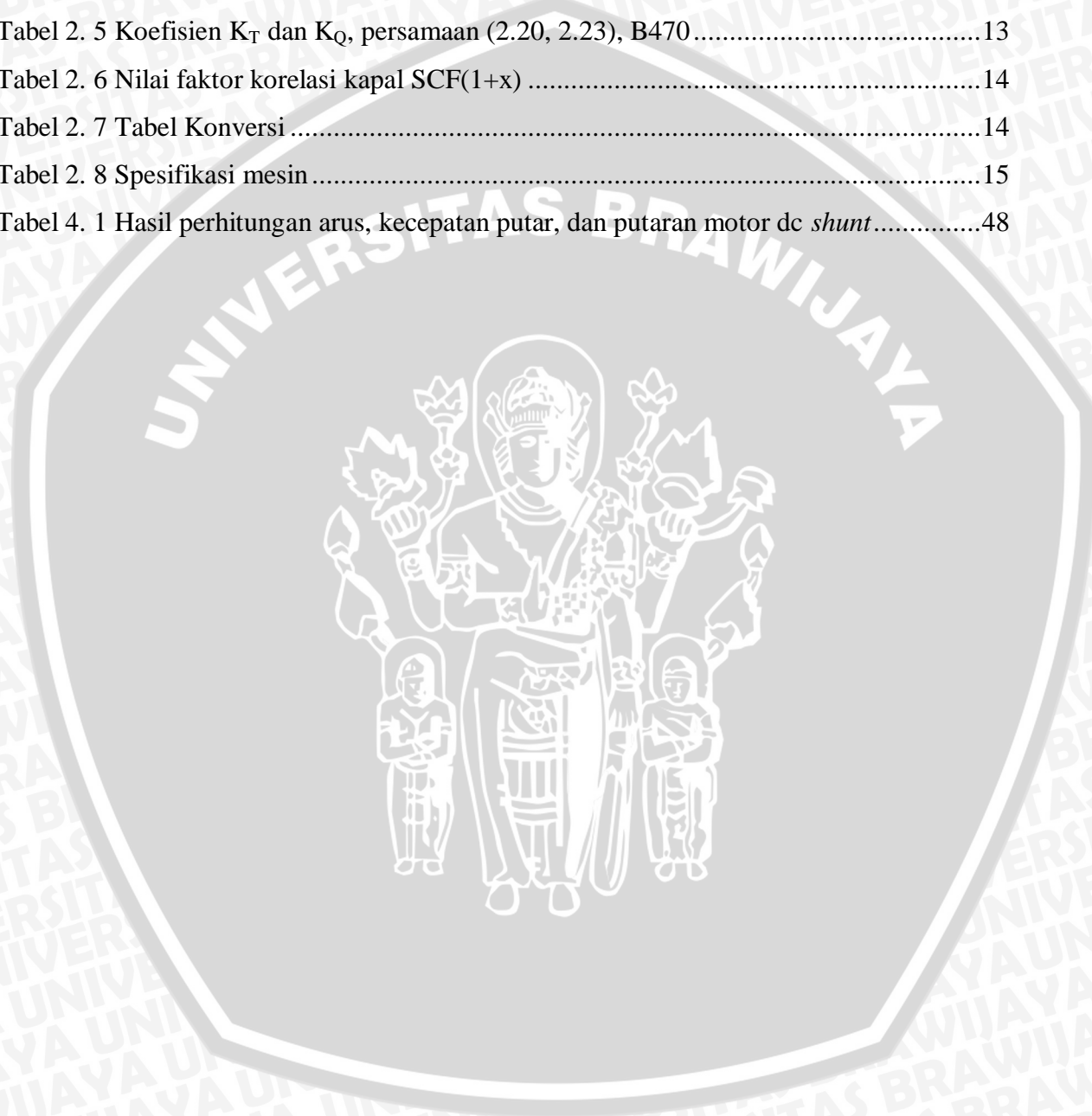
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konsep umum dari konversi energi .....	4
Gambar 2. 2 Komponen-komponen perkiraan daya kapal.....	5
Gambar 2. 3 Karakteristik propulsor .....	6
Gambar 2. 4 Perbandingan dari perbedaan formula gesek.....	8
Gambar 2. 5 Pengaruh kedalaman air pada tahanan .....	9
Gambar 2. 6 Koefisien udara pada struktur kapal feri cepat .....	9
Gambar 2. 7 Fraksi laju air untuk kapal <i>single-screw</i> .....	11
Gambar 2. 8 $K_T$ - $K_Q$ untuk propeller wagening B4.70 ( <i>courtesy of marin</i> ).....	12
Gambar 2. 9 Skematik mesin DC untuk 2 kutub .....	17
Gambar 2. 10 Mesin dc. (a) Penguat terpisah. (b) Seri. (c) Shunt. (d) Kompon .....	19
Gambar 2. 11 Karakteristik torsi-kecepatan dari motor dc yang berbeda.....	20
Gambar 2. 12 Rangkaian ekuivalen motor dc <i>shunt</i> .....	21
Gambar 2. 13 Rugi daya pada mesin dc.....	22
Gambar 2. 14 Motor dc penguat terpisah.....	23
Gambar 2. 15 Pengaturan tegangan jangkar motor dc. (a) Variasi kecepatan. (b) Pengaturan kecepatan. (c) Operasi dibawah torsi konstan. (d) Operasi $R_a=0$ .....	24
Gambar 2. 16 Pengaturan medan.....	25
Gambar 2. 17 Pengaturan tahanan jangkar.....	27
Gambar 2. 18 Jumlah kutub pada mesin dc.....	28
Gambar 2. 19 Nilai spesifik untuk pembebanan magnetik .....	29
Gambar 2. 20 Nilai Spesifik dari pembebanan elektrik .....	29
Gambar 2. 21 Nilai jatuh tegangan dalam dan arus medan.....	31
Gambar 2. 22 Sistem listrik modul surya.....	32
Gambar 2. 23 Insolasi matahari untuk daerah Jakarta .....	34
Gambar 3. 1 Diagram alir metode pengerjaan penelitian .....	35
Gambar 3. 2 Diagram perhitungan kapasitas motor dc.....	37
Gambar 3. 3 Diagram perhitungan parameter motor dc <i>shunt</i> .....	38
Gambar 3. 4 Diagram perhitungan torsi-kecepatan motor dc <i>shunt</i> .....	39
Gambar 4. 1 Karakteristik putaran-torsi motor dc <i>shunt</i> .....	49
Gambar 4. 2 Skema speedboat .....	51
Gambar 4. 3 Skema rangkaian elektrik pada speedboat .....	52



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Massa jenis air payau, air garam, dan udara .....	7
Tabel 2. 2 Viskositas air payau, air garam, dan udara .....	8
Tabel 2. 3 Perkiraan koefisien udara berdasarkan area depan.....	10
Tabel 2. 4 Skala Beaufort.....	10
Tabel 2. 5 Koefisien $K_T$ dan $K_Q$ , persamaan (2.20, 2.23), B470 .....	13
Tabel 2. 6 Nilai faktor korelasi kapal SCF(1+x) .....	14
Tabel 2. 7 Tabel Konversi.....	14
Tabel 2. 8 Spesifikasi mesin.....	15
Tabel 4. 1 Hasil perhitungan arus, kecepatan putar, dan putaran motor dc <i>shunt</i> .....	48



## RINGKASAN

**Muhammad Afnan Habibi**, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2015, Kajian Penggunaan Motor Listrik DC sebagai Penggerak *Speedboat*, Dosen Pembimbing: Ir. Soemarwanto, M.T., Ir. Hery Purnomo, M.T.

Transportasi laut dibagi menjadi transportasi penumpang dan transportasi barang. Transportasi laut dapat juga dibagi berdasarkan daya jelajahnya, yaitu: Angkutan Sungai Danau dan Penyeberangan (ASDP), transportasi laut antar pulau, dan transportasi laut antar negara. Perahu adalah salah satu jenis transportasi laut. Penggerak perahu bermacam-macam. Mulai penggerak tenaga manusia yakni dayung, penggerak tenaga angin yakni layar, penggerak tenaga bahan bakar yakni motor diesel, dan penggerak tenaga listrik yakni motor listrik.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengkajian penggunaan motor listrik DC sebagai penggerak *speedboat* dengan membuat simulasi sehingga dapat menentukan motor listrik yang sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik dari *speedboat*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data *speedboat*, motor dc *shunt*, baterai dan modul surya. Kemudian data-data tersebut diproses dengan pendekatan matematis sehingga diketahui daya dan parameter dari motor, kapasitas baterai dan modul surya yang dibutuhkan.

Data *speedboat* yang digunakan sebagai objek dalam penelitian ini adalah: *displacement*  $\nabla = 0,969$  ton; volume  $V = 0,946$  m<sup>3</sup>; kecepatan kapal  $v_s = 7$  knot; panjang garis air  $L_{wl} = 7,89$  m; area garis air  $S = 4,599$  m<sup>2</sup>; luas daerah melintang  $A_P = 0,158$  m<sup>2</sup>; konstanta blok  $C_b = 0,567$ ; dan kedalaman kapal terbenam air  $h = 0,3$  m. Data utama motor dc *shunt* adalah: karakteristik motor dc *shunt*, daya  $P_m = 2200$  W; tegangan terminal  $V_t = 24$  V; dan putaran  $n = 1800$  rpm. Serta data kapasitas baterai dan modul surya.

Data *speedboat* diproses dengan perhitungan matematis, sehingga menghasilkan kapasitas daya minimal yang digunakan *speedboat* untuk bergerak dengan kecepatan  $v_s$ . Kemudian ditentukan kapasitas motor dc *shunt* yang lebih tinggi dari daya minimal dan menghitung parameter-parameter motor yang dibutuhkan dari data motor yang telah didapat sebelumnya. Terakhir, menghitung kapasitas baterai dan modul surya dari data baterai dan modul surya yang telah diperoleh.

Dari hasil simulasi, kapasitas motor dc *shunt* yang diperlukan untuk menggerakkan *speedboat*: daya nominal  $P_m = 2200$  W; putaran nominal = 1800 rpm tegangan  $V_t = 24$  V; diameter  $D = 0,1217$  m; panjang  $L = 0,1338$  m; arus medan  $I_f = 0,2488$  A; tegangan jatuh jangkar  $V_{Ra} = 0,5040$  V; arus beban penuh  $I_a = 130,7036$  A; resistansi jangkar  $R_a = 0,0039$   $\Omega$ ; efisiensi motor = 0,9771; torsi motor  $T_a = 16,292$  Nm.

Kapasitas akumulator yang diperlukan selama satu jam adalah 246,8 Ah. Energi baterai dalam satu jam adalah 5923,1 W jam. Sehingga membutuhkan empat buah baterai 24 V 65 Ah terhubung paralel dan tiga buah modul surya 200 Wp.

**Kata Kunci:** Motor DC *Shunt*, Baterai, *Speedboat*, Kapasitas Daya, Energi.

## SUMMARY

**Muhammad Afnan Habibi**, Electrical Engineering Department, Engineering Faculty, Brawijaya University, January 2015, A Study of DC Electric Motor Usage for Speedboat Propulsion, Advisor Lecturers: Ir. Soemarwanto, M.T., Ir. Hery Purnomo, M.T.

Sea transportation was divided to passenger transportation and goods transportation. Sea transportation able to divide according to its exploration capability, it is Angkutan Sungai Danau dan Penyebrangan (ASDP) for river and lake, Interisland sea transportation, and International sea transportation. Boat is one of the kind of sea transportation. There are many propeller to move a boat. It is paddle for human energy propeller, a sail for wind energy propeller, Diesel motor for fuel energy propeller, and electric motor for electric energy propeller.

The goal of this research is doing a study of dc electric motor usage for speedboat propulsion by creating a simulation so that able to choose electric motor which proper to the needs and speedboat's characteristics. The method that used in this research was collecting speedboat data, shunt dc motor data, battery data and solar cell data. Then these data was processed by an mathematical approachment so the power and the parameters of motor, battery, and solar cell can be obtained. Data of speedboat which been used for the object of this research was: *displacement*  $\nabla = 0,969$  ton; volume  $V = 0,946$  m<sup>3</sup>; velocity  $v_s = 7$  knot; water line length  $L_{wl} = 7,89$  m; water line area  $S = 4,599$  m<sup>2</sup>; acrossed area  $A_P = 0,158$  m<sup>2</sup>; block constant  $C_b = 0,567$ ; water depth  $h = 0,3$  m. The main data of shunt dc motor was: characteristics of shunt dc motor; power  $P_m = 2200$  W; terminal voltage  $V_t = 24$  V; and rotation  $n = 1800$  rpm. Then data of battery capacity and solar cell.

Speedboat's data processed by computing mathematical computation. So it yields minimum power capacity which was used by speedboat to move with velocity  $v_s$ . Then assumed capacity of shunt dc motor which was higher than the minimum power and computing the motor parameters which needed from motor's data which was obtained before. The last, computing battery and solar cell capacities from battery's and solar cell's data which was obtained.

From the result of simulation, motor dc shunt which needed to move the speedboat is: motor's power  $P_m = 2200$  W; rotation  $n = 1800$  rpm; voltage  $V_t = 24$  V; diameter  $D = 0,1217$  m; length  $L = 0,1338$  m; field current  $I_f = 0,2488$  A; voltage drop  $V_{R_a} = 0,5040$  V; full load current  $I_a = 130,7036$  A; armature resistance  $R_a = 0,0039$   $\Omega$ ; efficiency = 0,9771; torque  $T_a = 16,292$  Nm.

Accumulator capacity which needed for one hour is 246,8 Ah. Battery energy in one hour is 5923,1 Wh. So it needed four batteries 24 V 65 Ah parallel connected and three solar cells 200 Wp.

**Key words:** Shunt dc motor, battery, speedboat, electric power, energy.

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang diapit oleh Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Oleh karena itu, Indonesia membutuhkan alat transportasi laut sebagai penghubung antar pulau. Alat transportasi laut telah berkembang mulai dari rakit, sampan, perahu, dan kapal. *Speedboat* merupakan salah satu alat transportasi laut yang merupakan modifikasi dari perahu, baik dari ukuran, berat, kecepatan, konstruksi badan, dan sistem penggerak.

Transportasi laut dibagi menjadi transportasi penumpang dan transportasi barang. Transportasi laut dapat juga dibagi berdasarkan daya jelajahnya, yaitu: Angkutan Sungai Danau dan Penyeberangan (ASDP), transportasi laut antar pulau, dan transportasi laut antar negara. ASDP dapat menggunakan kapal Roro (Roll On Roll Off) ataupun menggunakan *speedboat*.

Penggerak perahu bermacam-macam. Mulai penggerak tenaga manusia yakni dayung, penggerak tenaga angin yakni layar, penggerak tenaga bahan bakar yakni motor diesel, dan penggerak tenaga listrik yakni motor listrik. Meskipun telah mencapai perkembangan yang cukup, tetapi masih banyak perahu-perahu di Indonesia yang belum menggunakan motor listrik sebagai penggerak. Seperti perahu dan kapal, Kapal-kapal Indonesia umumnya menggunakan motor diesel sebagai penggerak. Motor diesel tersebut didapat dari mobil *truck* yang sudah tidak beroperasi. Kapal-kapal yang bertenaga listrik hanya digunakan untuk keperluan tertentu saja, misalnya kapal SAR (*Search and Resque*), kapal pesiar, kapal selam, dan kapal perang.

Motor diesel tidak hanya mengkonsumsi bahan bakar, tetapi juga menyebabkan polusi udara sebagai akibat dari emisi gas buang dari motor. Efisiensi motor diesel terbilang rendah. Selain itu, motor diesel juga menimbulkan getaran-getaran dan suara bising. Oleh sebab itu, hanya tersisa sedikit energi yang terkonversi menjadi energi gerak. Berbeda halnya dengan motor listrik, rugi-rugi energi yang paling utama pada motor listrik adalah energi panas.

“Lima tahun lagi, mobil listrik diperkirakan akan kompetitif seperti kendaraan bermotor bensin atau diesel.” Demikian dikatakan oleh Menteri Energi Amerika Serikat Prof. Dr. Steven Chu. Oleh karena itu, motor listrik adalah salah satu alternatif penggerak

kapal. Motor listrik DC membutuhkan sumber listrik untuk bekerja. Diperkirakan sumber listrik arus searah telah mengalami perkembangan yang pesat sehingga kapasitasnya bertambah dan harganya semakin murah. Pengoperasian motor listrik juga bukan menjadi masalah yang rumit. Bahkan ada keunggulan dari motor listrik DC yang motor diesel tidak dapat melakukan keunggulan ini, yakni putaran motor listrik dapat diatur sedemikian sehingga motor tersebut bergerak sesuai dengan yang diinginkan. Bisa jadi pengaturan kecepatan dan torsi motor menggunakan roda gigi (gear box). Oleh karena itu, sehubungan dengan banyaknya keunggulan dari penggunaan motor listrik tersebut, maka akan diadakan penelitian tentang penggunaan motor listrik DC sebagai penggerak *speedboat*.

### 1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang yang telah dipaparkan, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Seberapa kapasitas motor DC yang diperlukan untuk menggerakkan *speedboat*.
2. Bagaimana pengaruh torsi terhadap arus dan putaran dari motor DC.
3. Seberapa kapasitas akumulator yang diperlukan untuk memberikan suplai daya ke motor DC.

### 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini sesuai dengan rumusan masalah, maka ditentukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Motor listrik yang digunakan sebagai penggerak *speedboat* adalah motor DC *shunt* yang dicatu oleh baterai.
2. Baterai yaitu dapat menyimpan ulang energi listrik (*rechargeable*).
3. Pengujian motor DC *shunt* disimulasikan dengan software MATLAB.
4. Tidak membahas simulasi transien motor DC.

### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengkajian penggunaan motor listrik DC sebagai penggerak *speedboat* dengan membuat simulasi sehingga dapat menentukan motor listrik yang sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik dari *speedboat*.

## 1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan penggunaan motor listrik sebagai penggerak *speedboat* yang tidak menggunakan bahan bakar.

## 1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam penelitian ini disusun sebagai berikut:

**BAB I:** Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika pembahasan.

**BAB II:** Berisi tentang tinjauan pustaka yang digunakan sebagai dasar penelitian yang akan dilakukan, meliputi: Prinsip kerja dan karakteristik motor diesel sebagai penggerak *speedboat*. Data penelitian motor listrik sebagai penggerak *speedboat*. Prinsip kerja dan karakteristik motor DC *shunt*. Pengendalian dan penggunaan motor DC beserta kapasitas motor DC. Karakteristik baterai sebagai penyuplai motor DC.

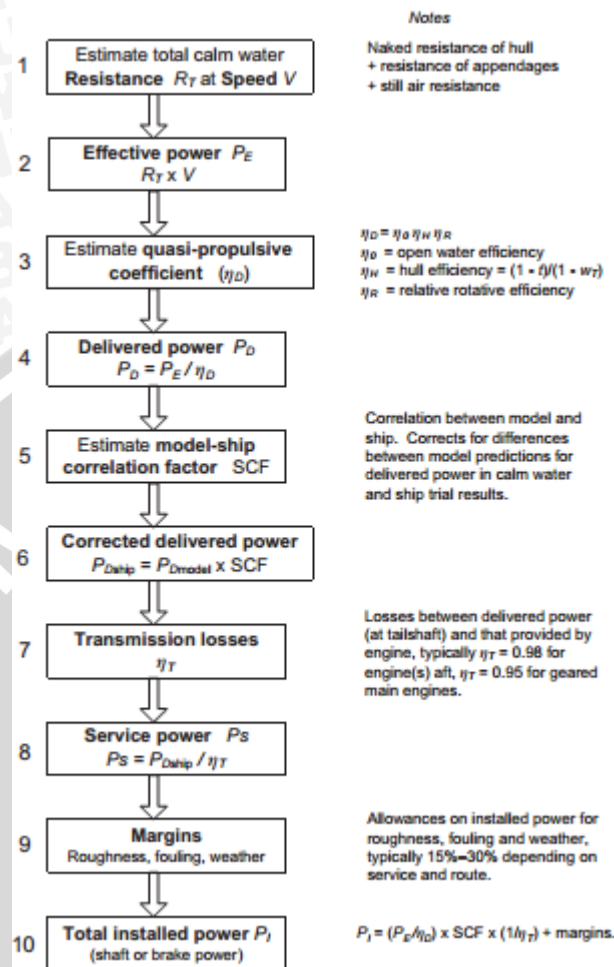
**BAB III:** Memberikan penjelasan tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini yang terdiri dari metode studi literatur, pengambilan data, perhitungan data, analisa data dan simulasi data, serta pengambilan kesimpulan.

**BAB IV:** Perhitungan kapasitas motor DC *shunt* sebagai penggerak *speedboat*. Pengaruh torsi terhadap kecepatan motor listrik DC *shunt*. Perhitungan kapasitas baterai.

**BAB V:** Berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis dan saran.



seperti Gambar 2.2. Sehingga pada akhirnya akan diketahui seberapa besar kapasitas motor yang akan digunakan sebagai penggerak kapal.



Gambar 2. 2 Komponen-komponen perkiraan daya kapal

Sumber: Molland, 2011: 10.

Pembahasan berikut ini memfokuskan pada performa kapal dan penggerak, bagaimana tahanan  $R$  dan Gaya dorong  $T_p$  dapat diperkirakan. Komponen utama daya dapat disebut sebagai daya efektif  $P_E$  untuk mendorong badan kapal pada air tenang adalah: (Molland, 2011: 3)

$$P_E = R_T \times V_S \quad (2.1)$$

Dengan  $R_T$ : Tahanan total (kN)

$V_S$ : Kecepatan kapal (m/s)

$P_E$ : Daya efektif (kW)

Efisiensi penggerak  $\eta$  akan menunjukkan daya terkirim  $P_D$ .

$$P_D = P_E / \eta_D \quad (2.2)$$

Dengan  $P_D$ : Daya terkirim (kW)

$\eta_D$ : efisiensi penggerak

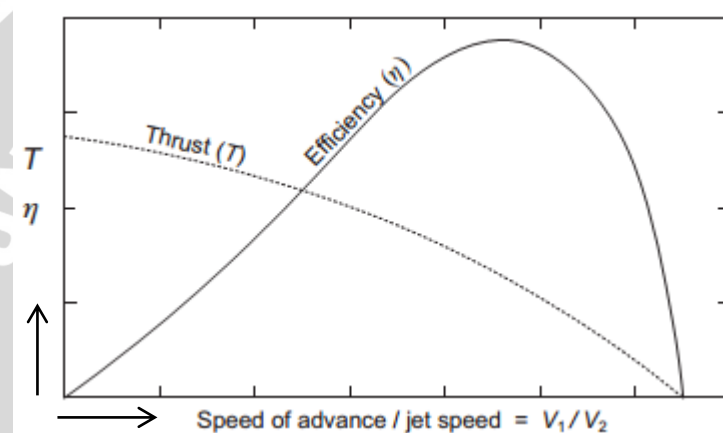


Semua penggerak bekerja pada prinsip memberikan momentum kepada fluida. Kecepatan fluida yang bergerak melalui propulsor bertambah dari  $v_1$  ke  $v_2$ . Gaya dorong  $T_p$  yang dihasilkan adalah:

$$T = \dot{m}(v_2 - v_1)$$

Dengan  $\dot{m}$  : massa per unit waktu

Penggerak kapal yang menggunakan motor diesel, membutuhkan Gaya dorong  $T_p$  yang tinggi untuk menggerakkan kapal dari keadaan diam. Kemudian  $T$  berkurang sedikit saat terjadi penambahan kecepatan  $v_1$  yang sedikit. Sehingga saat kecepatan maksimum  $v_1=v_2$ , Gaya dorong  $T_p$  yang dibutuhkan adalah nol. Gambar 2.3 menunjukkan karakteristik Gaya dorong  $T_p$  dan efisiensi penggerak kapal terhadap rasio kecepatan  $v_1/v_2$ .



Gambar 2. 3 Karakteristik propulsor

Sumber: Molland, 2011: 247.

Mesin diesel paling sering digunakan sebagai penggerak kapal dagang. Efisiensi mesin telah dikembangkan selama 20 tahun silam. Mesin diesel dapat dibagi berdasarkan kecepatan putarnya. Kecepatan rendah (90-130 rpm), kecepatan sedang (400-600 rpm), dan kecepatan tinggi (1000-1800 rpm). Dimensi kapal ditentukan dengan panjang, lebar, tinggi. Sedangkan *displacement* dapat ditentukan sesuai besar konstanta blok: (Molland, 2011: 313)

$$\nabla = LBT_k C_B$$

Dengan  $\nabla$ : displacement

L: Panjang kapal (m)

B: Lebar kapal (m)

$T_k$ : Tinggi kapal (m)

$C_B$ : Konstanta blok

Besar tahanan kapal dapat diketahui melalui nomor Froude  $Fr$  dan Reynold  $Re$ . Tahanan total terdiri dari penjumlahan antara tahanan gesek, tahanan residu, tahanan udara: (MAN Diesel&Turbo, 2011: 11)

$$R_T = R_F + R_R + R_U \quad (2.3)$$

Dengan  $R_F$ : Tahanan gesek (kN)

$R_R$ : Tahanan residu (kN)

$R_U$ : Tahanan udara (kN)

Ketika kapal bergerak pada kecepatan tertentu, maka baik air atau udara memberikan tekanan  $P$  sesuai dengan hukum Bernoulli  $\frac{1}{2}\rho V_S^2$ . Gaya yang bekerja adalah perkalian tekanan  $P$  dengan luas  $S$ . Gaya  $R_F$  ditentukan dari perkalian antara gaya gesek dengan konstanta gesek  $C_F$ : (Karlssen, 2012: 8)

$$R_F = \frac{1}{2} C_F \rho_w S V_S^2 \quad (2.4)$$

Dengan  $V_S$ : kecepatan kapal (m/s)

$S$ : Luas lambung kapal di bawah permukaan air (m<sup>2</sup>)

$C_F$ : Konstanta gesek

$\rho_w$ : Massa jenis air (ton/m<sup>3</sup>)

Konstanta gesek dapat ditentukan dari nomor Reynold: (Karlssen, 2012: 8)

$$C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2}\rho_w S V_S^2} = f(R_n) \quad (2.5)$$

$$R_n = V_S L / \nu \quad (2.6)$$

Dengan  $\nu$ : Viskositas air (m<sup>2</sup>/s)

(Molland, 2011: 39)

$V_S$ : Kecepatan kapal

$L$ : Panjang kapal

Massa jenis air dan udara dapat dilihat di Tabel 2.1. Sedangkan viskositas air dan udara dapat dilihat di Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Massa jenis air payau, air garam, dan udara

Temperature, °C		10	15	20
Density kg/m <sup>3</sup>	FW	1000	1000	998
	SW	1025	1025	1025
[Pressure = 1 atm]	Air	1.26	1.23	1.21

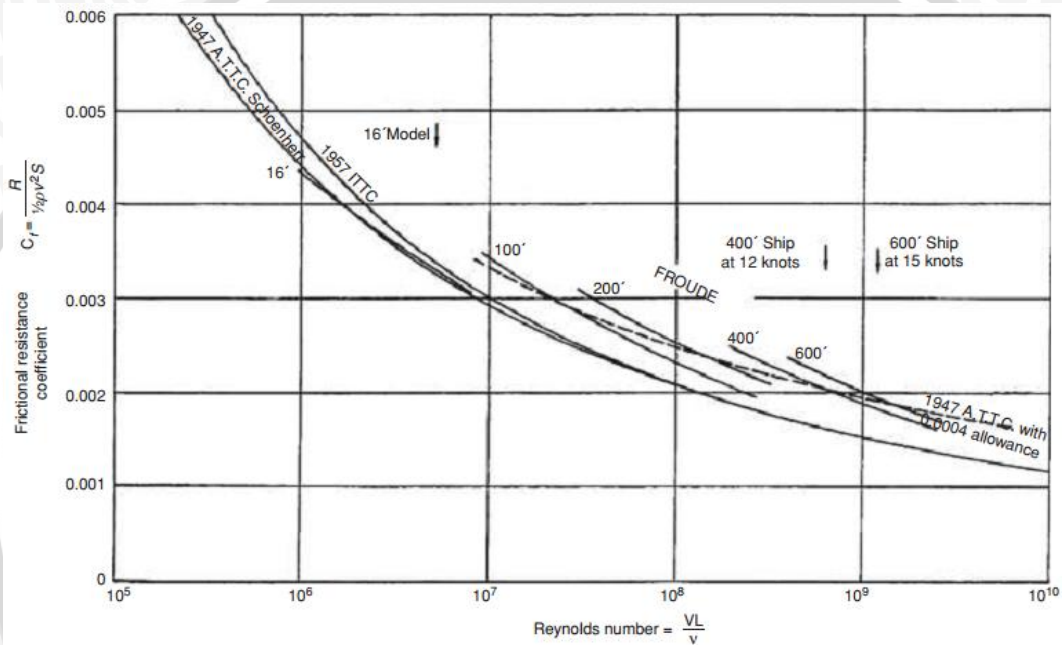
Sumber: Molland, 2011: 474.

Tabel 2. 2 Viskositas air payau, air garam, dan udara

Temperature, °C		10	15	20
Kinematic viscosity m <sup>2</sup> /s	10 <sup>-6</sup>	1.30	1.14	1.00
	10 <sup>-6</sup>	1.35	1.19	1.05
[Pressure = 1 atm]	10 <sup>-6</sup>	1.42	1.46	1.50

Sumber: Molland, 2011: 475.

Terdapat beberapa standar untuk menentukan konstanta gesek melalui nomor Reynold. Standar yang biasa digunakan adalah ITTC 1957.  $C_F$  fungsi dari nomor Reynold dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Perbandingan dari perbedaan formula gesek

Sumber: Molland, 2011: 75.

Tahanan residual air  $R_R$  adalah: (Karlssen, 2012: 8)

$$R_R = \frac{1}{2} C_R \rho_w S V_S^2 \quad (2.7)$$

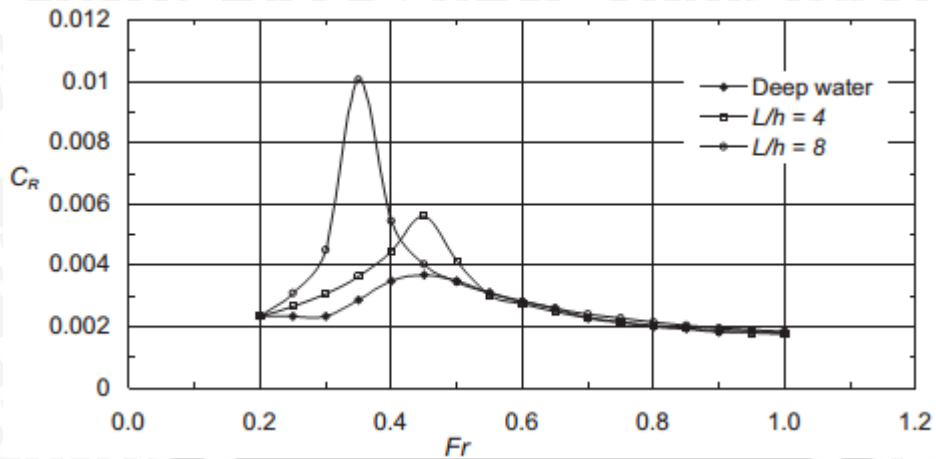
Konstanta residu  $C_R$  dapat ditentukan sesuai dengan nomor Froude: (Karlssen, 2012: 9)

$$C_R = \frac{R_R}{\frac{1}{2} \rho_w S V_S^2} = f(F_n) \quad (2.8)$$

$$F_n = \frac{V_S}{gL} \quad (2.9)$$

Dengan  $g$ : Percepatan gravitasi = 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Konstanta residu  $C_R$  dipengaruhi oleh perbandingan panjang kapal  $L$  dengan kedalaman air  $h$  seperti terlihat Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Pengaruh kedalaman air pada tahanan

Sumber: Molland, 2011: 100.

Tahanan udara  $R_U$  dapat adalah: (Karlssen, 2012: 9)

$$R_U = \frac{1}{2} C_D \rho_A A_P V_W^2 \tag{2.10}$$

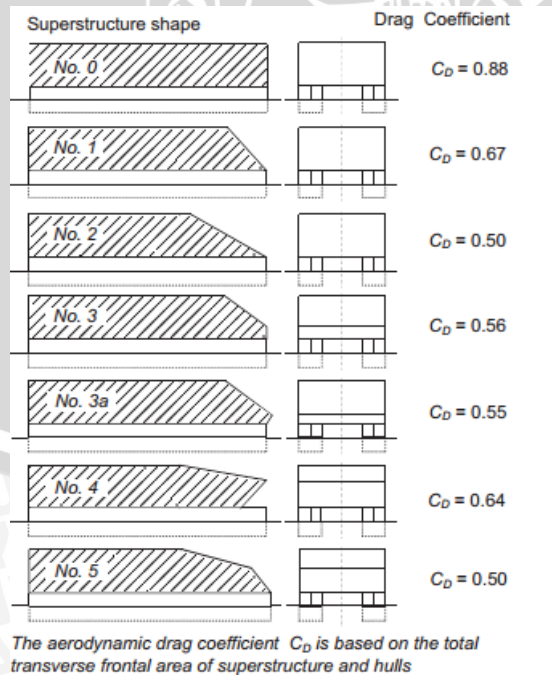
Dengan  $\rho_A$ : Massa jenis udara ( $\text{ton/m}^3$ )

$C_D$ : Konstanta udara (0,9).

$A_P$ : Luas badan kapal melawan udara ( $\text{m}^2$ )

$V_w$ : Kecepatan udara (m/s)

Ada perkiraan lain untuk menentukan konstanta udara, yaitu berdasarkan luas bagian yang terkena udara seperti terlihat pada Tabel 2.3 atau Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Koefisien udara pada struktur kapal feri cepat

Sumber: Molland, 2011: 49.

Tabel 2. 3 Perkiraan koefisien udara berdasarkan area depan

Item	$C_D$
Square plates	1.1
Two-dimensional plate	1.9
Square box	0.9
Sphere	0.5
Ellipsoid, end on ( $Re \times 10^5$ )	0.16

Sumber: Molland, 2011: 46.

Total fraksi laju air  $w_T$  adalah sebagai berikut: (Molland, 2011: 144)

$$w_T = \frac{(V_S - V_{ad})}{V_S} \quad (2.11)$$

Dengan  $V_S$ : Kecepatan kapal

$V_{ad}$ : Kecepatan air setelah melewati lambung kapal (m/s).

Biasanya total fraksi laju air  $w_T$  adalah 0.20-0.40 dengan potensial laju air 0.08-0.12, gesekan laju air 0.09-0.23, gelombang laju air 0.03-0.05. (Molland, 2011: 146)

Suhu mempengaruhi pergerakan udara. Daerah tertentu mempunyai kecepatan udara tertentu, sehingga mempengaruhi besarnya konstanta udara. Kecepatan udara dapat dilihat menggunakan skala Beaufort pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Skala Beaufort

Beaufort number $BN$	Description	Limits of speed		Approximate wave height (m)
		knots	m/s	
0	Calm	1	0.3	-
1	Light air	1-3	0.3-1.5	-
2	Light breeze	4-6	1.6-3.3	0.7
3	Gentle breeze	7-10	3.4-5.4	1.2
4	Moderate breeze	11-16	5.5-7.9	2.0
5	Fresh breeze	17-21	8.0-10.7	3.1
6	Strong breeze	22-27	10.8-13.8	4.0
7	Near gale	28-33	13.9-17.1	5.5
8	Gale	34-40	17.2-20.7	7.1
9	Strong gale	41-47	20.8-24.4	9.1
10	Storm	48-55	24.5-28.4	11.3
11	Violent storm	56-63	28.5-32.6	13.2
12	Hurricane	64 and over	32.7 and over	-

Sumber: Molland, 2011: 49.

Konstanta lanjut propeller  $J$  adalah: (Molland, 2011: 95)

$$J = \frac{V_{ad}}{n_p d} = \frac{V_S(1-w_T)}{n_p d} \quad (2.12)$$

Dengan  $n_p$ : Putaran propeller (rps)

$d$ : Diameter propeller (m)

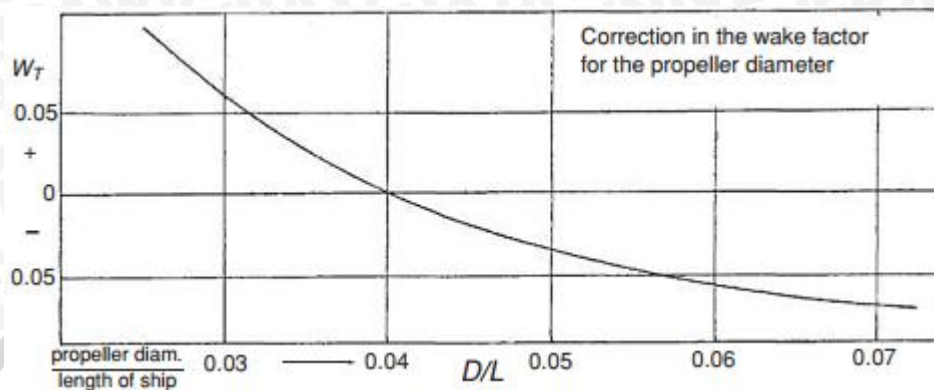
Dari persamaan 2.12:

$$w_T = 1 - \frac{V_{ad}}{V_s} = 1 - \frac{ndJ}{ndJ_b} = 1 - \frac{J}{J_b} \quad (2.13)$$

Menurut Taylor total fraksi laju air  $w_T$ : (Molland, 2011: 156)

$$w_T = 0.5C_B - 0.05 \quad (2.14)$$

Diameter propeller yang digunakan juga ditentukan dari Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Fraksi laju air untuk kapal *single-screw*

Sumber: Molland, 2011: 157.

Faktor deduksi dorong  $t$  adalah: (Molland, 2011: 145)

$$t = \frac{(T - R_T)}{T}$$

atau

$$T = \frac{R_T}{(1-t)} \quad (2.15)$$

Untuk lambung *single-screw* pendekatan faktor deduksi dorongnya adalah:

(Molland, 2011: 158)

$$t = k_R w_T \quad (2.16)$$

Dengan  $k_R$ : antara 0.5 (sirip kemudi tipis) dan 0.7 (sirip kemudi tebal).

(Molland, 2011: 158)

Komponen koefisien *quasi-propulsive* adalah: (Molland, 2011: 256)

$$\eta_D = \eta_0 \eta_H \eta_R \quad (2.17)$$

Dengan  $\eta_0$ : Efisiensi *open water*

$\eta_H$ : Efisiensi lambung

$\eta_R$ : Efisiensi rotasi relatif

Efisiensi *open-water* dari propeller tergantung pada diameter propeller ( $D$ ), Rasio *pitch* ( $P/D$ ), dan putaran (rpm). Untuk ketetapan parameter propeller  $\eta_0$  dapat dipertimbangkan sebagai: (Molland, 2011: 256)

$$\eta_0 = \eta_a \eta_{dr} \eta_f$$

Dengan  $\eta_a$  adalah efisiensi ideal berdasarkan prinsip momentum axial untuk jumlah bilah terbatas.  $\eta_{dr}$  jumlah rugi dikarenakan rugi gesek *drag*. Biasanya disarankan mengambil nilai komponen tersebut pada beban dorong moderat, dengan  $\eta_a = 0.8$ ,  $\eta_{dr} = 0.95$ ,  $\eta_f = 0.85$ . maka  $\eta_0 = 0.646$ . Penurunan komponen tersebut penting karena upaya penghematan dapat ditingkatkan, seperti pre- atau post-swirl untuk meningkatkan  $\eta_{dr}$ , atau pembuatan permukaan propeller untuk meningkatkan  $\eta_f$ . (Molland, 2011: 256)

$\eta_0$  juga dapat ditentukan dari berbagai nilai konstanta, sebagai berikut: (Molland, 2011: 267)

$$\eta_0 = \frac{JK_T}{2\pi K_Q} \quad (2.18)$$

Dengan  $J$ : Konstanta lanjut  $= \frac{v_{ad}}{n_{pd}}$

$K_T$ : Konstanta dorong

$K_Q$ : Konstanta torsi

Dengan koefisien dorong  $K_T$  dan koefisien  $K_Q$  torsi sebagai berikut: (Molland, 2011: 377)

$$K_T = K_{T0} \left(1 - \left(\frac{J}{a}\right)^n\right) \quad (2.19)$$

$$K_Q = K_{Q0} \left(1 - \frac{J}{b}\right)^m \quad (2.20)$$

Efisiensi *open water*  $\eta_0$  juga dapat ditentukan setelah diketahui nilai koefisien *advance*  $J$ , dengan melihat Gambar 2.8. karakteristik *open water* sebagai berikut:

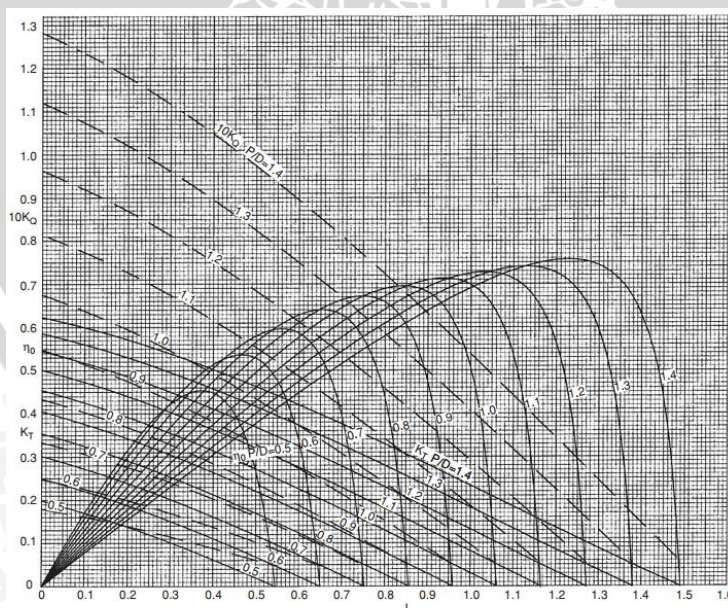


Figure 16.4.  $K_T - K_Q$  characteristics for Wageningen B4.70 propeller (Courtesy of MARIN).

Gambar 2. 8  $K_T - K_Q$  untuk propeller wageningen B4.70 (courtesy of marin)

Sumber: Molland, 2011: 374.

Cara menggunakan grafik diatas adalah:

- Buka grafik (B4.40 Gambar 2.8) misalnya pada  $J = 0.512$
- Baca  $P/D$  yang sesuai, dari  $K_T (=0.162)$  yang didapat,  $= 0.79$
- Baca  $\eta_0$  yang sesuai, dari  $P/D$  yang didapat,  $= 0.588$
- Baca  $K_Q$  yang sesuai, dari  $P/D$  yang didapat,  $= 0.0225$ .

Dari Gambar 2.8, diperoleh data rasio *pitch* seri wageningen B4.70 dapat seperti terlihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Koefisien  $K_T$  dan  $K_Q$ , persamaan (2.20, 2.23), B470

$P/D$	$K_{T_0}$	$a$	$n$	$K_{Q_0}$	$b$	$m$
0.5	0.200	0.55	1.15	0.0180	0.70	1.18
0.6	0.250	0.65	1.20	0.0250	0.79	1.18
0.7	0.300	0.75	1.20	0.0332	0.86	1.20
0.8	0.352	0.86	1.20	0.0433	0.95	1.23
0.9	0.405	0.96	1.20	0.0545	1.03	1.29
1.0	0.455	1.06	1.20	0.0675	1.12	1.29
1.1	0.500	1.16	1.21	0.0810	1.22	1.30
1.2	0.545	1.27	1.21	0.0960	1.32	1.31

Sumber: Molland, 2011: 378.

Efisiensi rotasi relatif  $\eta_R$  adalah sebagai berikut: (Molland, 2011: 155)

$$\eta_R = \frac{\eta_b}{\eta_0} = \frac{J_0 K_{Tb} 2\pi K_{Q_0}}{2\pi K_{Qb} J_0 K_{T_0}} = \frac{K_{Tb} K_{Q_0}}{K_{T_0} K_{Qb}} \quad (2.21)$$

$$T_P = K_T \rho_w d^4 n_p^2 \quad (2.22)$$

$$Q_P = K_Q \rho_w d^5 n_p^2 \quad (2.23)$$

$$P_P = 2\pi n_p Q_P = 2\pi K_Q \rho_w d^5 n_p^3 \quad (2.24)$$

Pada kapal dengan satu propeller, efisiensi rotasi relatif pada keadaan normal antara 1.0 hingga 1.07 (MAN: Diesel&Turbo, 2011: 16). Skala efisiensi rotasi relatif biasanya dari 0.95-1.05 dan sering digunakan untuk kesatuan tujuan persiapan desain (Molland, 2011: 411). Dengan kombinasi  $w_T$  dan  $t$ ,  $\eta_R$  mungkin sering digunakan untuk menentukan hasil tes model tank ke teori.

Untuk efisiensi lambung, didefinisikan sebagai berikut: (Molland, 2011: 411)

$$\eta_H = \frac{1-t}{1-w_T} \quad (2.25)$$

Sedangkan faktor korelasi kapal/faktor beban: (Molland, 2011: 86)

$$SCF = 1.2 - \frac{\sqrt{L}}{48}$$



Tabel 2. 6 Nilai faktor korelasi kapal SCF(1+x)

$L_{BP}$ (m)	122	150	180	240	300
Froude friction line	0.97	0.93	0.90	0.86	0.85
ITTC friction line	1.17	1.12	1.08	1.04	1.02

Note: for  $L < 122$  m, SCF = 1.0 assumed.

Sumber: Molland, 2011: 86.

Tabel 2. 7 Tabel Konversi

1 m = 3.28 ft	1 kg = 2.205 lb	1 mile/hr = 1.61 km/hr
1 km = 1000 m	1 kgne = 1000 kg	1 knot = 1 Nm/hr
1 ft = 12 in.	1 kg = 2240 lb	1 knot = 0.5144 m/s
1 mile = 5280 ft	1 lb = 4.45 N	1 HP = 0.7457 kW
1 nautical mile (Nm) = 6078 ft	1 lbs/in. <sup>2</sup> = 6895 N/m <sup>2</sup>	1 UK gal = 2.236 litres
1 in. = 25.4 mm	1 bar = 14.7 lbs/in. <sup>2</sup>	Fr = 0.2974 $V_K/\sqrt{L_f}$

Sumber: Molland, 2011: xx.

## 2.2 Penelitian *Speedboat*

Hadi, dkk. melakukan penelitian tentang *speedboat* katamaran di Pantai Gunung Kidul. Mereka mendefinisikan *speedboat* merupakan kategori kapal cepat yang mempunyai kecepatan lebih yang digunakan oleh petugas dalam rangka memberikan pertolongan bila terjadi kecelakaan, dan atau inspeksi/pemeriksaan di pantai, sungai, danau dan penyeberangan. Karakteristik *speedboat* sebagai berikut: (Hadi, 2012: 6)

- Digunakan untuk membantu kelancaran operasional di alur pantai, sungai, danau dan penyeberangan.
- Mempunyai olah gerak yang baik.
- Kapal mempunyai ukuran dan berat yang kecil dan terbuat dari fibreglass yang ringan.
- Kecepatan dapat mencapai 20 knot atau lebih.
- Area navigasi pada suatu kawasan yang tidak lebih dari radius 30 mil dari garis pantai.

Basir, dkk. meneliti kapal THE GANERS (*The Garbage Cleaners Ship*) yang merupakan inovasi teknologi pembersih sampah yang mengambil prinsip Kapal Trimaran

(Tiga Lambung) untuk digunakan di Teluk Jakarta. Pertimbangan ukuran dari kapal tersebut berdasarkan standar dari klasifikasi BKI adalah sebagai berikut:

- Tinggi  $T = 2,5$  m
- Panjang  $L = 6$  m
- Lebar  $B = 2$  m
- Kecepatan maksimal  $V_s = 5$  knot

Tabel 2. 8 Spesifikasi mesin

Spesifikasi Mesin			
<b>Motor Penggerak</b>	12 Volt DC, 5 HP	<b>Kecepatan</b>	7 Knot
<b>Sistem Kecepatan</b>	Variabel	<b>Berat Mesin</b>	20 Kg
<b>Sistem Baterai</b>	10 A - 20 A DC output (Charging)	<b>Panjang</b>	30 cm
<b>Baterai</b>	Lead Acid, 2 x 65 Ah, 12 Volt	<b>Lebar</b>	30 cm
<b>Gear Box (Transmisi)</b>	Terkopel langsung dengan perbandingan 1 : 10		

Sumber : Idham A.M. Basir, 2010: 86.

Sudiyono (2008) dalam penelitian mereka juga telah mendesain kapal wisata untuk melayani rute pariwisata di kota Surabaya yang memakai motor listrik sebagai penggerak kapal wisata mereka. Waktu pengisian baterai dari solar sell 3,3 jam pada kondisi baterai kosong sampai penuh. Data kapal tersebut:

- Panjang garis air  $L_{wl} = 3,01$  m
- Lebar  $B = 1,38$  m
- Tinggi  $T = 0,27$  m
- Kecepatan kapal  $V_s = 3$  knot

Pada penelitian Kajian Aplikasi Sel Surya sebagai Sumber Tenaga Penggerak Kapal yang ditulis oleh Chandra, dkk. Kapal tersebut diuji di Pulau Bidadari, daerah utara Pantai Ancol. Spesifikasi kapal yang dipakai adalah:

- *Displacement*:  $\nabla = 0.969$  ton
- Volume:  $V = 0.946$  m<sup>3</sup>
- Kecepatan kapal:  $V_s = 7$  knot
- Panjang garis air:  $L_{wl} = 7.89$  m
- Area garis air:  $S = 4.59$  m<sup>2</sup>
- Luas daerah melintang:  $A = 0.158$  m<sup>2</sup>

- Konstanta blok:  $C_B = 0.567$
- Kedalaman kapal terbenam air:  $h = 0.3$  m

Tim Solar Boat dari ITS membuat kapal tenaga surya "Jalapatih" untuk perlombaan di daerah sungai sepanjang 200 km. Daerah pengujian kapal di sungai sekitar ITS. Berikut adalah data kapal:

- Tegangan Baterai : 12 V
- Amp H Baterai : 10 Ah
- Jumlah Baterai : 8 buah
- Dimensi utama: 5 x 1.5 x 0.6 x 0.25 (panjang x lebar x tinggi x T)
- Berat: 450 kg tanpa awak
- Daya Motor : Motor DC Torqueedo 1003L 2kW
- Putaran Motor : 1200 rpm
- Tegangan Motor : 24 V
- Arus motor pada kecepatan maksimal : 83 A
- Kecepatan maksimal: 8 knot atau 14.4 km/jam
- Efisiensi Modul Surya : 19.3%
- Propeler : B3 (15 cm)

*Speedboat* memiliki bermacam-macam spesifikasi sesuai dengan kebutuhan yang ditunjukkan oleh *all4solar* dalam "Australia, New Zealand, Asia, Pasific Project references for advanced electric boat propulsion" sistem.

Dari data-data tersebut *speedboat* memiliki:

- Kecepatan antara 4-20 knot.
- Kecepatan putar antara 1200-3000 rpm.
- Daya motor listrik antara 1.8-30 kW.
- Tegangan kerja motor listrik antara 48-244 V.

### 2.3 Prinsip Kerja Motor DC

Sebuah persamaan dapat diturunkan untuk tahanan terinduksi dalam sebuah konduktor yang bergerak dalam sebuah medan magnet. Polaritas tegangan terinduksi dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan sekrup. Jika sebuah konduktor bergerak pada kecepatan linier dalam sebuah medan magnet, tegangan terinduksi pada konduktor adalah: (Sen, 1997: 122)

$$e = B l v \quad (2.26)$$

Dengan  $B$ : Medan magnet

$l$ : Panjang konduktor

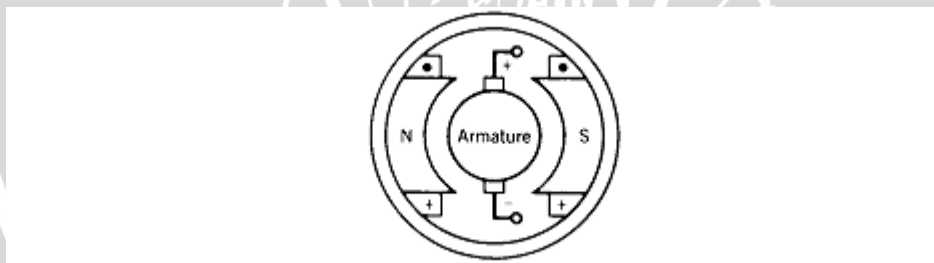
$v$ : Kecepatan linier

Untuk konduktor yang teraliri arus, Arah gaya ditentukan dengan menggunakan kaidah tangan kanan sekrup, gaya Lorentz yang dihasilkan pada konduktor adalah: (Sen, 1997: 123)

$$f = B l i \quad (2.27)$$

Dengan  $i$ : Arus mengalir pada konduktor

Ada dua bagian utama dari mesin: stator dan rotor. Stator adalah bagian dari mesin tidak bergerak, umumnya bingkai luar mesin. Rotor adalah bagian dari mesin bebas bergerak, umumnya bagian dalam mesin. Beberapa konduktor diletakkan pada alur dari stator atau rotor untuk membentuk belitan. Belitan dengan tegangan dapat terinduksi disebut belitan *armature* (jangkar). Belitan yang dialiri arus untuk menghasilkan sumber primer dari medan pada mesin disebut belitan *field* (medan). Permanen magnet digunakan pada beberapa mesin untuk menghasilkan medan. Pada mesin dc, belitan medan diletakkan pada stator dan belitan jangkar pada rotor. Belitan ini ditunjukkan Gambar 2.9. Arus dc mengalir melalui belitan medan untuk menghasilkan *flux* pada mesin.



Gambar 2. 9 Skematik mesin DC untuk 2 kutub

Sumber: Sen, *Principles of Electric Machines and Power Electronic*, 1997.

Tegangan terinduksi pada belitan jangkar adalah tegangan bolak-balik. Sebuah komutator mekanik dan sebuah sikat menghimpun fungsi sebagai penyearah atau pembalik, sehingga tegangan terminal jangkar menjadi satu arah.

Selama jangkar berputar pada medan magnet yang dihasilkan oleh kutub stator, dihasilkan tegangan terinduksi pada belitan jangkar. Kita dapat memulai dengan memperhatikan tegangan terinduksi pada lilitan disebabkan perubahan *flux* (hukum Faraday). Misalnya sebuah lengkung terdiri dari dua konduktor, maka tegangan terinduksi dari persamaan 2.27 adalah: (Sen, 1997: 137)

$$e_t = 2B(\theta)l\omega_m r \quad (2.28)$$

Dengan  $l$ : Panjang konduktor pada alur jangkar

$\omega_m$ : Kecepatan mekanik

$r$ : Jari-jari jangkar

Nilai rata-rata dari tegangan terinduksi adalah

$$\bar{e}_t = 2\overline{B(\theta)}l\omega_m r \quad (2.29)$$

$$\overline{B(\theta)} = \frac{\Phi}{A} = \frac{\Phi p}{2\pi r l} \quad (2.30)$$

Dengan  $\Phi$ : Flux tiap kutub

$A$ : Area tiap kutub =  $2\pi r l / p$

Dari persamaan 2.29 dan 2.30,

$$\bar{e}_t = \frac{\Phi p}{\pi} \omega_m \quad (2.31)$$

Tegangan terinduksi pada semua lengkung terhubung seri untuk satu jalur parallel melewati sikat positif dan negatif akan berpengaruh pada tegangan terminal  $E_a$ , maka:

$$E_a = \frac{N}{a} \bar{e}_t \quad (2.32)$$

Dengan  $N$ : Jumlah lengkung pada belitan jangkar

$a$ : Jumlah jalur parallel

dari persamaan 2.31 dan 2.32,

$$E_a = \frac{Np}{\pi a} \Phi \omega_m$$

$$E_a = K_a \Phi \omega_m$$

Dengan  $K_a$ : Konstanta jangkar =  $\frac{Np}{\pi a} = \frac{Zp}{2\pi a}$

$Z$ : Jumlah total konduktor pada belitan jangkar

Atau

$$E_a = K_a \Phi 2\pi n_m \quad (2.33)$$

$$n_m = \frac{E_a}{2\pi \Phi K_a} \quad (2.34)$$

Jika  $\Phi$  dalam weber dan  $\omega_m$  dalam radian per detik, maka  $E_a$  dalam volt. Persamaan tegangan induksi pada belitan jangkar sesuai dengan operasi dari mesin. Pada generator disebut sebagai tegangan terbangkitkan. Pada motor disebut sebagai *emf* balik.

Ada variasi metode untuk menurunkan torsi pada jangkar (ketika belitan jangkar dialiri arus pada medan magnet dihasilkan oleh kutub stator). Tetapi, metode sederhana dengan menggunakan gaya Lorentz.

Jika dua konduktor diletakkan dibawah dua kutub bersebelahan, maka gaya pada konduktor jangkar adalah: (Sen, 1997: 138)

$$f_c = B \theta l i_c = B \theta l \frac{I_a}{a} \quad (2.35)$$

Dengan  $i_c$ : arus konduktor belitan jangkar

$I_a$ : arus terminal jangkar

Torsi yang dihasilkan konduktor adalah

$$T_c = f_c r \quad (2.36)$$

Rerata torsi yang dihasilkan sebuah konduktor adalah

$$\bar{T}_c = \overline{B(\theta)} l \frac{I_a}{a} r \quad (2.37)$$

Dari persamaan 2.30 dan 2.36,

$$\bar{T}_c = \frac{\Phi p I_a}{2\pi a} \quad (2.38)$$

Semua konduktor pada belitan jangkar menghasilkan torsi dengan arah yang sama dan berpengaruh terhadap rerata torsi. Total torsi yang dihasilkan:

$$T = 2N\bar{T}_c \quad (2.39)$$

Dari persamaan 2.37 dan 2.38,

$$T = \frac{Np}{\pi a} \Phi I_a = K_a \Phi I_a \quad (2.40)$$

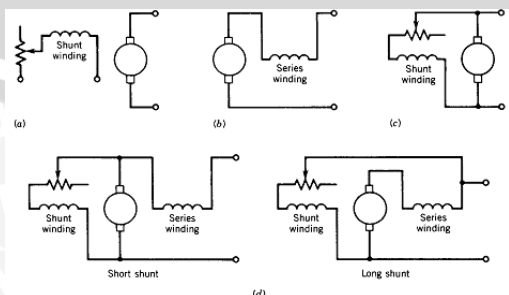
Atau

$$I_a = \frac{T}{K_a \Phi} \quad (2.41)$$

Pada motor, dengan mengabaikan rugi poros terhadap bantalan, daya jangkar ( $E_a I_a$ ) ke medan magnet dengan sistem elektrik sama dengan daya mekanik ( $T\omega_m$ ). Dari persamaan 2.33 dan 2.39,

$$P_a = E_a I_a = T\omega_m = K_a \Phi I_a \omega_m \quad (2.42)$$

Variasi hubungan rangkaian medan dan jangkar ditunjukkan Gambar 2.10.



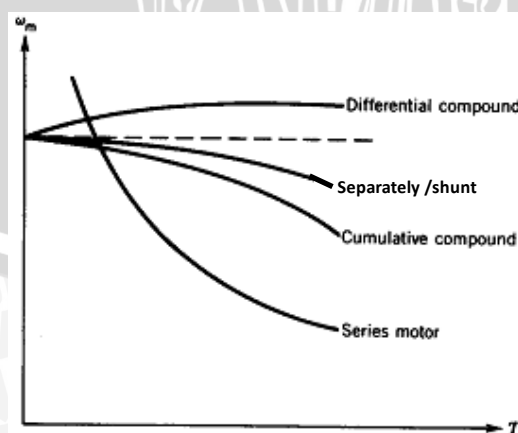
Gambar 2. 10 Mesin dc. (a) Penguat terpisah. (b) Seri. (c) Shunt. (d) Kompon

Sumber: Sen, 1997: 145.

Pada mesin dc penguat terpisah (Gambar 2.10a), belitan medan diberi penguatan dari sumber terpisah. Pada mesin dc penguat sendiri, belitan medan dapat dihubungkan tiga cara berbeda. Belitan medan dapat dihubungkan seri dengan belitan jangkar (Gambar 2.10b), menghasilkan mesin dc seri. Belitan medan dapat dihubungkan berseberangan dengan belitan jangkar, menghasilkan mesin dc *shunt* (Gambar 2.10c). Bisa juga keduanya digunakan, menghasilkan mesin dc kompon (Gambar 2.10d). Jika belitan *shunt* dihubungkan parallel dengan belitan jangkar, maka disebut kompon pendek. Jika belitan *shunt* dihubungkan parallel dengan belitan jangkar dan belitan seri yang terhubung seri, maka disebut kompon panjang. Tidak ada perbedaan yang signifikan pada kedua hubungan tersebut seperti pada Gambar 2.10d. Pada motor kompon, *mmf* belitan seri dapat membantu atau melawan *mmf* belitan medan *shunt*. Sehingga menghasilkan performa karakteristik berbeda.

Rangkaian medan dan jangkar dapat dihubungkan dalam cara bervariasi untuk menghasilkan performa karakteristik yang luas—sebuah keuntungan lebih dari mesin dc. Kutub medan dapat dihasilkan dengan dua belitan medan, belitan medan *shunt* dan belitan medan seri. Belitan *shunt* mempunyai jumlah lengkung banyak dan hanya membutuhkan arus kecil kurang dari 5% arus jangkar (Sen, 1997: 144). *Shunt* karena belitan medan dihubungkan parallel dengan belitan jangkar. Seri karena belitan medan dihubungkan seri dengan belitan jangkar. Rheostat umumnya dipasang pada rangkaian belitan *shunt*, untuk mengatur arus medan dan dengan demikian *mmf* medan bervariasi. Penguat medan juga dapat menggunakan magnet permanen, menghasilkan penguatan konstan. Bentuk ini dapat dipertimbangkan sebagai mesin penguat terpisah.

Karakteristik torsi-kecepatan dari berbagai motor dc ditunjukkan pada Gambar 2.11. Motor seri menghasilkan karakteristik variasi kecepatan dalam skala luas.

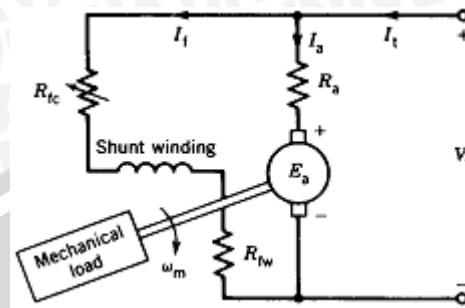


Gambar 2. 11 Karakteristik torsi-kecepatan dari motor dc yang berbeda

Sumber: Sen, 1997: 181.

### 2.3.1 Motor DC Shunt

Sebuah diagram skematik dari motor dc *shunt* ditunjukkan pada Gambar 2.12. Arus jangkar  $I_a$  dan kecepatan motor  $\omega_m$  tergantung dari beban mekanik yang terhubung ke as motor.



Gambar 2. 12 Rangkaian ekivalen motor dc *shunt*

Sumber: Sen, 1997: 168.

Rangkaian jangkar dan rangkaian medan *shunt* dihubungkan berseberangan dengan sebuah sumber dc dengan tegangan konstan  $V_t$ . Sebuah rheostat external ( $R_{fc}$ ) digunakan dalam rangkaian medan untuk mengatur kecepatan dari motor. Motor mendapat daya dari sumber dc, oleh karena itu  $I_t$  mengalir ke mesin dari terminal positif sumber dc. Karena rangkaian medan dan rangkaian jangkar dihubungkan ke sumber dc tegangan konstan, hubungan untuk penguat terpisah dan penguat *shunt* sama. Perilaku dari rangkaian medan tergantung dari rangkaian jangkar. Persamaan operasi *steady-state* motor dc *shunt* adalah sebagai berikut: (Sen, 1997: 168)

$$\begin{aligned} E_a &= K_a \Phi \omega_m \\ I_t &= I_a + I_f \end{aligned} \quad (2.43)$$

$$V_t = I_a R_a + E_a$$

Atau

$$E_a = V_t - I_a R_a \quad (2.44)$$

Persentasi rugi tergantung dari ukuran dari mesin dc. Skala persentasi rugi ditunjukkan pada Gambar 2.13 adalah untuk mesin dc pada skala 1 sampai 100 kW atau 1 sampai 100 hp. Mesin yang lebih kecil mempunyai persentasi rugi yang lebih besar, sedangkan mesin yang lebih besar mempunyai persentasi rugi yang lebih kecil. Efisiensi dari mesin adalah:

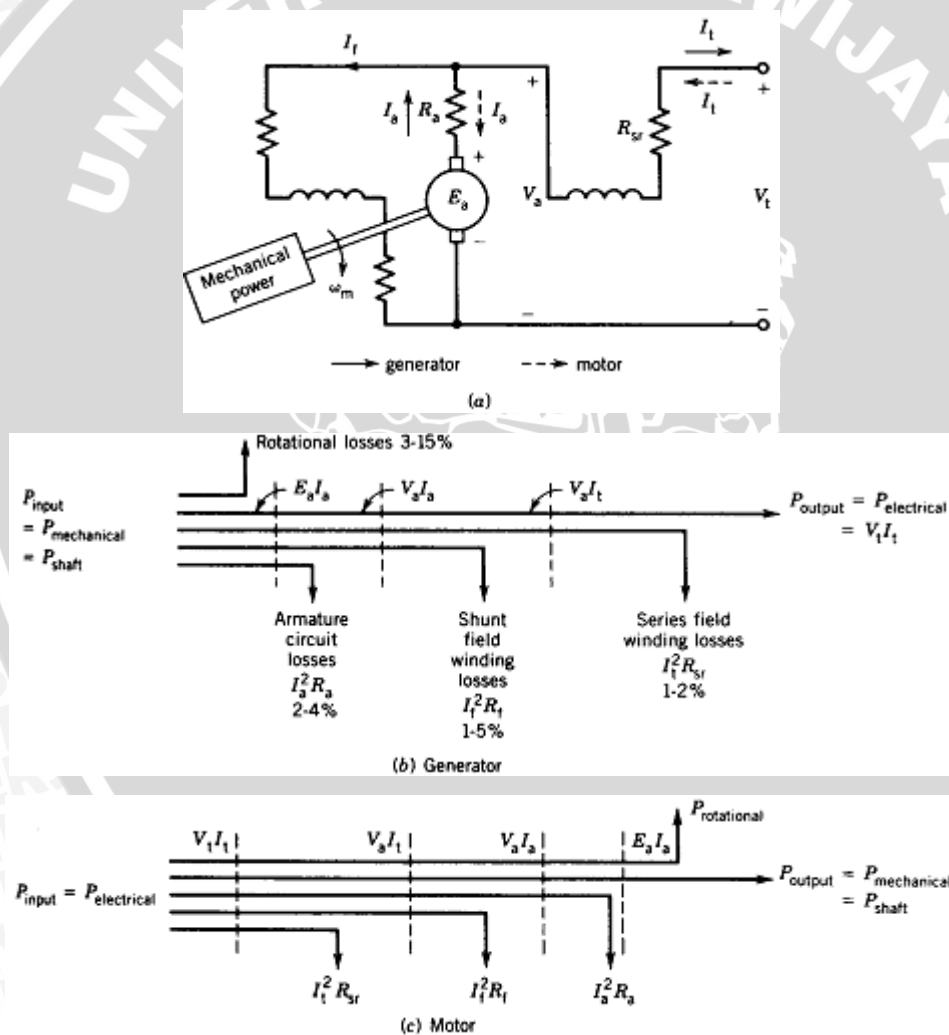
$$\eta_m = \frac{P_{output}}{P_{input}} = \frac{E_a I_a}{V_t I_t} \quad (2.45)$$



Pada banyak aplikasi, motor dc digunakan untuk menggerakkan beban mekanik. Beberapa aplikasi membutuhkan kecepatan konstan selama perubahan beban mekanik terpasang ke motor. Dengan kata lain, beberapa aplikasi membutuhkan kecepatan yang dapat dikontrol dalam skala luas. Teknisi yang berkeinginan menggunakan motor dc untuk aplikasi tertentu harus mengetahui hubungan antara torsi dan kecepatan dari sebuah mesin. (Sen, 1997: 174)

Aliran daya pada mesin dc ditunjukkan Gambar 2.13. Variasi rugi-rugi pada mesin terlihat dan nilainya sebagai persentasi dari daya masuk yang ditunjukkan. Mesin dc kompon pendek dipertimbangkan sebagai sebuah contoh.

Daya tersisa digunakan sebagai keluaran daya listrik. Variasi daya dan rugi dalam motor ditunjukkan pada Gambar 2.13c.



Gambar 2. 13 Rugi daya pada mesin dc

Sumber: Sen, 1997: 169.

Dengan operasi sebagai generator (Gambar 2.13b), daya masuk adalah daya mekanik diturunkan dari *prime mover*. Bagian dari daya masuk adalah rugi rotasional yang dibutuhkan untuk memutar mesin melawan celah udara dan gesekan (rugi inti rotor juga termasuk dalam rugi rotasional).

Sisa dari daya terkonversi menjadi daya listrik  $E_a I_a$ . Sebagian daya ini hilang dalam  $R_a$  (yang termasuk rugi sikat), sebagian hilang dalam  $R_f (=R_{fc} + R_{fw})$ , dan sebagian hilang dalam  $R_{sr}$ .

Anggap motor dc penguat terpisah ditunjukkan Gambar 2.14. Tegangan, arus, kecepatan, dan torsi terhubung sebagai berikut: (Sen, 1997: 174)

$$E_a = K_a \Phi \omega_m = V_t - I_a R_a$$

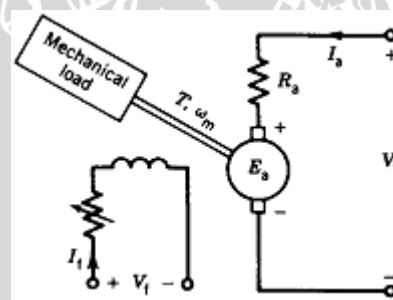
$$T = K_a \Phi I_a$$

Dari kedua persamaan di atas, dengan mengabaikan 2Es, kecepatan adalah:

$$\omega_m = \frac{V_t - I_a R_a}{K_a \Phi} \quad (2.46)$$

Dari persamaan 2.41 & 2.46,

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{R_a}{(K_a \Phi)^2} T \quad (2.47)$$



Gambar 2. 14 Motor dc penguat terpisah

Sumber: Sen, 1997: 174.

Penurunan pada kecepatan terhadap penambahan torsi adalah kecil, menghasilkan pengaturan kecepatan yang bagus. Pada mesin sebenarnya, *flux*  $\phi$  akan bertambah karena reaksi jangkar sebagai  $T$  atau  $I_a$ , sehingga penurunan kecepatan akan berkurang. Reaksi jangkar menambah pengaturan kecepatan pada sebuah motor dc.

Persamaan 2.47 menyarankan pengaturan kecepatan dalam mesin dc dapat diperoleh dengan metode sebagai berikut: (Sen, 1997: 175)

- 1 Pengaturan tegangan terminal ( $V_t$ )
- 2 Pengaturan medan ( $\phi$ )
- 3 Pengaturan tahanan jangkar ( $R_a$ )

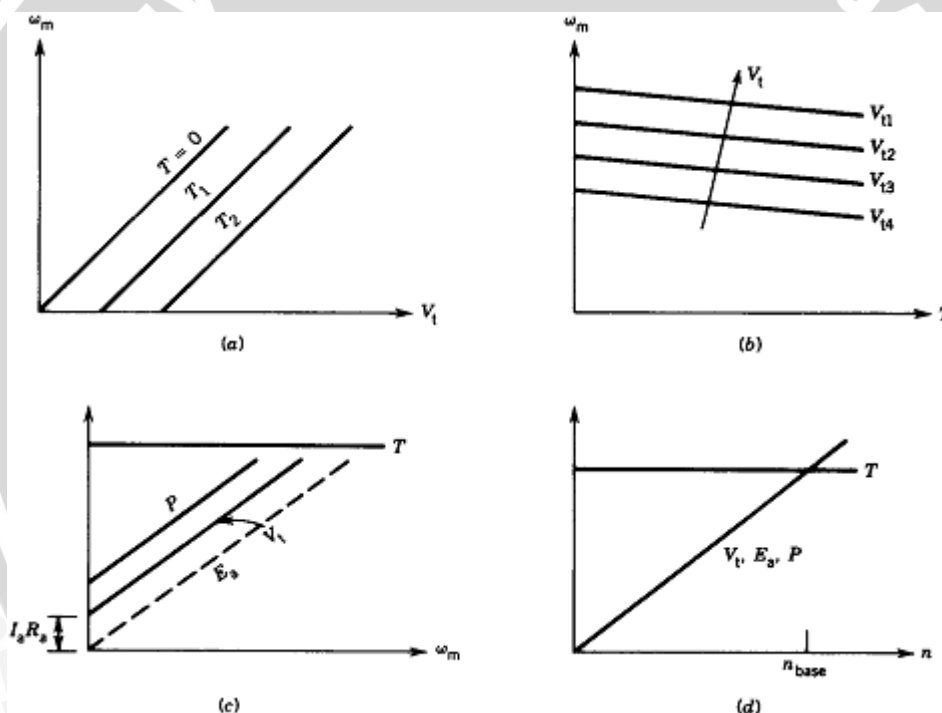
Dalam kenyataannya, kecepatan dalam sebuah mesin dc bertambah jika  $V_t$  bertambah dan berkurang jika  $(\phi)$  atau  $R_a$  bertambah. Pada metode penaturan tegangan jangkar, tahanan jangkar ( $R_a$ ) tetap tidak berubah, arus medan  $I_f$  dijaga konstan (umumnya pada nilai nominal), dan tegangan terminal jangkar bervariasi untuk mengubah kecepatan. Jika reaksi jangkar diabaikan, dari pers 4.48.

$$\omega_m = K_1 V_t - K_2$$

$$\text{Dengan } K_1 = 1/K_a \phi$$

$$K_2 = R_a / (K_a \phi^2)$$

Untuk torsi yang konstan, seperti aplikasi pada elevator atau *hoist crane*, kecepatan akan berubah secara linier dengan  $V_t$  ditunjukkan Gambar 2.15a. Jika tegangan terminal dijaga konstan dan torsi beban bervariasi, kecepatan dapat diatur dengan  $V_t$  ditunjukkan Gambar 2.15b.



Gambar 2. 15 Pengaturan tegangan jangkar motor dc. (a) Variasi kecepatan. (b) Pengaturan kecepatan. (c) Operasi dibawah torsi konstan. (d) Operasi  $R_a=0$

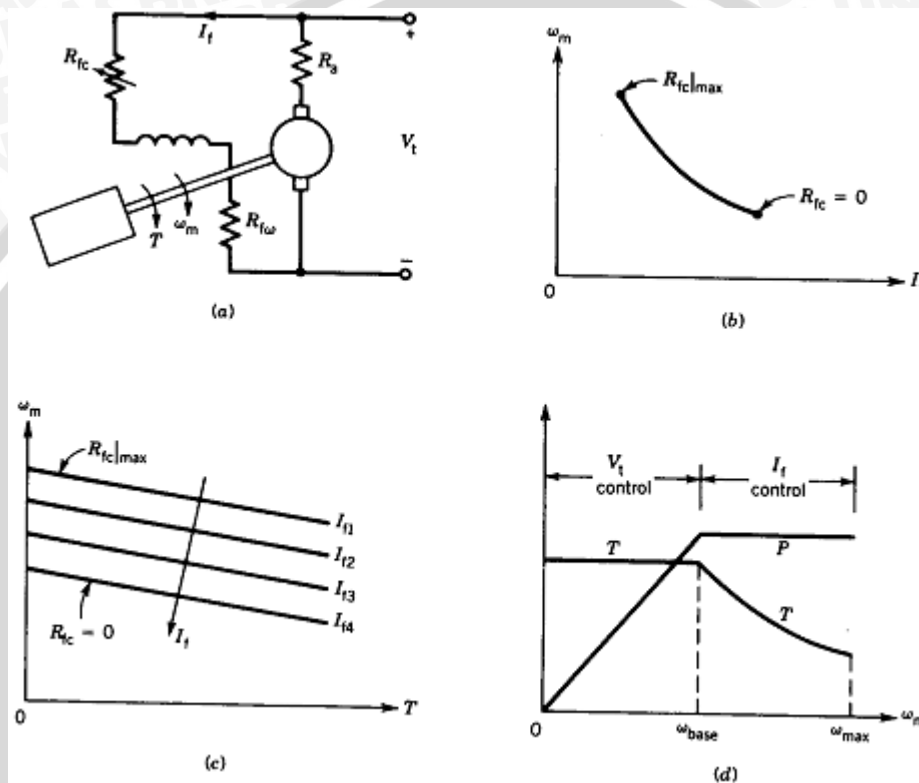
Sumber: Sen, 1997: 176.

Dalam aplikasi nyata, ketika kecepatan berubah dengan mengubah tegangan terminal, arus jangkar dijaga konstan (butuh operasi loop tertutup). Jika  $I_a$  konstan,  $E_a$  sebanding dengan  $V_t$ , sebanding dengan  $\omega_m$ .

Pada metode pengaturan medan, tahanan jangkar ( $R_a$ ) dan tegangan terminal  $V_t$  tetap konstan dan kecepatan diatur dengan mengubah arus rangkaian medan ( $I_f$ ). Pada umumnya diperoleh dengan menggunakan rangkaian rheostat medan ( $R_{fc}$ ) ditunjukkan

pada Gambar 2.16a. Kecepatan bervariasi berkebalikan dengan arus medan ditunjukkan pada Gambar 2.16b. terlihat bahwa jika arus rangkain medan mencapai nol, kecepatan menjadi sangat berbahaya tinggi.

Pada nilai  $I_f$  tertentu, kecepatan tetap konstan pada level dimana torsi bertambah. Level kecepatan dapat diatur dengan  $I_f$  seperti Gambar 2.16c. Seperti kontrol tegangan jangkar, kontrol medan dapat menghasilkan variasi kecepatan sama baik dengan operasi pengaturan kecepatan.



Gambar 2. 16 Pengaturan medan

Sumber: Sen, 1997: 177.

Jika diasumsikan linearitas magnetic, *flux* pada mesin ( $\phi$ ) akan setara dengan arus medan ( $I_f$ ). Oleh karena itu: (Sen, 1997: 177)

$$K_a \Phi = K_f I_f$$

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_f I_f} - \frac{R_a}{(K_f I_f)^2} T$$

Untuk kondisi tanpa beban,  $T=0$ ,

$$\omega_m \approx \frac{V_t}{K_f I_f}$$

Untuk nilai  $I_f$  tertentu,

$$\omega_m = K_3 - K_4 T$$

Dengan  $K_3 = V_t/K_f I_f$  merepresentasikan kecepatan tanpa beban

$$K_4 = R_a / (K_f I_f)^2$$

Pengaturan kecepatan dari nol ke kecepatan dasar biasanya diperoleh dengan pengaturan tegangan jangkar ( $V_t$ ). Pengaturan kecepatan diatas kecepatan dasar diperoleh dengan mengurangi arus medan, disebut pelemahan medan. Pada kecepatan dasar, tegangan terminal jangkar pada nilai nominalnya. Jika arus jangkar tidak melebihi arus nominal (batas pemanasan), pengaturan kecepatan diatas kecepatan terhalang daya konstan, disebut sebagai operasi daya konstan. Dengan mengabaikan rugi poros terhadap bantalan, maka:

$$P = V_t I_a, \text{ constant} \approx E_a I_a$$

$$T \omega_m = E_a I_a$$

$$T = \frac{E_a I_a}{\omega_m} \approx \frac{\text{constant}}{\omega_m}$$

Torsi berkurang dengan kecepatan dalam daerah pelemahan medan. Keterangan dari pengaturan tegangan jangkar (operasi torsi konstan) dan pengaturan medan (operasi daya konstan) ditunjukkan Gambar 2.16d.

Pengaturan medan sederhana untuk diterapkan dan lebih murah, karena pengaturan pada tingkat daya rendah dari rangkaian medan. Tetapi, karena besarnya induktansi pada rangkaian medan, perubahan arus medan akan lambat, yang akan menghasilkan respon lambat pada kecepatan.

Pada metode pengaturan tahanan jangkar tegangan terminal jangkar  $V_t$  dan arus medan  $I_f$  ( $\phi$ ) dijaga konstan pada nilai nominalnya. Kecepatan diatur dengan mengubah tahanan dalam rangkaian jangkar. Rangkaian rheostat jangkar  $R_{ae}$ , seperti pada Gambar 2.17a, digunakan untuk tujuan ini.,

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{R_a + R_{ae}}{(K_a \Phi)^2} T$$

Jika  $V_t$  dan  $\phi$  tetap tidak berubah,

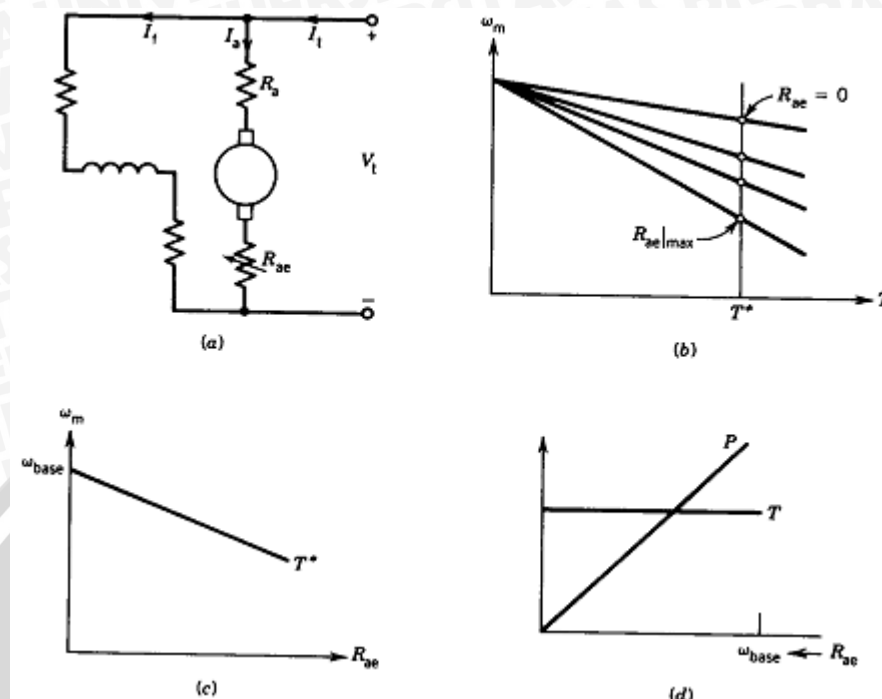
$$\omega_m = K_5 - K_6 T$$

Dengan  $K_5 = V_t / K_a \phi$  menunjukkan kecepatan tanpa beban

$$K_6 = \frac{R_a + R_{ae}}{(K_a \Phi)^2}$$

Karakteristik kecepatan-torsi untuk variasi nilai tahanan rangkaian jangkar external ditunjukkan pada Gambar 2.17b. nilai dari  $R_{ae}$  dapat diatur untuk memperoleh variasi kecepatan selama arus jangkar  $I_a$  (torsi  $T = K_a \phi I_a$ ) tetap konstan. Gambar 2.17b menunjukkan variasi nilai  $R_{ae}$  yang dibutuhkan untuk operasi pada nilai torsi tertentu,  $T^*$ .

Kurva tahanan kecepatan dapat bervariasi dari nol ke kecepatan dasar pada torsi konstan, seperti ditunjukkan Gambar 2.17d, dengan mengubah tahanan external ( $R_{ae}$ ).



Gambar 2. 17 Pengaturan tahanan jangkar

Sumber: Sen, 1997: 179.

Pengaturan tahanan jangkar sederhana untuk diterapkan. Tetapi, metode ini kurang efisien karena rugi pada  $R_{ae}$ . Banyak sistem kendaraan transit tetap menggunakan metode pengaturan ini. Tahanan  $R_{ae}$  seharusnya dirancang untuk membawa arus jangkar. Hal ini karena lebih mahal daripada rheostat ( $R_{fc}$ ) yang digunakan pada metode pengaturan medan.

### 2.3.2 Parameter Motor DC Shunt

Perancangan motor dc *shunt* membutuhkan data primer sebagai berikut: daya keluaran ( $P_m$ ), tegangan kerja ( $V_t$ ), dan kecepatan putaran ( $n_m$ ).

Kategori mesin listrik adalah sebagai berikut: (Sawhney, 1970: 6)

1. Mesin ukuran kecil. Mesin listrik yang memiliki daya keluaran hingga 750 W.
2. Mesin ukuran sedang. Mesin listrik yang memiliki daya keluaran dari sedikit kW hingga 250kW.
3. Mesin ukuran besar. Mesin listrik dengan daya keluaran 250kW hingga 5000kW.

4. Mesin ukuran lebih besar. Mesin ini untuk kebutuhan tertentu dari pelanggan dengan permintaan spesifik. Daya mencapai Megawatt.

### 2.3.3 Parameter Dimensi Utama

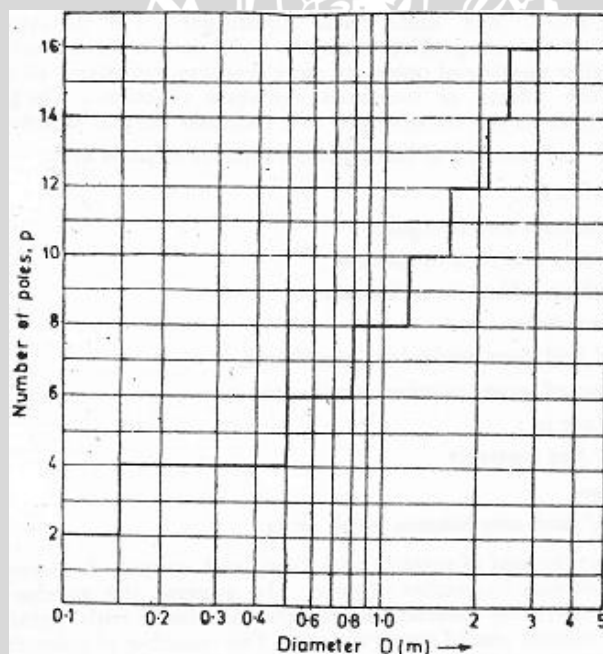
Bila merancang motor arus searah persamaan daya jangkar adalah  $P_a = P_m$  (Sawhney, 1970: 493). Jika motor DC yang akan dirancang adalah motor berdaya menengah rendah yakni dengan daya 200 – 1 kW, maka persamaannya menjadi: (Sawhney, 1970: 456)

$$P_a(W) = \frac{1+2\eta}{3\eta} P_m$$

Dengan  $\eta$ : Efisiensi motor DC

$P_m$ : Daya keluaran (W)

Untuk menentukan jumlah kutub yang dipergunakan maka dilakukan perhitungan batasan frekuensi fluksi dan arus yang mengalir per sikat. Ketentuan jumlah kutub dapat dilihat di Gambar 2.18.



Gambar 2. 18 Jumlah kutub pada mesin dc

Sumber: Sawhney, 1970: 504.

Kecepatan linier dibatasi hingga mencapai 30 m/s, (Sawhney, 1970: 468).

Persamaan kecepatan linier adalah:

$$v_a = \pi D_{maks} n_m \quad (2.48)$$

Dengan  $D_{maks}$ : Diameter motor maksimal (m)

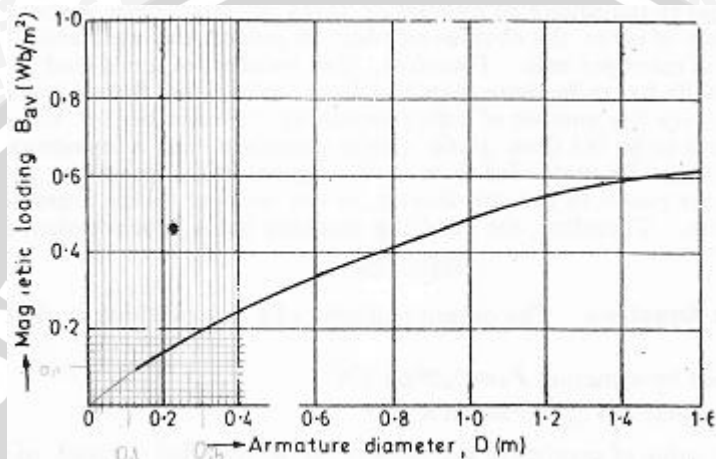
$n_m$ : Putaran motor (rps)

Nilai frekuensi ini untuk mesin arus searah umumnya mempunyai batasan antara 25 sampai dengan 50 Hz (Sawhney, 1970: 503). Persamaan frekuensi fluksi : (Sawhney, 1970: 494)

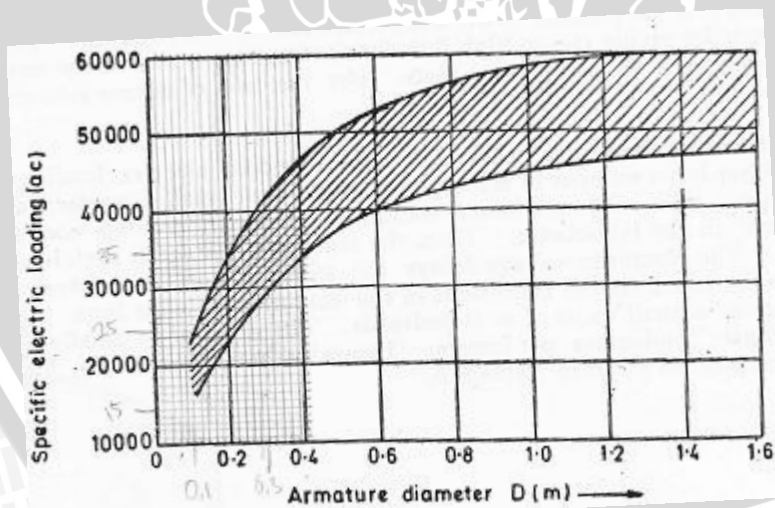
$$f(\text{Hz}) = \frac{pn_m}{2} \quad (2.49)$$

Dengan  $p$ : Jumlah kutub

Pembebanan magnetik dan elektrik ditentukan dengan menggunakan Gambar 2.19 dan Gambar 2.20.



Gambar 2. 19 Nilai spesifik untuk pembebanan magnetik  
(Sawhney, 1970: 494)



Gambar 2. 20 Nilai Spesifik dari pembebanan elektrik  
(Sawhney, 1970: 495)

Persamaan kisar kutub untuk nilai  $D_{maks}$  adalah :

$$\tau(m) = \frac{\pi D_{maks}}{p} \quad (2.50)$$



Dengan mengabaikan nilai arus medan, dianggap arus jangkar sama dengan arus terminal ( $I_a=I_t$ ), persamaan arus terminal: (Sawhney, 1970: 578)

$$I_t(A) = \frac{P_m}{\eta V_t} \quad (2.51)$$

Arus yang mengalir per sikat: (Sawhney, 1970: 501)

$$I_b(A) = \frac{2I_a}{p} \quad (2.52)$$

Arus per jalur paralel dibatasi 200 A. Arus per sikat tidak lebih dari 400 A (Sawhney, 1970: 503). Untuk menghemat pemakaian konduktor belitan medan, penampang kutub berbentuk segi empat mendekati bujur sangkar. Persamaan dari panjang dimensi utama adalah: (Sawhney, 1970: 468)

$$L = \Psi \cdot \tau = \Psi \cdot \frac{\pi \cdot D}{p} \quad (2.53)$$

Dengan  $\psi$ : Rasio busur kutub (0.64-0.72)

D: Diameter motor (m)

Nilai koefisien keluaran motor DC ( $\text{kW/m}^3\text{-rps}$ ) ini dirumuskan oleh: (Sawhney, 1970: 493)

$$C_o = \pi^2 B_{av} a c 10^{-3} \quad (2.54)$$

Daya jangkar untuk motor DC dirumuskan: (Sawhney, 1970: 493)

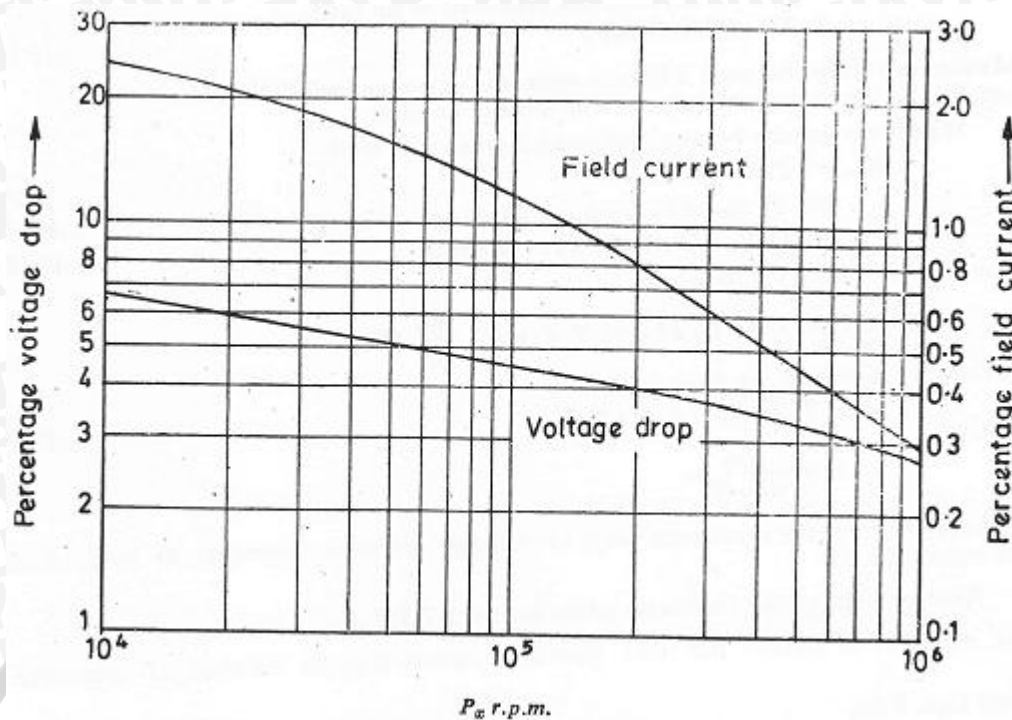
$$P_a(\text{kW}) = C_o D^2 L n_m$$

Dengan memasukkan persamaan L ke persamaan diatas, maka diperoleh nilai D menjadi:

$$D = \sqrt[3]{\frac{P_a p}{C_o \pi \psi n_m}} \quad (2.55)$$

### 2.3.4 Parameter Jangkar

Untuk menentukan persentase arus medan dan tegangan jatuh pada kumparan jangkar, terlebih dahulu menentukan hasil kali dari  $P_a$  dengan rpm motor. Gambar 9.35 (Sawhney, 1970: 521) menunjukkan persentase tegangan jatuh dan arus medan sebagai fungsi dari hasil kali  $P_a$  dengan rpm.



Gambar 2. 21 Nilai jatuh tegangan dalam dan arus medan

Sumber: Sawhney, 1970: 521.

Persamaan arus medan:

$$I_f = \%I_f I_t \tag{2.56}$$

Persamaan jatuh tegangan

$$V_{Ra} = \%V_{Ra} V_t \tag{2.57}$$

Pada semua motor, diperlukan perlindungan beban lebih. Untuk kapasitas motor lebih dari 1 hp, perlu dipasang pemutus rangkaian yang mempunyai rating kurang dari persentasi arus jangkar beban penuh (arus nominal pada nameplate) sebagai berikut: (NEMA Standards Publication MG 1-1993: hal. 7249)

- 125% untuk motor dengan faktor servis kurang dari 1.15
- 125% untuk motor dengan kenaikan temperatur kurang dari 40°C
- 115% untuk semua motor lainnya

Tegangan induksi *emf*: (Sawhney, 1970: 530)

$$E_a = V_t - V_{Ra}$$

Persamaan fluksi per kutub: (Sawhney, 1970: 530)

$$\Phi = B_{av} \tau L \tag{2.58}$$

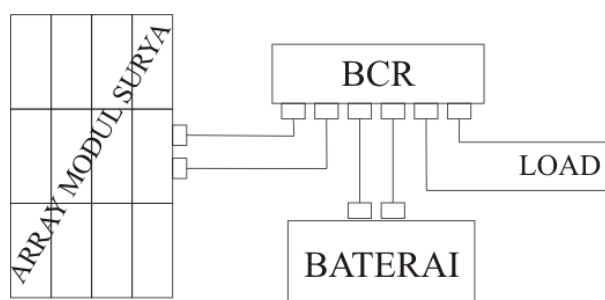
Persamaan resistansi jangkar  $R_a$ :

$$R_a = \frac{V_{Ra}}{I_a} \tag{2.59}$$



## 2.4 Kapasitas Baterai

Komponen sistem kelistrikan modul surya ditunjukkan oleh gambar 2.2. Baterai adalah komponen listrik yang mampu menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya. Baterai mengalami proses penyimpanan muatan (recharge) atau pelepasan muatan (discharge) tergantung pada keadaan sinar matahari. Cara kerja baterai adalah sel baterai timbal-asam dari komposisi yang berbeda tersuspensi dalam larutan elektrolit asam sulfat. Ketika proses discharge, molekul belerang melepas elektron dari ikatan elektrolit oleh elektroda. Ketika proses recharge, kelebihan elektron menjadi elektrolit kembali. (Anas, 2014: 10)



Gambar 2. 22 Sistem listrik modul surya

Sumber: Anas, 2014: 26.

Standar nominal baterai adalah tergantung dari nominal tegangan baterai lead-acid 2.0 V dan nikel-cadmium 1.2 V. Sedang nominal kapasitas baterai (Ah) berdasarkan nominal arus pelepasan (A) selama satu jam (h). Jika nominal tegangan baterai adalah 24 V, maka terdapat 12 sel baterai lead-acid tersusun seri, atau terdapat 19 atau 20 sel baterai nikel-cadmium tersusun seri. Daftar nominal baterai yang dapat digunakan bervariasi dari 12 V/6.5 Ah sampai dengan 24 V/65 Ah (David G. Vutetakis, 2001: Chapter 10).

Pada 1 sel baterai terdapat energi sebesar: (I. M. Gottlieb, 1994:102)

$$E_0 = C_0 V_0$$

Jika terdapat N-sel baterai, maka terdapat energi sebesar:

$$E = N C_0 V_0 \quad (2.60)$$

Jika N-sel dihubungkan seri, maka tegangan baterai menjadi:

$$V = N V_0 \quad (2.61)$$

Jika N-sel terhubung parallel, maka kapasitansi baterai menjadi:

$$C = N C_0 \quad (2.62)$$

Energi pada n-sel adalah:

$$E = (N V_0) C_0 = V C_0 \text{ n-sel terhubung seri} \quad (2.63)$$

$$E = (nC_0)V_0 = CV_0 \quad \text{n-sel terhubung parallel} \quad (2.64)$$

Jika proses pelepasan muatan dilakukan dengan lebih lama, misalnya  $C/10$ , maka baterai akan bekerja lebih lama (10 jam). Dalam praktiknya, hubungan antara kapasitansi baterai dan pelepasan muatan tidak linear, dan sedikit energi terpulihkan pada nominal pelepasan muatan yang lebih cepat.

Hukum *Peukert* menghubungkan nominal kapasitas baterai untuk melepaskan muatan: (ECEN 4517/5517: 19)

$$C_p = I^k t_e \quad (2.65)$$

Dengan  $C_p$ : kapasitas amp-jam pada nominal pelepasan muatan 1 A

$I$ : arus pelepasan muatan (A)

$t_e$ : waktu pelepasan muatan (jam)

$k$ : konstanta *Peukerts* (1.1 - 1.3)

Pada gambar 2.22, *Battery Control Regulator* BCR adalah perangkat yang mampu memutus aliran listrik dari modul surya. Kapasitas BCR tergantung dari besar arus beban. Semakin besar kapasitas BCR semakin baik sistem kelistrikan karena tidak perlu mengganti BCR apabila ada peningkatan beban. BCR juga mampu mencegah pembebanan modul surya saat modul tersebut tidak menghasilkan listrik. (Anas, 2014: 9)

Sel surya dianalogikan sebagai perangkat dengan dua terminal dimana pada kondisi gelap berfungsi sebagai diode, dan saat kondisi terang dapat menghasilkan energi listrik. Satu sel surya umumnya mengasilkan 0,5-1 V, dan arus short-circuitnya berskala miliampere/cm<sup>2</sup>. Modul surya dapat dihubung seri dan atau paralel untuk memenuhi tegangan dan arus beban. Gabungan dari sel surya dinamakan modul surya, sedang gabungan dari modul surya dinamakan *array* modul surya. Cara kerja sel surya konvensional menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor tersebut terdiri dari ikatan atom berlektron. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan electron sedang tipe-p mempunyai kelebihan *hole* dalam struktur atomnya. (Anas, 2014: 6).

Setelah menentukan kapasitas beban baterai, maka besar energi yang disuplai oleh modul surya adalah sebesar: (Chandra, 2010: 15)

$$E_{PS} = 30\% E_B \quad (2.66)$$

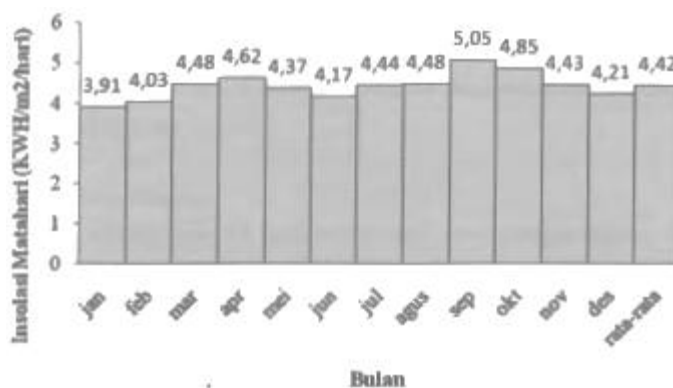
Dengan  $E_{PS}$ : Energi beban (Wh)

$E_B$ : Energi baterai (Wh)

Asumsi rugi-rugi (losses) pada sistem dianggap sebesar 15%, maka total energi sistem  $E_T$  adalah: (Chandra, 2010: 15)

$$\begin{aligned} E_T &= E_{PS} + \text{rugi-rugi sistem} \\ &= E_{PS} + 15\% E_{PS} \end{aligned} \quad (2.67)$$

Kapasitas modul surya dihitung dengan mempertimbangkan faktor kebutuhan energi, insolasi matahari, dan faktor penyesuaian. Diambil data insolasi terendah matahari (bulan Januari sebesar 3,91) dari Gambar 2.22, agar modul surya dapat memenuhi kebutuhan beban setiap saat. Berikut adalah merupakan grafik insolasi matahari untuk daerah Jakarta dalam kurun waktu satu tahun. (Chandra, 2010: 16)



Gambar 2. 23 Insolasi matahari untuk daerah Jakarta

Sumber: BMG, BPPT.

Faktor penyesuaian  $f_p$  pada kebanyakan instalasi modul surya adalah 1,1. Kapasitas modul surya  $C_{PS}$  yang dihasilkan adalah: (Chandra, 2010: 16)

$$C_{PS} = f_p \cdot (E_T / \text{insolasi matahari}) \quad (2.68)$$

Kapasitas berat  $B_S$  yang mampu dibawa oleh speedboat adalah:

$$B_S = \nabla - B_m - B_B - B_{PS} \quad (2.69)$$

Dengan  $B_S$ : berat speedboat (kg)

$\nabla$ : displacement (kg)

$B_m$ : berat motor dc (kg)

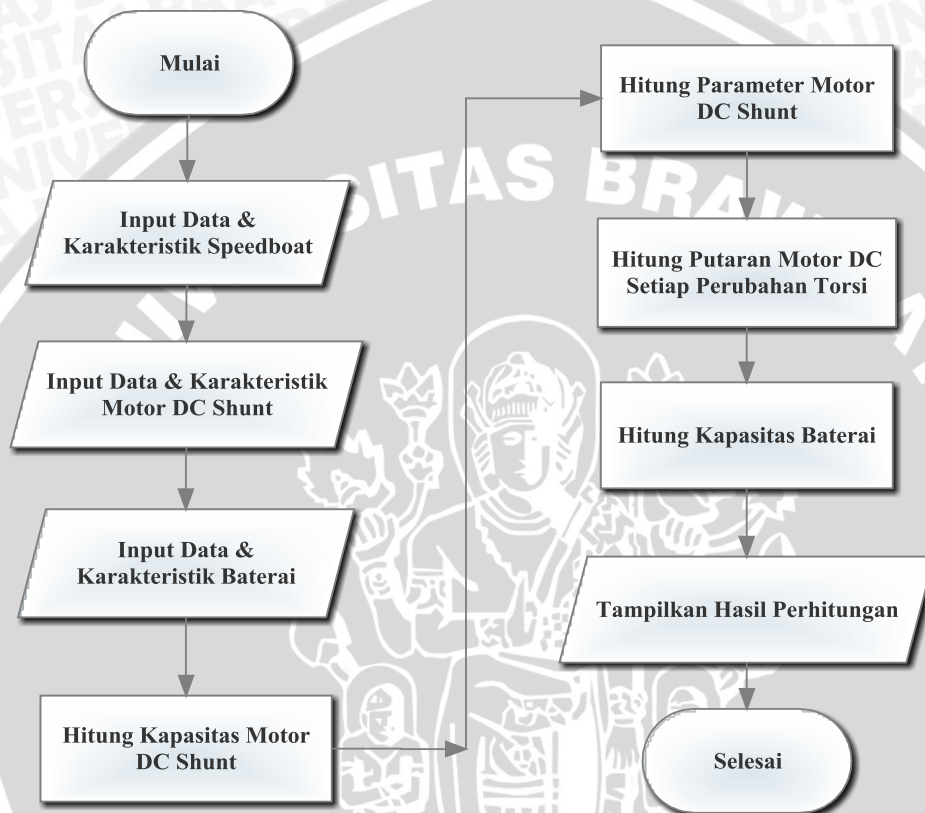
$B_B$ : berat baterai (kg)

$B_{PS}$ : berat modul surya (kg)

### BAB III

#### METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini digunakan untuk memberikan suatu alur kerangka berfikir dari penulisan. Langkah-langkah dalam analisis secara umum dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir metode pengerjaan penelitian

#### 3.1 Lokasi

Pengambilan data-data penelitian ini, dilakukan di wilayah perairan Indonesia, khususnya perairan di Pulau Jawa. Daerah pengujian di Laut Jawa (dekat pantai) adalah pantai Gunung Kidul, Teluk Jakarta, dan Pantai Ancol. Sedangkan Daerah pengujian sungai adalah sungai pariwisata Surabaya dan sungai sekitar kampus ITS.

### 3.2 Pencarian Data

Pencarian data dilakukan dengan cara mencari data sekunder, yaitu dengan mempelajari buku referensi, jurnal, skripsi, *web browsing*, dan forum-forum resmi yang menunjang dalam penyusunan skripsi.

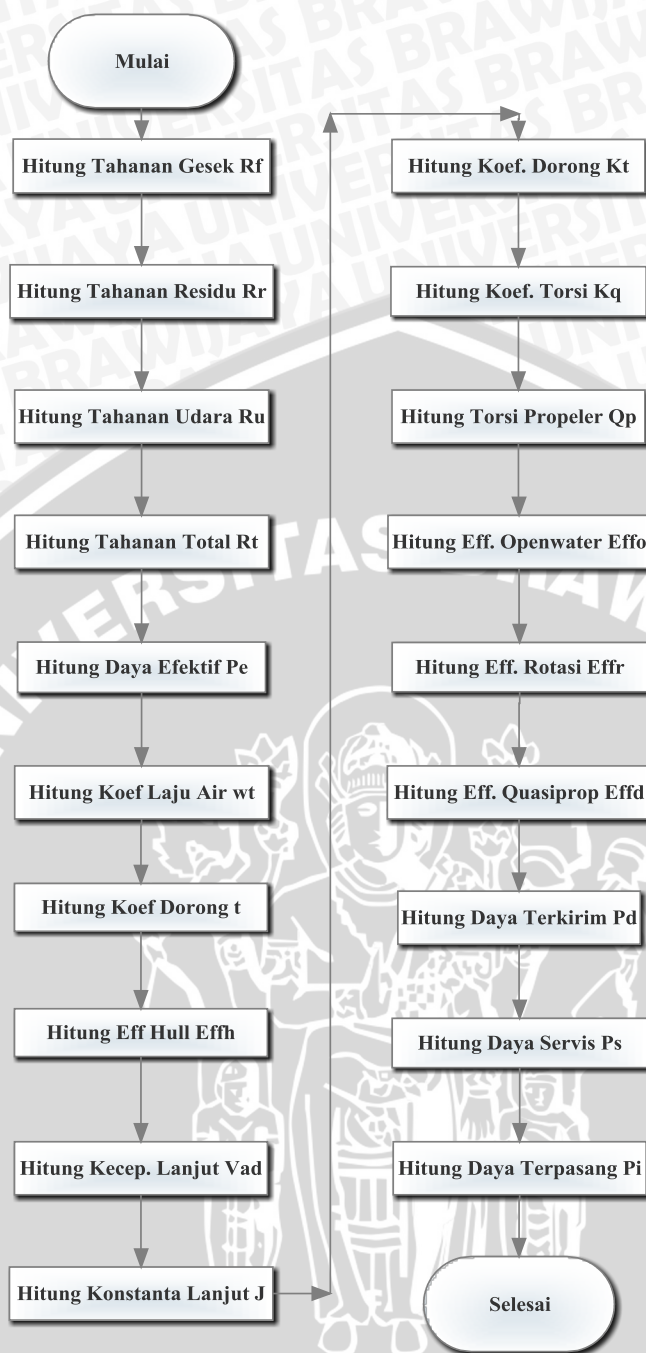
### 3.3 Pengambilan Data

Data – data yang digunakan adalah data yang bersumber dari buku referensi, jurnal, dan skripsi yang relevan dengan pembahasan skripsi. Pada skripsi ini mengambil cuplikan data dari:

- “JALAPATIH” dari tim *Solar Boat* FTK ITS 2014.
- Kapal wisata, yang disusun oleh Sudiyono dan Andoko, 2008.
- *Speedboat* Katamaran untuk SAR, yang disusun oleh Hadi, dkk., 2012.
- “THE GANERS” kapal pembersih sampah, yang disusun oleh Basir, dkk.
- Kapal sel surya, yang disusun oleh Chandra, dkk, 2010.

### 3.4 Perhitungan dan Penentuan Kapasitas Motor DC

Perhitungan kapasitas motor DC dimulai dengan menentukan dimensi utama *speedboat*. Kemudian perhitungan dilakukan dengan menggunakan langkah-langkah berurutan sesuai standar yang telah ditentukan pada buku referensi sesuai dengan gambar 3.2. Berikut adalah diagram alir menentukan kapasitas motor DC.

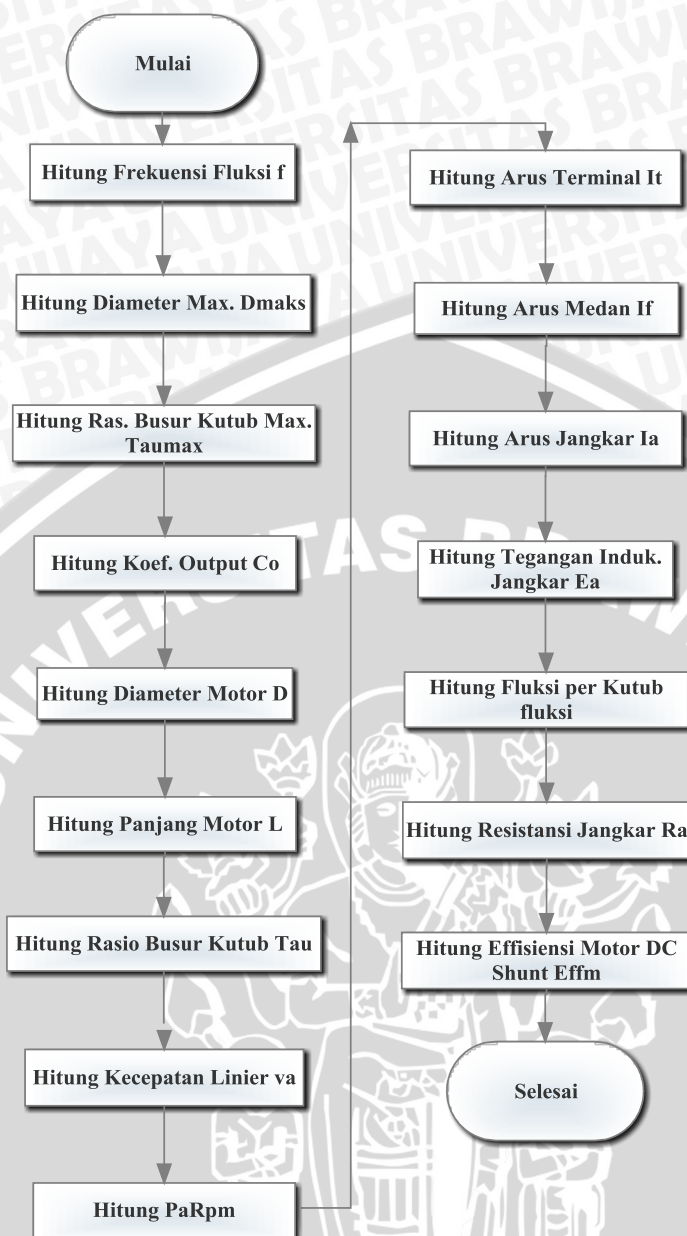


Gambar 3. 2 Diagram perhitungan kapasitas motor dc

### 3.5 Perhitungan dan Penentuan Parameter Motor DC *Shunt*

Perhitungan parameter motor DC *shunt* dilakukan dengan menentukan data utama motor. Kemudian perhitungan dilakukan secara bertahap sesuai ketentuan yang berlaku pada buku referensi seperti pada Gambar 3.3. Sehingga parameter tersebut menghasilkan kerja motor yang proporsional terhadap kebutuhan beban *speedboat*.

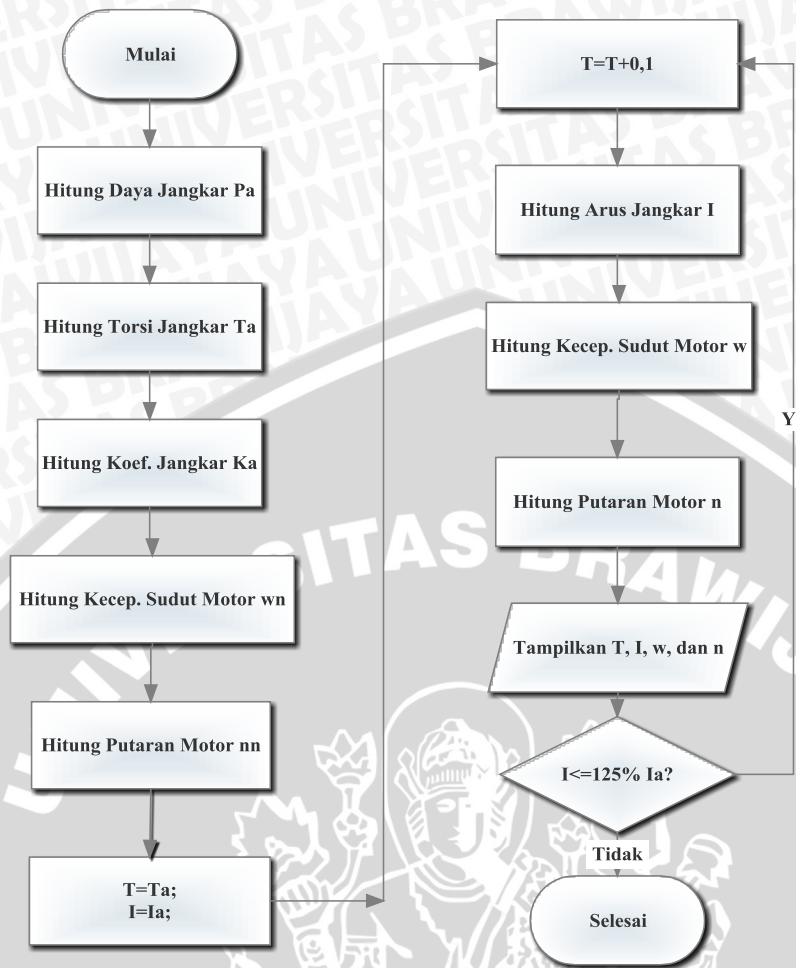




Gambar 3. 3 Diagram perhitungan parameter motor dc *shunt*

### 3.6 Perhitungan Torsi dan Kecepatan Motor DC *Shunt*

Perubahan kondisi pembebanan menyebabkan arus jangkar motor naik. Pendekatan matematis dari rangkaian ekivalen motor DC *shunt* dapat menjelaskan hubungan antara perubahan pembebanan dengan perubahan kecepatan. Seperti terlihat pada Gambar 3.4, masing-masing kondisi pembebanan mempunyai pengaruh pada nilai torsi dan kecepatan motor DC *shunt*.



Gambar 3. 4 Diagram perhitungan torsi-kecepatan motor dc *shunt*

### 3.7 Perhitungan Dan Penentuan Kapasitas Baterai

Perhitungan dan penentuan kapasitas baterai sebagai catu daya motor memerlukan estimasi waktu yang dibutuhkan. Setelah waktu ditentukan maka, kapasitas baterai dan jumlah energi yang diperlukan untuk mencatu motor DC *shunt* dapat diperoleh. Jika menggunakan baterai dengan kapasitas tertentu, maka jumlah baterai yang dibutuhkan juga dapat diperoleh.

### 3.8 Kesimpulan Dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan teori, hasil perhitungan serta analisis. Sebagai akhir dari penelitian yang dilakukan dapat ditarik suatu kesimpulan dari semua proses analisis yang telah dilakukan, dan pemberian saran kepada pembaca yang akan melakukan studi terkait dengan penelitian ini yakni kajian penggunaan motor listrik DC sebagai penggerak *speedboat*.

## BAB IV

### ANALISIS MOTOR DC SEBAGAI PENGGERAK SPEEDBOAT

#### 4.1 Data Speedboat

Data *speedboat* yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dari penelitian Chandra, dkk. Data *speedboat* adalah:

- Displacement:  $\nabla = 0,969$  ton
- Volume:  $V = 0,946$  m<sup>3</sup>
- Kecepatan kapal:  $v_s = 7$  knot
- Panjang garis air:  $L_{wl} = 7,89$  m
- Area garis air:  $S = 4,599$  m<sup>2</sup>
- Luas daerah melintang:  $A_p = 0,158$  m<sup>2</sup>
- Konstanta blok:  $C_b = 0,567$
- Kedalaman kapal terbenam air:  $h = 0,3$  m

#### 4.2 Perhitungan Kapasitas Motor DC

Perhitungan kapasitas motor dc mengacu pada Gambar 3.2. Langkah awal perhitungan tersebut memerlukan data *speedboat* dan perkiraan tertentu sesuai dengan kebutuhan. Dari data *speedboat* yang didapat, dengan menggunakan Tabel 2.7, konversi kecepatan kapal  $v_s$  dalam knot ke m/s adalah:

$$v_s = 7,0144 = 3,6008 \text{ m/s}$$

Viskositas  $\nu$  ditentukan dengan menggunakan Tabel 2.2. Ditentukan viskositas air garam pada suhu 15°C yaitu:

$$\nu = 1,19 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Nomor Reynold  $R_n$  dihitung menggunakan persamaan 2.6,

$$\begin{aligned} R_n &= v_s L_{wl} / \nu \\ &= 3,6008 \cdot 7,89 / (1,19 \times 10^{-6}) \\ &= 2,3874 \cdot 10^7 \end{aligned}$$

Koefisien gesek  $C_F$  adalah fungsi dari  $R_n$  seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4. Dengan  $R_n = 2,3874 \cdot 10^7$ , maka:

$$C_F = 0,0028$$

Massa jenis air  $\rho_w$  ditentukan menggunakan Tabel 2.1. Ditentukan massa jenis air garam pada suhu 15°C yaitu:

$$\rho_w = 1025 \text{ kg/m}^3 = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

Tahanan gesek  $R_F$  dihitung menggunakan persamaan 2.4,

$$\begin{aligned} R_F &= \frac{1}{2} C_F \rho_w S V_S^2 \\ &= 0,5 \cdot 0,0028 \cdot 1,025 \cdot 4,599 \cdot 3,6008^2 \\ &= 0,0856 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nomor Froude  $F_n$  dihitung menggunakan persamaan 2.9, dengan percepatan gravitasi  $g = 9,81$ , maka:

$$\begin{aligned} F_n &= \frac{V_S}{\sqrt{gL}} \\ &= 3,6008 / \sqrt{9,81 \cdot 7,89} \\ &= 0,4093 \end{aligned}$$

Koefisien residu  $C_R$  adalah fungsi dari  $F_n$  seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Dengan  $F_n=0,4093$ , maka:

$$C_R = 0,0035$$

Tahanan residu  $R_R$  dihitung menggunakan persamaan 2.7.

$$\begin{aligned} R_R &= \frac{1}{2} C_R \rho_w S V_S^2 \\ &= 0,5 \cdot 0,0035 \cdot 1,025 \cdot 4,599 \cdot 3,6008^2 \\ &= 0,1070 \text{ kN} \end{aligned}$$

Massa jenis udara  $\rho_A$  ditentukan dengan menggunakan Tabel 2.1. Ditentukan massa jenis udara pada suhu  $15^\circ\text{C}$  yaitu:

$$\rho_A = 1,23 \text{ atm}$$

Kecepatan udara  $v_w$  ditentukan dengan menggunakan skala Beaufort pada Tabel 2.4. Ditentukan kecepatan udara pada air tenang,

$$v_w = 0,3 \text{ m/s}$$

Tahanan udara  $R_U$  dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10 dengan menggunakan koefisien udara  $C_D = 0,9$ . Pada data *speedboat* diperoleh luas melintang  $A_P = 0,158 \text{ m}^2$ , sehingga:

$$\begin{aligned} R_U &= \frac{1}{2} C_D \rho_A A_P V_w^2 \\ &= 0,5 \cdot 0,9 \cdot 1,23 \cdot 0,158 \cdot 0,3^2 \\ &= 0,0079 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tahanan total  $R_T$  dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$\begin{aligned} R_T &= R_F + R_R + R_U \\ &= 0,0856 + 0,1070 + 0,0079 \end{aligned}$$

$$= 0,2004 \text{ kN}$$

Daya efektif  $P_E$  dihitung menggunakan persamaan 2.1.

$$\begin{aligned} P_E &= R_T v_s \\ &= 0,2004 \cdot 3,6008 \\ &= 0,7216 \text{ kW} \end{aligned}$$

Fraksi laju air  $w_t$  dihitung menggunakan persamaan 2.14. Rentang  $w_T$  diperkirakan dari 0,2 hingga 0,45. Pada data *speedboat* diperoleh koefisien blok  $C_B = 0,567$ , sehingga:

$$\begin{aligned} w_T &= 0,5C_B - 0,05 \\ &= 0,5 \cdot 0,567 - 0,05 \\ &= 0,2335 \text{ memenuhi syarat} \end{aligned}$$

Koefisien dorong deduksi  $t$  dihitung menggunakan persamaan 2.16. Rentang  $t$  antara 0,12 hingga 0,3. Koefisien tebal sirip kemudi  $k_R$  antara 0,5 hingga 0,7. Ditetapkan  $k_R = 0,6$ , maka:

$$\begin{aligned} t &= k_R w_T \\ &= 0,6 \cdot 0,2335 \\ &= 0,1401 \text{ memenuhi syarat} \end{aligned}$$

Effisiensi lambung dihitung menggunakan persamaan 2.25. Rentang antara 1,1 hingga 1,4.

$$\begin{aligned} \eta_H &= \frac{1-t}{1-w_T} \\ \eta_H &= \frac{1-0,1401}{1-0,2335} = 1,1219 \text{ memenuhi syarat} \end{aligned}$$

Grafik  $w_T$  fungsi rasio dari diameter propeler dengan panjang kapal  $w_T = f(d/L_{wl})$  ditunjukkan oleh Gambar 2.7. Dengan  $w_T = 0,2335$ , maka:

$$\begin{aligned} d/L_{wl} &= 0,02 \\ d &= 0,02 \cdot 7,89 = 0,1578 \text{ m} \end{aligned}$$

Kecepatan lanjut  $v_{ad}$  dihitung menggunakan persamaan 2.11.

$$\begin{aligned} v_{ad} &= v_s (1-w_t) \\ &= 3,6008 (1-0,2335) \\ &= 2,7600 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Koefisien lanjut  $J$  dihitung menggunakan persamaan 2.12. Dengan kecepatan propeler  $n_p = 42$ , maka:

$$\begin{aligned} J &= v_{ad} / (n_p d) \\ &= 2,7600 / (42 \cdot 0,1578) = 0,4164 \end{aligned}$$

Data propeler yang digunakan adalah seri wageningen B4.70 dengan  $P/D=1,2$ .

Dengan menggunakan Tabel 2.5. maka dieperoleh data:

- $K_{TO} = 0,545$
- $a = 1,27$
- $n = 1,21$
- $K_{QO} = 0,096$
- $b = 1,32$
- $m = 1,31$

Koefisien dorong  $K_T$  dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$\begin{aligned} K_T &= K_{TO} (1 - (J/a)^n) \\ &= 0,545 (1 - (0,4164/1,27)^{1,21}) \\ &= 0,4036 \end{aligned}$$

Koefisien torsi  $K_Q$  dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$\begin{aligned} K_Q &= K_{QO} (1 - (J/b)^m) \\ &= 0,096 (1 - (0,4164/1,32)^{1,31}) \\ &= 0,0748 \end{aligned}$$

Torsi propeler  $Q_P$  dihitung menggunakan persamaan 2.23.

$$\begin{aligned} Q_P &= K_Q \rho_w d^5 n_p^2 \\ &= 0,0748 \cdot 1,025 \cdot 0,1578^5 \cdot 42^2 \\ &= 0,0132 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Efisiensi *open-water*  $\eta_o$  (0,35-0,75) dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$\begin{aligned} \eta_o &= J K_T / (2 \pi K_Q) \\ &= 0,4164 \cdot 0,4036 / (2 \cdot 3,1416 \cdot 0,0748) \\ &= 0,3575 \text{ memenuhi syarat} \end{aligned}$$

Efisiensi rotasi relatif  $\eta_R$  (0,95-1,05) dihitung menggunakan persamaan 2.21.

$$\begin{aligned} \eta_R &= K_T K_{QO} / (K_{TO} K_Q) \\ &= 0,4036 \cdot 0,096 / (0,545 \cdot 0,0748) = 0,9502 \text{ memenuhi syarat} \end{aligned}$$

Koef. *quasi-propulsive*  $\eta_D$  dihitung menggunakan persamaan pada Gambar 2.2.

$$\begin{aligned} \eta_D &= \eta_o \eta_H \eta_R \\ &= 0,3575 \cdot 1,1219 \cdot 0,9502 \\ &= 0,3811 \end{aligned}$$

Daya terkirim  $P_D$  dihitung menggunakan persamaan 2.2.

$$\begin{aligned} P_D &= P_E / \eta_D \\ &= 0,7216 / 0,3811 = 1,8934 \text{ kW} \end{aligned}$$

Koreksi  $P_D$  dengan menggunakan faktor koreksi SCF. Karena  $L_{wl} < 122\text{m}$ , maka ditentukan  $SCF=1$ , sehingga:

$$\begin{aligned} P_D &= P_D SCF \\ &= 1,8934 \text{ kW} \end{aligned}$$

Digunakan gear untuk menyesuaikan putaran motor dengan putaran propeler, maka efisiensi transmisi  $\eta_T = 0,95$ .

Daya servis  $P_S$  dihitung menggunakan persamaan pada Gambar 2.2.

$$\begin{aligned} P_S &= P_D / \eta_T \\ &= 1,8934 / 0,95 \\ &= 1,9931 \text{ kW} \end{aligned}$$

Nilai margin berkisar antara 0,15-0,3. Ditentukan margin = 0,15. Daya terpasang  $P_I$  dihitung menggunakan persamaan pada Gambar 2.2.

$$\begin{aligned} P_I &= (P_E / \eta_D) SCF (1 / \eta_T) + \text{margin} \\ &= P_S + \text{margin} \\ &= 1,9931 + 0,15 \\ &= 2,1431 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### 4.3 Perhitungan Parameter Motor DC *Shunt*

Perhitungan parameter motor dc *shunt* mengacu pada Gambar 3.3. Langkah awal perhitungan motor dc *shunt* membutuhkan data primer sebagai berikut: daya keluaran ( $P_m$ ), tegangan kerja ( $V_t$ ), dan kecepatan putaran ( $n_m$ ).

Daya motor  $P_m \geq$  Daya terpasang  $P_I$ , maka:

$$P_m = 2,2 \text{ kW} = 2200 \text{ W}$$

$$\text{Daya jangkar } P_a = P_m = 2,2 \text{ kW} = 2200 \text{ W}$$

Ditentukan putaran motor nominal  $n_m = 1800 \text{ rpm}$

$$n_m = \text{rpm} / 60 = 1800 / 60 = 30 \text{ rps}$$

Ditentukan tegangan terminal  $V_t = 24 \text{ V}$

Ditentukan efisiensi motor  $\eta_m = 0,7$ .

Setelah ada data utama, Dimensi utama motor DC *shunt* (diameter motor  $D$  dan panjang motor  $L$ ) dihitung. Diasumsikan kecepatan linier motor  $v_a = 13,25 \text{ m/s}$ . Nilai  $v_a < 30\text{m/s}$ . Diameter maksimal  $D_{maks}$  dihitung menggunakan persamaan 2.48.

$$\begin{aligned} D_{maks} &= v_a / (\pi n_m) \\ &= 13,25 / (3,1416 \cdot 30) \\ &= 0,1406 \text{ m} \end{aligned}$$

Jumlah kutub p dapat ditentukan dengan melihat besar D seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.18. Dengan  $D_{\text{maks}} = 0,1406$  m, maka:

$$p = 2$$

Frekuensi fluksi f ( $25 \leq f \leq 50$  Hz) dan dihitung menggunakan persamaan 2.49.

$$f = p n_m / 2$$

$$= 30 \text{ Hz} \quad \text{memenuhi syarat.}$$

Beban magnetik  $B_{\text{av}}$  dapat ditentukan dengan melihat besar D seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.19. Dengan  $D_{\text{maks}} = 0,1406$  m, maka:

$$B_{\text{av}} = 0,125$$

Beban elektrik ac dapat ditentukan dengan melihat besar D seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.20. Dengan  $D_{\text{maks}} = 0,1406$  m, maka:

$$ac = 30000$$

Kisar kutub  $\tau$  dihitung menggunakan persamaan 2.52.

$$\tau_{\text{max}} = \pi D_{\text{maks}} / p$$

$$= 3,1416 \cdot 0,1406 / 2 = 0,2208 \text{ m}$$

Koefisien keluaran motor  $C_O$  dihitung menggunakan persamaan 2.56.

$$C_O = \pi^2 B_{\text{av}} ac$$

$$= 3,1416^2 \cdot 0,125 \cdot 30000$$

$$= 37011$$

Diameter jangkar D dihitung menggunakan persamaan 2.57. Rasio busur kutub  $\Psi$  antara  $0,64 < \Psi < 0,72$ . Ditentukan  $\Psi = 0,7$ . Daya jangkar  $P_a =$  daya motor mekanik  $P_m = 2200$  W, maka:

$$D = \sqrt[3]{\frac{P_a p}{C_O \pi \Psi n_m}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{2200 \cdot 2}{37011 \cdot 3,1416 \cdot 0,7 \cdot 30}} = 0,1217 \text{ m}$$

Kisar kutub  $\tau$  dihitung lagi, dengan  $D = 0,1217$  m dan dihitung menggunakan persamaan 2.50, maka:

$$\tau = \pi D / p$$

$$= 3,1416 \cdot 0,1217 / 2$$

$$= 0,1911 \text{ m}$$

Panjang jangkar L dihitung menggunakan persamaan 2.53,

$$L = \Psi \tau$$

$$= 0,7 \cdot 0,1911 = 0,1338 \text{ m}$$



Kecepatan linier  $v_a$  dihitung kembali dengan  $D = 0,1217$  m, maka:

$$\begin{aligned} v_a &= \pi D n_m \\ &= 11.4689 \text{ m/s} \quad \text{memenuhi syarat.} \end{aligned}$$

Persentase arus medan  $I_f$  dan tegangan drop jangkar  $V_{Ra}$  sebagai fungsi hasil kali jangkar Pa dan putaran motor rpm, ditunjukkan oleh Gambar 2.21. Hasil kali antara daya jangkar Pa dan putaran motor rpm adalah:

$$P_a \cdot \text{rpm} = 2200 \cdot 1800 = 3960000$$

Dengan menggunakan Gambar 2.21, dengan  $P_{rpm} = 3960000$ , maka diperoleh:

$$\%I_f = 0,19/100, \text{ dan}$$

$$\%V_{Ra} = 2,1/100.$$

Arus terminal  $I_t$  dihitung menggunakan persamaan 2.51.

$$I_t = P_m / (\eta_m \cdot V_t) = 2200 / (0,724) = 130,9524 \text{ A}$$

$I_f$  dihitung menggunakan persamaan 2.56.

$$I_f = \%I_f \cdot I_t$$

$$\begin{aligned} I_f &= (0,19/100) \cdot 130,9524 \\ &= 0,2488 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus jangkar  $I_a$  dihitung menggunakan persamaan 2.43.

$$\begin{aligned} I_a &= I_t - I_f \\ &= 130,9524 - 0,2488 \\ &= 130,7036 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus medan  $I_f < 0,05 I_a$  atau  $I_f < 6,5352 \text{ A}$

$$I_f = 0,2488 \text{ A} \quad \text{memenuhi syarat.}$$

Tegangan jatuh jangkar  $V_{Ra}$  dihitung menggunakan persamaan 2.57.

$$\begin{aligned} V_{Ra} &= \%V_{Ra} V_t \\ &= (2,1/100) 24 \\ &= 0,5040 \text{ V} \end{aligned}$$

Tegangan terinduksi jangkar  $E_a$  dihitung menggunakan persamaan 2.44.

$$\begin{aligned} E_a &= V_t - V_{Ra} \\ &= 24 - 0,5040 = 23,4960 \text{ V} \end{aligned}$$

Fluksi per kutub  $\Phi$  dihitung menggunakan persamaan 2.58.

$$\begin{aligned} \Phi &= B_{av} \tau L \\ &= 0,125 \cdot 0,1911 \cdot 0,1338 \\ &= 0,0032 \text{ Wb} \end{aligned}$$

Resistansi jangkar  $R_a$  dihitung menggunakan persamaan 2.59.

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_{Ra}}{I_a} \\
 &= \frac{0,5040}{130,7036} \\
 &= 0,0039 \Omega
 \end{aligned}$$

Effisiensi motor  $\eta_m$  dihitung menggunakan persamaan 2.45, menjadi:

$$\eta_m = \frac{P_{output}}{P_{input}} = \frac{E_a I_a}{V_t I_t} = \frac{23,496 \cdot 130,7036}{24 \cdot 130,9524} = 0,97714$$

#### 4.4 Torsi dan Kecepatan Motor DC *Shunt*

Perhitungan torsi dan kecepatan motor dc *shunt* mengacu pada Gambar 3.4. Langkah awal adalah konstanta jangkar  $K_a$  dihitung menggunakan persamaan 2.42.

$$P_a = E_a I_a = T \omega_m = K_a \Phi I_a \omega_m$$

Daya jangkar  $P_a$  dihitung menggunakan persamaan 2.42. Dengan  $E_a = 23,4960$  V dan  $I_a = 130,7036$  A, maka  $P_a$  adalah:

$$\begin{aligned}
 P_a &= E_a I_a \\
 &= 23,4960 \cdot 130,7036 \\
 &= 3071 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Torsi yang dibangkitkan  $T_a$  dihitung menggunakan persamaan 2.42. Dengan  $n_m = 30$  rps, maka  $T_a$  adalah:

$$\begin{aligned}
 T_a &= P_a / (2 \pi n_m) \\
 &= 3071 / (2 \cdot 3,1416 \cdot 30) \\
 &= 16,292 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Jadi, konstanta jangkar  $K_a$  dihitung menggunakan persamaan 2.40. Dengan  $\Phi = 0,0032$  Wb, maka  $K_a$  adalah:

$$\begin{aligned}
 K_a &= T_a / (\Phi I_a) \\
 &= 16,292 / (0,0032 \cdot 130,7036) \\
 &= 38,989
 \end{aligned}$$

Kecepatan sudut  $\omega_m$  dihitung menggunakan persamaan 2.47.

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{R_a}{(K_a \Phi)^2} T_a$$

Saat terjadi peningkatan beban,  $T_a$  menjadi  $T$  dan  $\omega_m$  menjadi  $\omega$ . Sehingga persamaan 2.47 menjadi:

$$\omega = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{R_a}{(K_a \Phi)^2} T$$

Putaran motor menjadi:

$$n = \omega / (2\pi)$$

Persamaan 2.41 menjadi:

$$I = T / (K_a \Phi)$$

Peningkatan T adalah 0,1 Nm secara bertahap. Maka T berturut-urut adalah 16,392; 16,492; 16,592; dst.

Pada iterasi 1, T = 16,392 Nm, maka  $\omega$ , n, dan I adalah:

$$\omega = \frac{24}{38,989 \cdot 0,0032} - \frac{0,0039}{(38,989 \cdot 0,0032)^2} 16,392 = 188,47 \text{ rad/s}$$

$$n = \omega / (2\pi) = 188,47 / (2,3,1416) = 1799,8 \text{ rps}$$

$$I = T / (K_a \Phi) = 16,392 / (38,989 \cdot 0,0032) = 131,51 \text{ A.}$$

Pada iterasi ke-2, T = 16,492 Nm, maka  $\omega$ , n, dan I adalah:

$$\omega = \frac{24}{38,989 \cdot 0,0032} - \frac{0,0039}{(38,989 \cdot 0,0032)^2} 16,492 = 188,45 \text{ rad/s}$$

$$n = 60\omega / (2\pi) = 60 \cdot 188,45 / (2,3,1416) = 1799,5 \text{ rpm}$$

$$I = T / (K_a \Phi) = 16,492 / (38,989 \cdot 0,0032) = 132,31 \text{ A.}$$

Pada iterasi ke-3, T = 16,592 Nm, maka  $\omega$ , n, dan I adalah:

$$\omega = \frac{24}{38,989 \cdot 0,0032} - \frac{0,0039}{(38,989 \cdot 0,0032)^2} 16,592 = 188,42 \text{ rad/s}$$

$$n = 60\omega / (2\pi) = 60 \cdot 188,42 / (2,3,1416) = 1799,3 \text{ rpm}$$

$$I = T / (K_a \Phi) = 16,592 / (38,989 \cdot 0,0032) = 133,11 \text{ A.}$$

Peningkatan torsi menyebabkan peningkatan arus jangkar. Ketika I telah mencapai 125% dari  $I_a$ , maka motor harus dalam keadaan trip. Oleh karena itu, proses perhitungan berhenti saat  $I \leq 125\% I_a$ .

Proses perhitungan berhenti pada iterasi ke-40, dengan T=20,292 Nm, maka  $\omega$ , n, dan I adalah:

$$\omega = \frac{24}{38,989 \cdot 0,0032} - \frac{0,0039}{(38,989 \cdot 0,0032)^2} 20,292 = 187,5 \text{ rad/s}$$

$$n = 60\omega / (2\pi) = 60 \cdot 187,5 / (2,3,1416) = 1790,5 \text{ rpm}$$

$$I = T / (K_a \Phi) = 20,292 / (38,989 \cdot 0,0032) = 162,79 \text{ A.}$$

Hasil dari perhitungan iterasi dapat dilihat dalam Tabel 4.1 sebagai berikut:

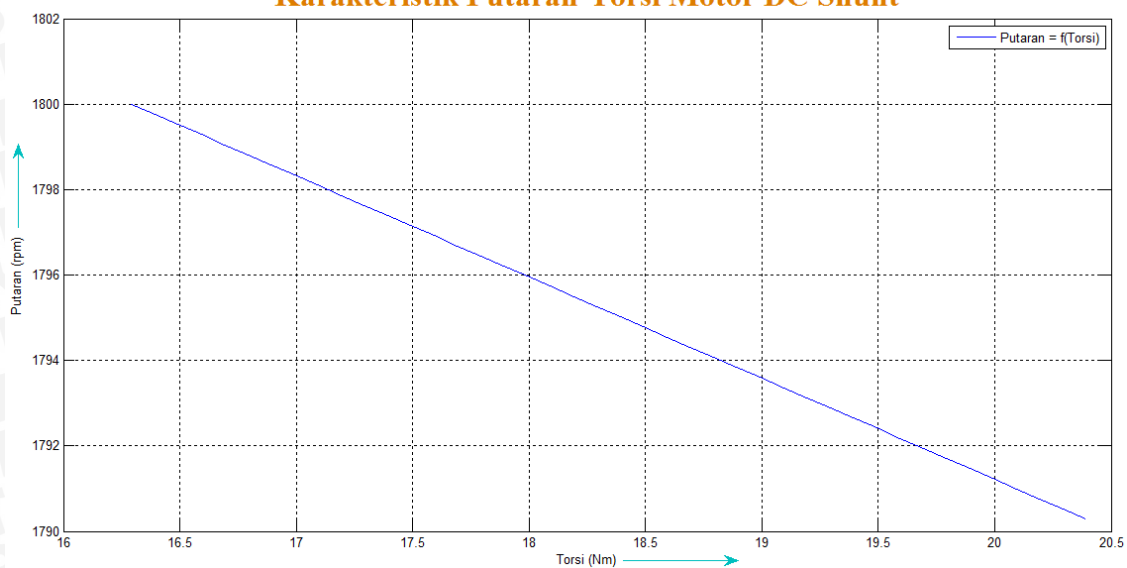
Tabel 4. 1 Hasil perhitungan arus, kecepatan putar, dan putaran motor dc *shunt*

i	T(Nm)	I(A)	$\omega$ (rad/s)	n(rpm)	i	T(Nm)	I(A)	$\omega$ (rad/s)	n(rpm)
1	16.392	131.51	188.47	1799.8	22	18.492	148.35	187.95	1794.8
2	16.492	132.31	188.45	1799.5	23	18.592	149.16	187.92	1794.5
3	16.592	133.11	188.42	1799.3	24	18.692	149.96	187.90	1794.3
4	16.692	133.91	188.40	1799.1	25	18.792	150.76	187.88	1794.1

5	16.792	134.71	188.37	1798.8	26	18.892	151.56	187.85	1793.8
6	16.892	135.52	188.35	1798.6	27	18.992	152.36	187.83	1793.6
7	16.992	136.32	188.32	1798.3	28	19.092	153.17	187.80	1793.4
8	17.092	137.12	188.30	1798.1	29	19.192	153.97	187.78	1793.1
9	17.192	137.92	188.27	1797.9	30	19.292	154.77	187.75	1792.9
10	17.292	138.73	188.25	1797.6	31	19.392	155.57	187.73	1792.7
11	17.392	139.53	188.22	1797.4	32	19.492	156.38	187.70	1792.4
12	17.492	140.33	188.20	1797.2	33	19.592	157.18	187.68	1792.2
13	17.592	141.13	188.17	1796.9	34	19.692	157.98	187.65	1791.9
14	17.692	141.94	188.15	1796.7	35	19.792	158.78	187.63	1791.7
15	17.792	142.74	188.12	1796.4	36	19.892	159.58	187.60	1791.5
16	17.892	143.54	188.10	1796.2	37	19.992	160.39	187.58	1791.2
17	17.992	144.34	188.07	1796.0	38	20.092	161.19	187.55	1791.0
18	18.092	145.14	188.05	1795.7	39	20.192	161.99	187.53	1790.8
19	18.192	145.95	188.02	1795.5	40	20.292	162.79	187.50	1790.5
20	18.292	146.75	188.00	1795.3	41	20.392	163.60	187.48	1790.3
21	18.392	147.55	187.97	1795.0					

Dari tabel 4.1, dapat diperoleh karakteristik putaran sebagai fungsi dari torsi motor dc shunt seperti terlihat pada Gambar 4.1. Penambahan torsi pada motor menyebabkan putaran motor berkurang.

#### Karakteristik Putaran-Torsi Motor DC Shunt



Gambar 4. 1 Karakteristik putaran-torsi motor dc *shunt*

#### 4.5 Perhitungan Kapasitas Baterai Beban *Speedboat*

Arus terminal  $I_t$  merupakan penjumlahan arus medan  $I_f$  dengan arus jangkar  $I_a$ . Saat motor dc bekerja dalam keadaan nominal, arus terminal  $I_t$  adalah:

$$\begin{aligned} I_t &= I_f + I_a \\ &= 0,24881 + 130,7 \\ &= 130,95 \text{ A} \end{aligned}$$

Ditentukan  $k = 1,13$  dan dalam waktu pelepasan muatan  $t_e = 1$  jam. Maka kapasitas baterai  $C_p$  dihitung menggunakan persamaan 2.65.

$$\begin{aligned} C_p &= t_e I_t^k \\ &= 1 \cdot 130,95^{1,13} \\ &= 246,8 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Energi baterai  $E_B$  dalam 1 jam adalah:

$$\begin{aligned} E_B &= V_t C_p \\ &= 24 \cdot 246,8 \\ &= 5923,1 \text{ watt Jam} \end{aligned}$$

Baterai yang digunakan adalah baterai dengan tegangan  $V_O = 24$  V dan kapasitas  $C_O = 65$  Ah. Karena tegangan motor  $V_t$  sama dengan tegangan baterai  $V_O$ , maka ada  $N$  baterai terpasang paralel.

Jumlah baterai  $N$  yang terhubung paralel, dihitung menggunakan persamaan 2.64.

$$\begin{aligned} N_B &= E_B / (C_O V_O) \\ &= 5923,1 / (65 \cdot 24) \\ &= 3,7969 = 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Setelah menentukan kapasitas beban baterai, maka besar energi yang disuplai oleh modul surya dihitung menggunakan persamaan 2.66:

$$E_{PS} = 30\% E_B = 0,3 \cdot 5923,1$$

$$E_{PS} = 1776,9 \text{ Watt jam}$$

Asumsi rugi-rugi (losses) pada sistem dianggap sebesar 15%, maka total energi sistem modul surya  $E_T$  dihitung menggunakan persamaan 2.67:

$$E_T = E_{PS} + 15\% E_{PS} = 1776,9 + 0,15 \cdot 1776,9$$

$$E_T = 2043,5 \text{ Watt jam}$$

Diambil data insolasi terendah matahari adalah 3,91 jam. Faktor penyesuaian  $f_p$  pada kebanyakan instalasi modul surya adalah 1,1. Kapasitas modul surya  $C_{PS}$  dihitung menggunakan persamaan 2.68:

$$C_{PS} = f_p \cdot (E_T/\text{insolasi matahari}) = 1,1 \cdot (2043,5/3, 91)$$

$$C_{PS} = 574,89 \text{ Wp}$$

Dengan menggunakan modul surya 200Wp, jumlah modul surya yang dibutuhkan adalah:

$$N_{PS} = C_{PS}/200$$

$$N_{PS} = 2,8744 = 3 \text{ buah}$$

Berat motor  $B_m = 7 \text{ kg}$ , Berat baterai  $B_B = 4,15 = 60 \text{ kg}$ , Berat modul surya = 3.17 = 51 kg. Kapasitas berat *speedboat*  $B_S$  dihitung menggunakan persamaan 2.69:

$$B_S = \nabla - B_m - B_B - B_{PS}$$

$$= 969 - 7 - 60 - 51$$

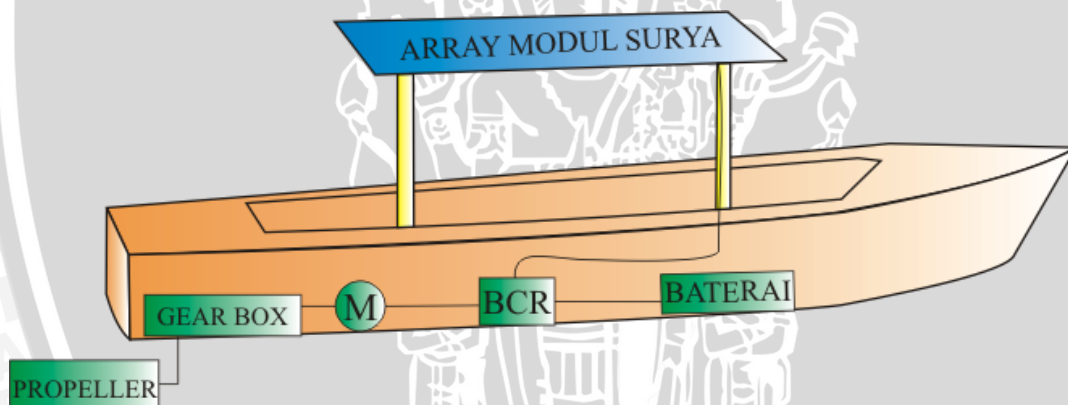
$$= 851 \text{ kg}$$

Asumsi berat 1 orang = 100 kg, maka jumlah penumpang  $N_p$  adalah:

$$N_p = B_S/100 = 851/100$$

$$= 8,51 = 8 \text{ orang}$$

Skema *speedboat* adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Skema speedboat

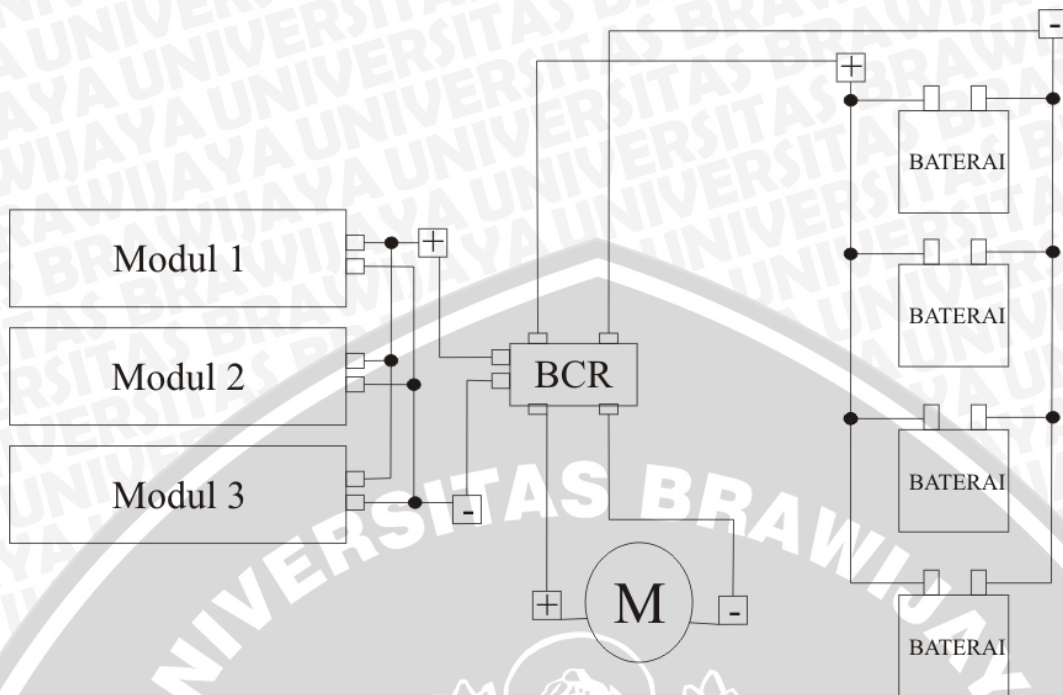
Pada gambar 4.2, pemasangan modul surya di atap mempunyai beberapa keuntungan antar lain: modul surya mendapatkan cahaya tanpa penghalang dan sebagai peneduh penumpang *speedboat*. Modul surya dihubungkan ke BCR untuk diatur arus dan tegangan keluarannya sesuai dengan kebutuhan baterai. Kapasitas BCR tidak boleh kurang dari arus baterai. Tegangan baterai adalah 24 V dan arus baterai adalah:

$$I_B = I_m^{1,13}$$

$$= 130,95^{1,13} = 246,79 \text{ A}$$

Baterai memberikan suplai daya ke motor agar motor dapat memutar poros *gearbox*. *Gearbox* mengatur besar putaran dari motor agar sesuai dengan kebutuhan propeler.

Diagram elektrik *speedboat* adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Skema rangkaian elektrik pada speedboat

Pada gambar 4.3, *Speedboat* menggunakan tiga modul surya, tiga BCR, empat baterai, satu BCR dan satu motor. Masing-masing keluaran dari modul surya dihubungkan ke tiga BCR yang telah dihubungkan paralel. Kemudian keluaran tiga BCR dihubungkan ke empat baterai yang telah terhubung paralel. Keluaran dari empat baterai dihubungkan ke BCR guna untuk diatur besar tegangan dan arus yang sesuai dengan kebutuhan motor. BCR dapat beroperasi saat modul surya dan baterai bekerja bersama, atau saat salah satunya bekerja. Keluaran BCR dihubungkan ke motor dc *shunt* yang mengubah energi listrik berupa tegangan dan arus, menjadi energi mekanik berupa putaran.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Kapasitas motor DC *shunt* yang diperlukan untuk menggerakkan *speedboat*:  
Daya nominal  $P_m = 2200$  W  
Putaran nominal = 1800 rpm  
Tegangan  $V_t = 24$  V  
Diameter  $D = 0,1217$  m  
Panjang  $L = 0,1338$  m  
Arus medan  $I_f = 0,2488$  A  
Tegangan jatuh jangkar  $V_{Ra} = 0,5040$  V  
Arus beban penuh  $I_a = 130,7036$  A  
Resistansi jangkar  $R_a = 0,0039$   $\Omega$   
Efisiensi motor = 0,9771
2. Pada kondisi beban penuh, putaran motor 1800 rpm, arus jangkar motor 130,7036 A dan torsi motor 16,292 Nm. Pada kondisi arus jangkar maksimal 163,3795 A, diperoleh torsi maksimal 20,292 Nm dan putaran motor menjadi 1790,5 rpm.
3. Kapasitas akumulator yang diperlukan untuk memberikan suplai daya ke motor DC *shunt* selama satu jam adalah 246,8 Ah. Energi baterai dalam satu jam adalah 5923,1 W jam. Sehingga membutuhkan empat buah baterai 24 V 65 Ah terhubung paralel dan tiga buah modul surya 200 Wp.

#### 5.2 Saran

Penelitian ini masih kurang sempurna dikarenakan tidak adanya pengukuran secara langsung sehingga nilai parameter-parameter dari motor kurang akurat. Selain itu keterbatasan alat juga menjadi kendala pada penelitian ini, sehingga tidak dapat dilakukan analisis transien dari motor dc.



## DAFTAR PUSTAKA

- All4solar, aquawatt, 2013, *Australia, New Zealand, Asia, Pacific Project References for Advanced Electric Boat Propulsion Systems*, Australia.
- Anas, M. Azwar, 2014. *Power Management Control pada Sistem Hibrida Pvgenset Menggunakan Zelio Logic Smart Relay*, Elektro, Universitas Brawijaya: Malang.
- Basir, Idham Aulia M., dkk., 2012, “*The Ganers*” *Kapal Pembersih Sampah Dengan Sistem Lambung Tiga sebagai Solusi Pembersih Sampah di Teluk Jakarta*, Fak. Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya: Surabaya.
- Chandra, H., 2010, *Kajian Aplikasi Sel Surya Sebagai Sumber Tenaga Penggerak Kapal Tanpa Bbm*, BPPKP Kementerian Kelautan dan Perikanan: Jakarta.
- ECEN 4517/5517, *Lecture: Lead-acid batteries*.
- Fuhs, Allen., *Chapter 6: Multifaceted Complexity of Batteries*.
- Hadi, Eko Sasmito, dkk., 2012. *Analisa Performa Hullform pada Pra Perancangan Speed Boat Katamaran untuk Search and Rescue di Pantai GunungKidul Yogyakarta Berbasis CFD*. Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik UNDIP: Semarang.
- Karlsen, A.T., 2012, *On Modeling of a Ship Propulsion System for Control Purposes*, NTNU-Trondheim: Norwegia.
- Man Diesel & Turbo, 2011, *Basic Principles of Ship Propulsion*, 2450 Copenhagen SV: Denmark.
- Jalapatih, 2014, *Proposal Marine Solar Boat Team ITS Dong Energy Solar Chalange Perairan Frisian Belanda*. ITS: Surabaya.
- Molland, A. F., 2011, *Ship Resistance and Propulsion*, Cambridge University Press: United States of America.
- National Electrical Manufacturers Association*. 1995. *NEMA Standards Publication MG 1-1993*. Copyright: NEMA.
- Sawhney, A. K., 1970, *Electrical Machine Design*, D. R. Printing Service: Delhi.
- Sen, P. C., 1997, *Principles of Electrical Machines and Power Electronics*, Lehigh Press: United States of America.
- Sudiyono, Antoko, Bambang., 2008, *Perancangan dan Pembuatan Kapal Wisata dengan Motor Generator Listrik Tenaga Surya sebagai Energi Alternatif Penggerak Propeler*, Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya: Surabaya.
- Vutetakis, D. G., 2001, *The Avionics Handbook Ch. 10: Batteries*, CRC Press: LLC.

## LAMPIRAN 1

## KODING

%Perhitungan Kapasitas Motor DC Shunt  
disp(Perhitungan Kapasitas Motor DC Shunt')

$$V_s = 7 * 0.5144;$$

$$L_{w1} = 7.89; S = 4.599;$$

$$C_b = 0.567; h = 0.3;$$

$$v = 1.19 * 10^{(-6)};$$

$$R_e = V_s * L_{w1} / v$$

$$C_f = 0.0028;$$

$$p_w = 1025 / 1000;$$

$$R_f = C_f * 0.5 * p_w * V_s^2 * S$$

$$g = 9.81;$$

$$F_r = V_s / \sqrt{g * L_{w1}}$$

$$C_r = 0.0035;$$

$$R_r = C_r * 0.5 * p_w * V_s^2 * S$$

$$C_d = 0.9; V_w = 0.3;$$

$$p_a = 1.23; A_p = 0.158;$$

$$R_u = C_d * 0.5 * p_a * V_w^2 * A_p$$

$$R_t = R_f + R_r + R_u$$

$$P_e = R_t * V_s$$

$$w_t = 0.5 * C_b - 0.05 \quad \% 0.2 - 0.45 (2)$$

$$k_r = 0.6;$$

$$t = k_r * w_t \quad \% 0.12 - 0.3 \text{ for one propeler (2)}$$

$$eff_h = (1 - t) / (1 - w_t) \quad \% 1.1 - 1.4 \text{ for one propeler (2)}$$

$$d = L_{w1} * 0.02$$

$$n_p = 42;$$

$$V_{ad} = V_s * (1 - w_t);$$

$$J = V_{ad} / (n_p * d)$$

$$K_{t0} = 0.545;$$

$$a = 1.27;$$

$$n = 1.21;$$

$$K_{q0} = 0.096;$$

$$b = 1.32;$$

$$m = 1.31;$$

$$K_t = K_{t0} * (1 - (J/a)^n);$$

$$K_q = K_{q0} * (1 - (J/b)^m);$$

$$Q_p = K_q * p_w * d^5 * n_p^2$$

$$eff_0 = J * K_t / (2 * \pi * K_q) \quad \% 0.35 - 0.75 (2)$$

$$eff_r = K_t * K_{q0} / (K_{t0} * K_q) \quad \% 0.95 - 1.05 \text{ section 8.7 (1)}$$

$$\% 1 - 1.07 \text{ for one prop (2)}$$

$$eff_d = eff_0 * eff_h * eff_r$$

$$P_d = P_e / eff_d;$$

$$SCF = 1; \quad \% 1 \text{ for } L_{bp} < 122m (1)$$

$$P_d = P_d * SCF$$

$$eff_t = 0.95; \quad \% 0.98 = \text{direct}, 0.95 = \text{gear box}'$$

$$P_s = P_d / eff_t$$

$$\text{margin} = 0.15; \quad \% 0.15 - 0.3 (1)$$

$$P_i = (P_e / eff_d) * SCF * (1 / eff_t) + \text{margin}$$

% Perhitungan Parameter Motor DC Shunt

disp(Parameter Motor DC Shunt')

$$P_m = 2200;$$

$$\text{rpm} = 1800;$$

$$n_m = \text{rpm} / 60;$$

$$V_t = 24;$$

$$eff_j = 0.7;$$

$$P_a = P_m;$$

$$v_a = 13.25; \quad \% V_a < 30m/s$$

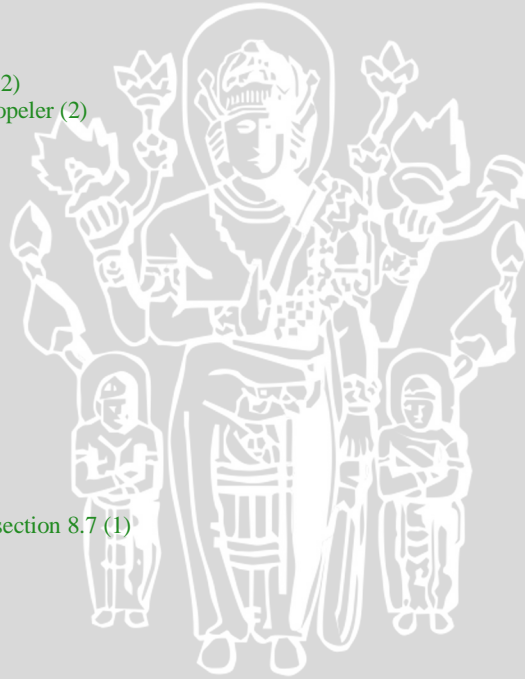
$$D_{maks} = v_a / (\pi * n_m)$$

$$p = 2;$$

$$f = p * n_m / 2 \quad \% 25 < f < 50 \text{ Hz}$$

$$\tau = \pi * D_{maks} * p$$

$$B_{av} = 0.125;$$



```

ac = 30000;
Co = pi^2*Bav*ac
phi = 0.7; %0.64<phi<0.72
koefD = phi*pi/p;
Dp3 = (p*Pa)/(Co*phi*pi*nm);
D = (Dp3)^(1/3)
tau = pi*D/p;
L = koefD*D
va = pi*D*nm
Parpm = Pa*rpm
persenIf = 0.19/100;
persenVra = 2.1/100;
It = Pm/(effj*Vt)
If = persenIf*It % If<0.05Ia (1)
Vra = persenVra*Vt
Ia = It-If
Ea = Vt-Vra
fluksi = Bav*tau*L
Ra = (Vra)/Ia
effm = Ea*Ia/(Vt*It)
%Torsi Motor DC Shunt Beban Nominal
disp('Motor DC Shunt Beban Nominal')
Pad = Co*D^2*L*nm;
Pa = Ea*Ia;
Ta = Pa/(2*pi*nm)
Ka = Ta/(fluksi*Ia)
omegan = (Vt/(Ka*fluksi))-(Ra*Ta/(Ka*fluksi)^2);
nn = omegan/(2*pi)
disp('Motor DC Shunt Beban Lebih')
disp('I T I omega putaran')
T=Ta;
I=Ia;
iter = 0;
format short g
while (I<= Ia*1.25)
    iter = iter + 1;
    T=T+0.1;
    I=T/(Ka*fluksi);
    omega=(Vt/(Ka*fluksi))-(Ra*T/(Ka*fluksi)^2);
    putaran=omega*60/(2*pi);
    fprintf('%1', iter), disp([T, I, omega, putaran]);
end
T1=[Ta:0.1:T];
n=((Vt/(Ka*fluksi))-(Ra*(T1)/(Ka*fluksi)^2))*60/(2*pi);
plot(T1,n)
grid on
%Perhitungan Baterai Beban Nominal
disp('Kapasitas Baterai Beban Nominal')
It = Ia+If
k = 1.13;
time = 1;
Cp = It^k*time
% 1 Baterai 24 V 65 ah
Vo = 24; Co = 65;
Eb = Vt*Cp
Nb = Eb/(Co*Vo)
Nb = 4;
Eps= 0.3*Eb
Et = Eps+0.15*Eps
inso = 3.91; fp = 1.1;
Cps= fp*Et/inso
Nps = Cps/200
Nps = 3; Bm = 7;
Bb = Nb*15; Bps = Nps*17;
Bs= dis-Bm-Bb-Bps
Np= Bs/100

```



## LAMPIRAN 2

### HASIL SIMULASI

#### Perhitungan Kapasitas Motor DC Shunt

$R_e = 2.3874e+007$   
 $R_f = 0.0856$   
 $R_r = 0.4093$   
 $R_r = 0.1070$   
 $R_u = 0.0079$   
 $R_t = 0.2004$   
 $P_e = 0.7216$   
 $w_t = 0.2335$   
 $t = 0.1401$   
 $effh = 1.1219$   
 $d = 0.1578$   
 $J = 0.4164$   
 $Q_p = 0.0132$   
 $eff0 = 0.3575$   
 $effr = 0.9502$   
 $effd = 0.3811$   
 $P_d = 1.8934$   
 $P_s = 1.9931$   
 $P_i = 2.1431$

#### Parameter Motor DC Shunt

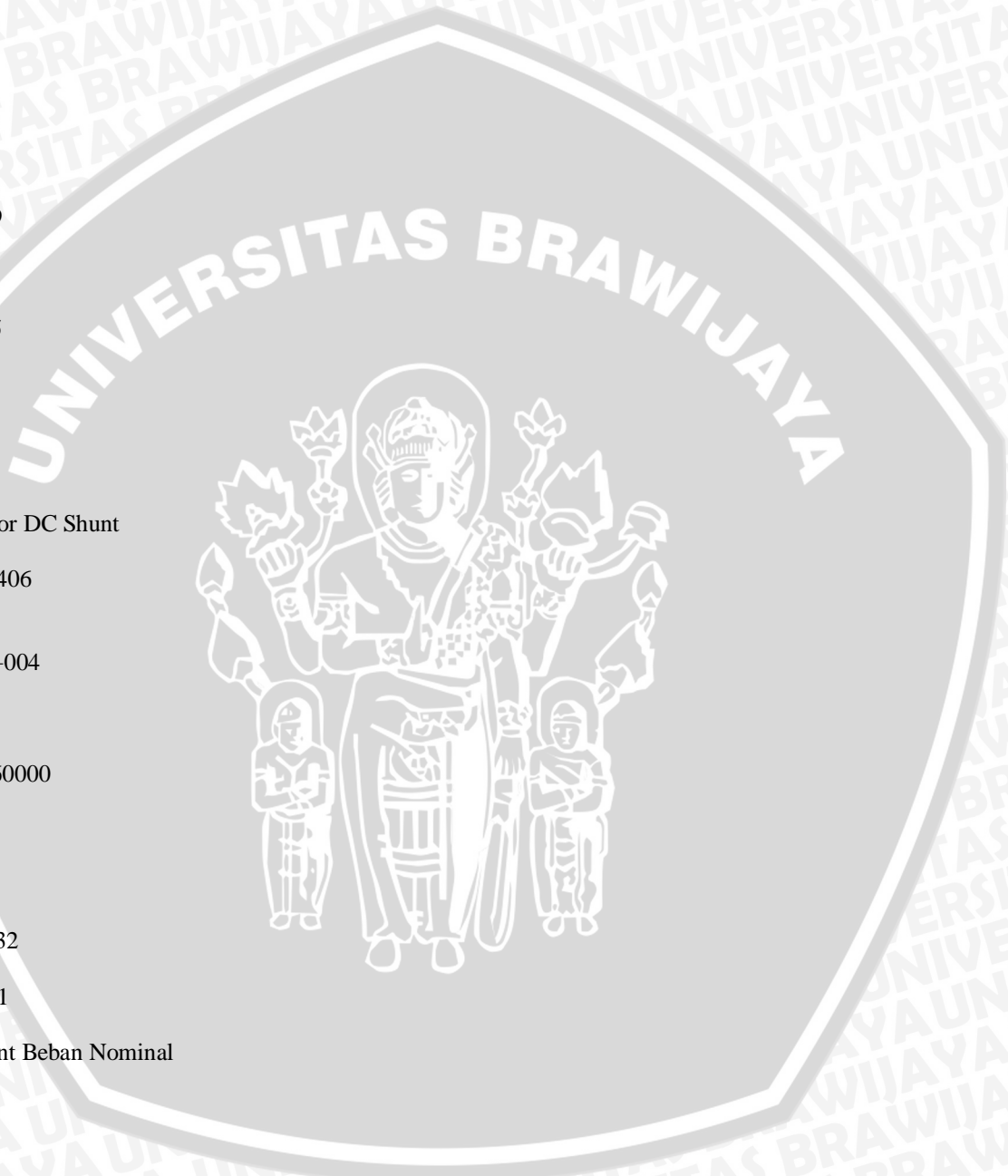
$D_{maks} = 0.1406$   
 $f = 30$   
 $\tau = 0.2208$   
 $C_o = 3.7011e+004$   
 $D = 0.1217$   
 $L = 0.1338$   
 $v_a = 11.4689$   
 $P_{rpm} = 3960000$   
 $I_t = 130.9524$   
 $I_f = 0.2488$   
 $V_{ra} = 0.5040$   
 $I_a = 130.7036$   
 $E_a = 23.4960$   
 $fluksi = 0.0032$   
 $R_a = 0.0039$   
 $effm = 0.9771$

#### Motor DC Shunt Beban Nominal

$T_a = 16.2922$   
 $K_a = 38.9891$   
 $nn = 30.0000$

#### Motor DC Shunt Beban Lebih

i	T	I	omega	putaran
1	16.392	131.51	188.47	29.996
2	16.492	132.31	188.45	29.992
3	16.592	133.11	188.42	29.988
4	16.692	133.91	188.4	29.984
5	16.792	134.71	188.37	29.98
6	16.892	135.52	188.35	29.976



7	16.992	136.32	188.32	29.972
8	17.092	137.12	188.3	29.968
9	17.192	137.92	188.27	29.964
10	17.292	138.73	188.25	29.961
11	17.392	139.53	188.22	29.957
12	17.492	140.33	188.2	29.953
13	17.592	141.13	188.17	29.949
14	17.692	141.94	188.15	29.945
15	17.792	142.74	188.12	29.941
16	17.892	143.54	188.1	29.937
17	17.992	144.34	188.07	29.933
18	18.092	145.14	188.05	29.929
19	18.192	145.95	188.02	29.925
20	18.292	146.75	188	29.921
21	18.392	147.55	187.97	29.917
22	18.492	148.35	187.95	29.913
23	18.592	149.16	187.92	29.909
24	18.692	149.96	187.9	29.905
25	18.792	150.76	187.88	29.901
26	18.892	151.56	187.85	29.897
27	18.992	152.36	187.83	29.893
28	19.092	153.17	187.8	29.889
29	19.192	153.97	187.78	29.885
30	19.292	154.77	187.75	29.882
31	19.392	155.57	187.73	29.878
32	19.492	156.38	187.7	29.874
33	19.592	157.18	187.68	29.87
34	19.692	157.98	187.65	29.866
35	19.792	158.78	187.63	29.862
36	19.892	159.58	187.6	29.858
37	19.992	160.39	187.58	29.854
38	20.092	161.19	187.55	29.85
39	20.192	161.99	187.53	29.846
40	20.292	162.79	187.5	29.842
41	20.392	163.6	187.48	29.838

Kapasitas Baterai Beban Nominal

$I_t =$	130.95
$C_p =$	246.8
$E_b =$	5923.1
$N_b =$	3.7969
$E_{ps} =$	1776.9
$E_t =$	2043.5
$C_{ps} =$	574.89
$N_{ps} =$	2.8744
$B_s =$	851
$N_p =$	8.51



## LAMPIRAN 3

## DATA MOTOR DAN BATERAI


**CUSTOM IEC FRAME DC MOTORS**  
 MOTOR SELECTION GUIDE

**LOW VOLTAGE MOTORS**

IEC 71 and 80 FRAMES

12, 24 or 36 VOLTS

kW	HP	RPM	Full Load Amperage			S1 Continuous Duty Enclosures				15 Minute Duty <sub>s</sub> Approximate Amperage				
			12V	24V	36V	ODP Frame	C Dim.	TEFC Frame	C Dim.	kW	HP	12V	24V	36V
0,18	¼	1200	20	10	6,7	71	234	71	262	0,37	½	40	20	15
		1500	20	10	6,7	71	234	71	262			40	20	15
		1800	21	10	6,9	71	234	71	262			40	20	15
		2500	21	11	7,0	71	234	71	249			40	20	15
		3000	21	11	7,0	71	234	71	249			40	20	15
0,25	⅓	1200	27	13	8,9	71	247	71	287	0,55	¾	65	30	20
		1500	27	13	8,9	71	234	71	275			65	30	20
		1800	27	14	9,2	71	234	71	262			65	30	20
		2500	28	14	9,2	71	234	71	262			65	30	20
		3000	28	14	9,3	71	234	71	262			65	30	20
0,37	½	1200	40	20	13	71	272	71	313	0,75	1	80	40	30
		1500	40	20	13	71	260	71	300			80	40	30
		1800	40	20	13	71	247	71	300			80	40	30
		2500	40	20	13	71	234	71	287			80	40	30
		3000	41	21	14	71	234	71	287			80	40	30
0,55	¾	1200	58	29	19	71	323	71	363	1,1	1½	—	65	45
		1500	58	29	19	71	298	71	338			—	65	45
		1800	58	29	19	71	285	71	338			—	65	45
		2500	60	30	20	71	260	71	325			—	65	45
		3000	60	30	20	71	247	71	325			—	65	45
	1200	58	29	19	80	335	80	389	1,1	1½	150	65	45	
	1500	58	29	19	80	310	80	376			150	65	45	
	1800	58	29	19	80	297	80	363			150	65	45	
	2500	60	30	20	80	272	80	351			150	65	45	
	3000	60	30	20	80	259	80	351			150	65	45	
0,75	1	1200	74	37	25	80	373	80	427	1,5	2	—	90	60
		1500	78	39	26	80	348	80	414			—	90	60
		1800	78	39	26	80	322	80	402			—	90	60
		2500	78	39	26	80	297	80	389			—	90	60
		3000	80	40	27	80	284	80	376			—	90	60
1,1	1½	1800	110	57	38	80	386	—	—	2,2	3	—	—	—
		2500	110	57	38	80	348	80	402			—	—	90
		3000	120	58	39	80	322	80	389			—	—	90
1,5	2	2500	—	76	51	80	399	—	—	3,0	4	—	—	100
		3000	—	78	52	80	373	80	427			—	—	100

 For dimensions, see drawing **L** on page 34.

## LOW VOLTAGE MOTORS

IEC 80 FRAME

12, 24, 36 or 48 VOLTS

kW	HP	RPM	Full Load Amperage				S1 Continuous Duty Enclosures						15 Minute Duty Enclosures <sup>s</sup>					
			12V	24V	36V	48V	ODP Frame	C Dim.	TEFC Frame	C Dim.	TENV Frame	C Dim.	ODP Frame	C Dim.	TEFC Frame	C Dim.	TENV Frame	C Dim.
1,5	2	1800	146	73	49	37	80	332	80	414	80	421	80	383	80	376	80	344
		2500	146	73	49	37	80	357	80	376	80	370	80	332	80	414	80	319
		4000	146	73	49	37	80	306	80	389	80	319	80	281	80	363	80	344
2,2	3	1800	—	110	73	55	80	370	—	—	—	—	80	370	80	427	80	421
		2500	—	110	73	55	80	332	80	427	—	—	80	332	80	389	80	370
		4000	—	110	73	55	80	357	80	363	80	370	80	319	80	402	80	319
3,0	4	1800	—	146	98	73	80	421	—	—	—	—	80	421	80	465	—	—
		2500	—	146	98	73	80	370	—	—	—	—	80	370	80	414	80	395
		4000	—	146	98	73	80	319	80	402	80	370	80	357	S56	440	80	332
3,7	5	1800	—	183	122	91	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2500	—	183	122	91	80	408	—	—	—	—	80	395	80	465	—	—
		4000	—	183	122	91	80	332	—	—	—	—	80	332	80	389	80	370
4,5	6	1800	—	—	146	110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2500	—	—	146	110	—	—	—	—	—	—	80	421	—	—	—	—
		4000	—	—	146	110	80	395	—	—	—	—	80	344	80	414	—	—
5,2	7	1800	—	—	170	128	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2500	—	—	170	128	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		4000	—	—	170	128	—	—	—	—	—	—	80	370	80	440	—	—
6,0	8	1800	—	—	195	146	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2500	—	—	195	146	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		4000	—	—	195	146	—	—	—	—	—	—	80	395	80	465	—	—

For dimensions, see drawing **L** on page 34.

### Electrical Specifications:

These motors are intended for direct current input having a form factor of 1,0 to 1,05 such as is provided by a battery, generator or solar power. They have linear speed and torque characteristics. The output speed can be adjusted by voltage change using series/parallel battery connections or adjustable voltage controls having a form factor of 1,05 or lower.

### Mechanical Features:

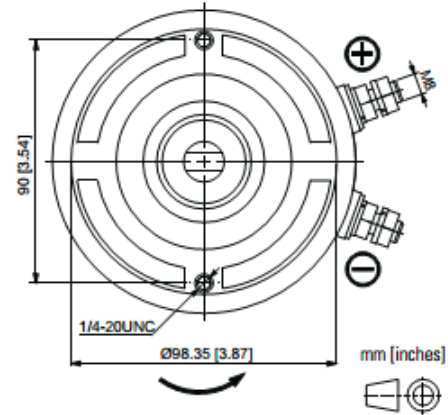
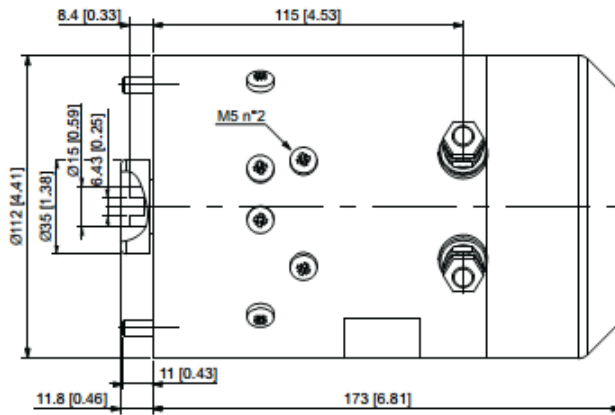
Low-profile "48 frame" barrel. Strong, rolled steel construction with cast aluminum endshields and cast iron bearing inserts. Permanently lubricated sealed ball bearings. Available in a variety of mountings including universal end fixing to accept the IEC 71, 80, 90, 100 or 112 frame B5 flange or B14 face adapter packages, NEMA C face, with or without base, and four-bolt pump mounting. Special mountings quoted on request.



# 25022100



## 24 VDC - 2.2 KW - D.115 MOTOR

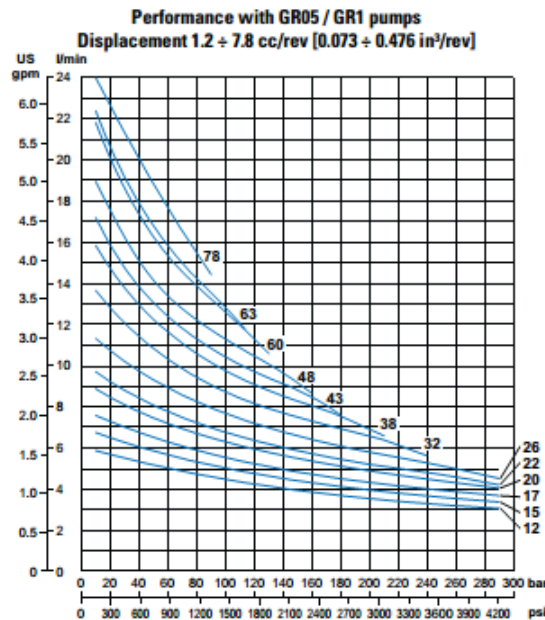
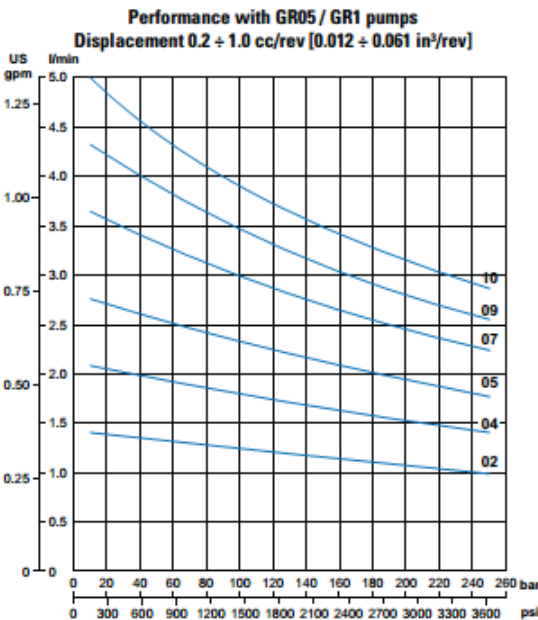


### RATED FEATURES

Voltage	24 VDC
Power	2.2 kW
Nominal diameter	115 mm [4.53 in]
Motor type	Wound field compound
Rotation	CCW
Protection class IP (with motor assembled on hydraulic power pack)	54
S2 / S3 duty service	see curves
Insulation class	F
Weight	6.7 kg [14.77 lb]

### PUMP TYPE

Code	cc/rev.	GR (Size)	Code	cc/rev.	GR (Size)
02	0.25	05	22	2.2	1
04	0.45	05	26	2.6	1
05	0.56	05	32	3.2	1
07	0.75	05/1	38	3.8	1
09	0.9	05/1	43	4.3	1
10	1.0	05/1	48	4.8	1
12	1.2	05/1	60	6.0	1
15	1.5	1	63	6.3	1
17	1.7	1	78	7.8	1
20	2.0	1			





### Electrical Characteristics

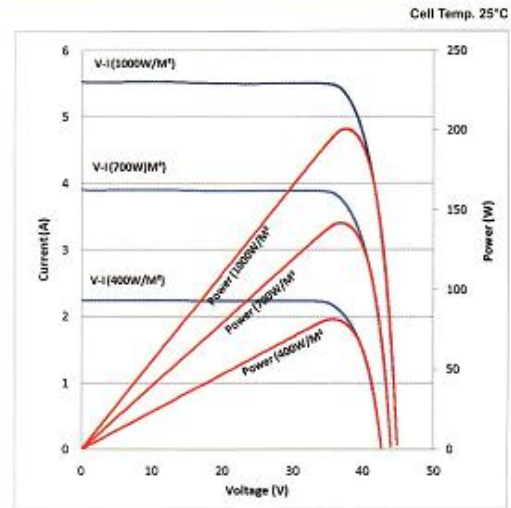
STC	SP 200 Wp Monocrystalline
Optimum Operating Voltage (V <sub>pm</sub> )	37.44 V
Optimum Operating Current (I <sub>mp</sub> )	5.35 A
Open - Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	44.50 V
Short - Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	5.50 A
Maximum Power at STC (P <sub>max</sub> )	200 W
Modul Efficiency	16 %
Operating Module Temperature	-40 °C to +85°C
Maximum System Voltage	1000 V DC
Maximum Series Fuse Rating	15 A
Power Tolerance	+ 0 - 3 %

STC : Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, module temperature 25 °C, AM=1.5;

### Temperature Characteristics

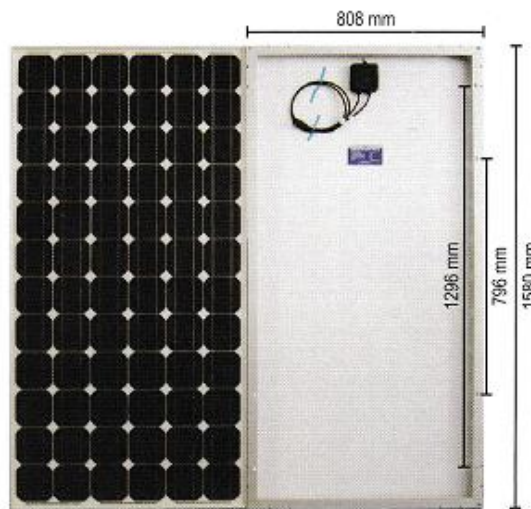
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45 ± 5 °C
Temperature Coefficient of Power	-0.41 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.31 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.047 %/°C

### Current-Voltage & Power-Voltage Curve (SP 200 Wp Monocrystalline)



### Mechanical Characteristics

Solar Cell	Monocrystalline
No. Of Cells	72 (6 X 12)
Dimensions	1580 X 808 X 45 mm
Weight	16.5 Kg
Junction Box	IP65
Diodes	Schottky by-pass diodes
Output Cables	TUV ( 2Pfg 1169 ); PV1-F 1*4mm, Cable with polarized weather proof DC rated ZJRH connectors (MC3 or MC4 type) symmetrical length 1000mm (-) and 1000 mm (+)
Connectors	RADOX® SOLAR integrated twist locking connectors
Construction	Front : High-transmission low-iron,3,2 mm tempered glass; Back cover : Tedlar / TPE / TPT Encapsulant : EVA; Frame : Anodized aluminum alloy



### PT Len Industri (Persero)

Jl. Soekarno-Hatta 442 Bandung 40254 Indonesia  
 Phone : 62-22-5202682 Fax : 62-22-5202695  
 Web : www.len.co.id Email : marketing@len.co.id

TABLE 10.5 Commercial Aircraft Batteries

RATING <sup>(a)</sup>	CONCORDE	CONCORDE SLA	TELEDYNE VLA	TELEDYNE SLA	HAWKER SLA	MARATHON VNC	SAFT VNC
12V/6.5Ah 12V/10Ah 12V/15Ah 12V/18Ah					SBS-15		615
12V/23Ah	CB-25	RG-25	G-25	G-30s	SBS-30		10.15
12V/25Ah 12V/37Ah 12V/65Ah	CB-35 CB-35M	RG-35	G-25M G-35 G-35M	G-35S	SBS-40 SBS-60		
13.2V/36Ah 13.2V/40Ah	CB12-88		G-88			CA-138 SP-138 CA-13 CA-13-1 CA-130	40153 40253 40152
13.2V/42Ah							40353
22.8V/3Ah 22.8V/5.5Ah						CA-13 CA-125 MA-300H CA-51 CA-53 CA-54 MA-500H	19V03KHB
22.8V/6.5Ah 22.8V/7Ah 22.8V/12Ah							605 19V07L 1201 12101
22.8V/13Ah						CA-7 CA-10N CA-515A/B CA-101 CA-103 CA-106 CA-154	
22.8V/14Ah							1277 1277-1 12277
22.8V/15Ah 22.8V/20Ah						CA-20H CA-21H	23175 19V023KHP 2353-1
22.8V/22Ah 22.8V/23Ah							
22.8V/24Ah						CA-4 CA-9 MA-11 CA-24A/B CA-27 CA-272-7 KCA-727 CA-737 CA-5 KA-5h MA-5 CA-747 CA-88A/B MA-2-1 MA-300	
22.8V/40Ah					9750B0818		
22.8V/60Ah 22.8V/65Ah 24V/3Ah 24V/5Ah 24V/8Ah	CB24-9 CB24-9M		G-240 G-241				20V03KHB
24V/10Ah	CB24-11 CB24-11M	RG-24-11M	G-242 G-243 GE-54C GE-54E	G-242S G-243s	9750R0817 9750R0819 9750R0824 9750G082		
24V/14Ah 24V/14Ah		RG-400E	G-640C G-640E			CA-154-5	

(continued)

TABLE 10.5 Commercial Aircraft Batteries (Continued)

RATING <sup>(a)</sup>	CONCORDE	CONCORDE SLA	TELEDYNE VLA	TELEDYNE SLA	HAWKER SLA	MARATHON VNC	SAFT VNC
24V/43Ah			G-63381C G-6381E				4078 4078-4 4078-7 40208 40208-1 40208-2 40378
24V/44Ah 24V/45Ah		RG-380E/40					
24V/48Ah 24V/50Ah	CB24-380C CB24-380E CB24-382E						21931 21932
24V/65Ah 26.4V/7Ah 26.4V/13Ah 26.4V/50Ah						MA-2 CA-121	22V07L 5103

<sup>(a)</sup> Voltage rating is based on 1.2 V per cell for nickel-cadmium and 2.0 V per cell for lead-acid. Capacity rating is based on the one-hour rate.

## LAMPIRAN 3

## STANDARD NEMA

## GENERATORS AND MOTORS

## GENERATORS AND MOTORS

## 7.249

controllers the location of the control point will be the same as the location of the controller. For magnetic controllers the location of the control point will be the point of location of the START and STOP pushbuttons, which may or may not be the same as the location of the controller.

For motors rated over 600 V, the ultimate-trip current of overcurrent (overload) relays or other motor protective devices used shall not exceed 115 percent of the controller's continuous current rating. Where the motor branch-circuit disconnecting means is separate from the controller, the disconnecting means current rating shall not be less than the ultimate trip setting of the overcurrent relays in the circuit.

**380. Overload protection of motors.** Each continuous-duty motor must be protected against excessive overloads under running conditions by some approved protective device. This protective device, except for motors rated at more than 600 V, may consist of thermal relays, thermal release devices, or magnetic relays in connection with the motor controller, fuses, an inverse-time circuit breaker, or a thermal protector built into the motor.

Except for a thermal protector in the motor, the National Electrical Code requires that the protection be as follows:

**1. More Than 1 hp.** Each continuous-duty motor rated more than 1 hp shall be protected against overload by one of the following means:

**a.** A separate overload device that is responsive to motor current. This device shall be selected to trip or shall be rated at no more than the following percentage of the motor-nameplate full-load current rating:

	<i>Percent</i>
Motors with a marked service factor not less than 1.15	125
Motors with a marked temperature rise not over 40°C	125
All other motors	115

For a multispeed motor, each winding connection shall be considered separately. This value may be modified as permitted by Par. 6.

Where a separate motor-running overload device is so connected that it does not carry the total current designated on the motor nameplate, as for Y-delta starting, the proper percentage of nameplate current applying to the selection or setting of the overload device shall be clearly designated on the equipment, or the manufacturer's selection table shall take this into account.

**b.** A thermal protector integral with the motor, approved for use with the motor which it protects on the basis that it will prevent dangerous overheating of the motor due to overload and failure to start. The National Electrical Code specifies the level of protection to be provided by the motor manufacturer. If the motor current-interrupting device is separated from the motor and its control circuit is operated by a protective device integral with the motor, it shall be so arranged that the opening of the control circuit will result in an interruption of current to the motor.

**c.** A protective device integral with the motor that will protect the motor against damage due to failure to start shall be permitted if the motor is part of an approved assembly that does not normally subject the motor to overloads.

1. NEMA standards, which specify mounting dimensions for induction motors and, in general, minimum performance characteristics for all types of motors and control
2. IEEE standards, which specify temperature limits for insulation materials and prescribe the methods of rating and testing apparatus
3. The National Electrical Code, which is the general guide of inspectors in determining acceptability of enclosures, protection, and installation of motors
4. State laws, which stress safety and reduction of fire hazards
5. City ordinances, which may specify particular construction considered necessary locally to avoid fires and accidents

**354. Standard ratings of motors (NEMA standards).<sup>1</sup>** The standard horsepower ratings of motors are 1, 1.5, 2, 3, 5, 7.5, 10, 15, 25, and 35 mhp and  $\frac{1}{20}$ ,  $\frac{1}{12}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{6}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1,  $1\frac{1}{2}$ , 2, 3, 5,  $7\frac{1}{2}$ , 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2250, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 7000, 8000, 9000, 10,000, 11,000, 12,000, 13,000, 14,000, 15,000, 16,000, 17,000, 18,000, 19,000, 20,000, 22,500, 25,000, 27,500, 30,000, 32,500, 35,000, 37,500, 40,000, 45,000, 50,000, 55,000, 60,000, 65,000, 70,000, 75,000, 80,000, 90,000, and 100,000 hp.

The standard full-load speed ratings for constant-speed, integral-horsepower dc motors are 3500, 2500, 1750, 1150, 850, 650, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 225, 200, 175, 150, 110, 100, 90, 80, 70, 65, 60, 55, and 50 rpm.

The standard full-load ratings for small constant-speed dc motors from  $\frac{1}{20}$  to 1 hp are 3450, 2500, 1725, and 1140 rpm.

The standard speeds for 60-Hz synchronous motors are 3600, 1800, 1200, 900, 720, 600, 514, 450, 400, 360, 327, 300, 277, 257, 240, 225, 200, 180, 164, 150, 138, 129, 120, 109, 100, 95, 90, 86, and 80 rpm.

The standard synchronous speeds for 60-Hz, polyphase and single-phase induction motors, except permanent-split-capacitor motors, are 3600, 1800, 1200, 900, 720, 600, 514, 450, 400, 360, 327, 300, 277, 257, 240, and 225 rpm.

The standard synchronous speeds for 60-Hz, single-phase permanent-split-capacitor motors are 3600, 1800, and 1200 rpm.

The approximate full-load speeds of induction motors can be obtained from the synchronous speeds by means of the approximate full-load slips.

The standard voltages are as follows:

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| 1. Direct-current fractional-horsepower motors intended for use on adjustable voltage rectifier power supplies <sup>a</sup> |                                   |
| a. Single-phase primary power source  | 75, 90, 150, or 180 V             |
| b. Three-phase primary power source   | 240 V                             |
| 2. Industrial direct current <sup>a</sup>   | 180, 240, 250, 500, 550, or 700 V |

<sup>1</sup>This material is reproduced with the permission of the National Electrical Manufacturers Association from the NEMA Standards Publication MG 1-1993 copyright © 1995 by NEMA.