

CARA KERJA DAN PENGGUNAAN MOTOR DIRECT CURRENT (DC) PADA KAPAL SELAM ^{*)} Sayuti Syamsuar ^{*)} Rizki Wibawaningrum ^{**)} Hariyanti Makarim ^{***)}

Peneliti Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi BPPT
Mahasiswi Program S2 IIS
Perekayasa Badan Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika BPPT

ABSTRACT

The motor DC is an electromagnetic process on the mechanical and electrical work that the system will be changed the electrical energy as input to the mechanical energy as output response. The Flemming left hand rule to electromagnet field and the current directions have been indicated of the rotor rotation due the speed of marine vehicle. Ward Leonard Rectifier as generator excitation controls the power system on the submarine. We shown on this paper about mini model SOTONG, BPPT and others example to known the application in the field.

Key Words: motor DC, electromagnetism, Flemming, piston tank, submarine.

PENDAHULUAN

Motor arus searah DC telah ada selama lebih dari seabad. Keberadaan motor DC telah membawa perubahan besar sejak dikenalkan motor induksi, atau terkadang disebut *AC Shunt Motor*. Motor DC menggunakan *Silicon Controller Rectifier* untuk memfasilitasi kontrol kecepatan pada motor. Pada motor listrik tersebut terjadi proses konversi energi dari energi listrik menjadi energi mekanik. Motor DC itu sendiri memerlukan suplai tegangan searah dari kumparan jangkar sebagai kumparan medan magnet untuk diubah menjadi energi mekanik. Pada motor DC, kumparan medan magnet disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tagangan (GGL = Gaya Gerak Listrik) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran,

sehingga merupakan tegangan arus bolak-balik. Beberapa contoh penggunaan motor DC diberikan, seperti penggunaannya pada kapal selam.

Mempelajari cara kerja motor listrik arus searah (*Direct Current* = DC) secara teoretikal dan aplikasinya pada model kapal selam SOTONG dan lain-lain.

METODOLOGI

- Mempelajari persamaan matematika sistem kelistrikan pada motor DC.
- Memahami pemodelan matematika motor DC dan fungsi transfer persamaan input-output.

KAJIAN TEORI

1. Prinsip kerja

Pada dasarnya pada motor DC ini prinsip kerja yang digunakan adalah

mengacu pada hukum kekekalan energi, yaitu:

Proses energy listrik = Energi mekanik + Energi panas + Energi di dalam medan magnet

Putaran yang dihasilkan oleh Motor DC menggunakan prinsip gaya *electromagnet*. Bila arus listrik (I) dialirkan melalui suatu konduktor yang ditempatkan pada suatu medan magnet, maka akan timbul gaya mekanis yang arahnya ditentukan oleh aturan tangan kiri (*Teori Fleming*) dengan besaran (*magnitude*) sebagai berikut :

$$F = B I L \dots\dots\dots(1)$$

di mana,

F = gaya mekanis (Newton)

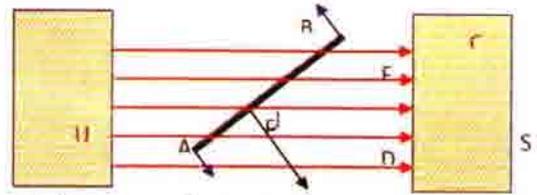
L = panjang kumparan (m)

B = induksi magnet (Web/m)

I = arus listrik (A)

Saat gaya (F) tersebut dibandingkan, konduktor akan bergerak di dalam kumparan medan magnet dan menimbulkan gaya gerak listrik yang merupakan reaksi lawan terhadap tegangan sumber. Agar proses perubahan energi mekanik tersebut dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar dari pada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Pemberian arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan akan menimbulkan perputaran pada motor DC.

Pada Gambar 1 terlihat prinsip kerja motor DC:



Gambar 1 Prinsip kerja motor DC.

yang tidak langsung/*direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus di mana diperlukan penyalaan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Motor DC yang memiliki tiga komponen utama, antara lain:

- a. **Kutub medan.** Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan *bearing* pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan, yaitu medan kutub utara dan medan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.
- b. **Dinamo.** Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub,

sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.

- c. **Commutator.** Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.

Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya.

Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur:

- Ø Tegangan dinamo - meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan
- Ø Arus medan - menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

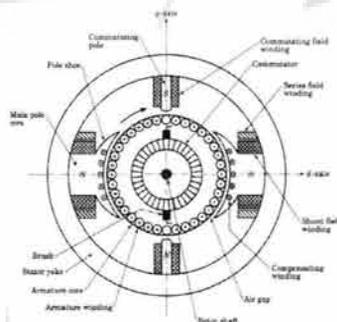
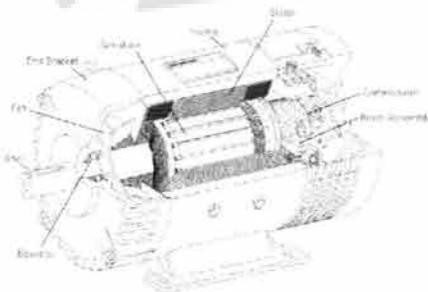
Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian

dasar listrik: *stator* dan *rotor*. Stator merupakan komponen listrik statis.

Rotor merupakan komponen listrik berputar untuk memutar as motor. Keuntungan utama motor DC terhadap motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekwensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus menurunkan dayanya. Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena kehandalannya dan lebih mudah perawatannya. Motor induksi AC cukup murah (harganya setengah atau kurang dari harga sebuah motor DC) dan juga memberikan rasio daya terhadap berat yang cukup tinggi (sekitar dua kali motor DC). Pada Gambar 2 terlihat konstruksi motor DC.

3. Macam-macam motor DC

Klasifikasi motor DC secara umum berdasarkan konstruksi dan mekanisme operasi dibagi menjadi beberapa macam diantaranya adalah :



Gambar 2. Konstruksi motor DC.

Motor DC sumber penguatan terpisah (Separately Excited)

Merupakan jenis motor DC dengan pasokan arus medan dari sumber yang terpisah. Jadi sumber arus medan untuk *field winding* terpisah dari sumber arus medan untuk *armature winding*. Perhatikan gambar 3.

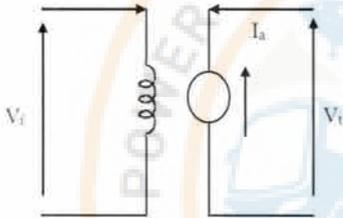
$$V_f = I_f \cdot R_f \dots\dots\dots(2)$$

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a \dots\dots\dots(3)$$

$$E_a = C \cdot n \cdot f \dots\dots\dots(4)$$

di mana,

V_f = voltase dari *field winding*



Gambar 3 Separately excited motor

I_f = arus pada *field*

R_f = tahanan pada *field winding*

V_t = voltase pada *armature winding*

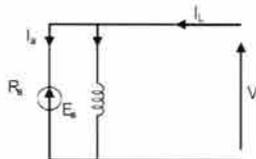
E_a = tegangan balik pada *armature winding*

I_a = arus pada *armature winding*

R_a = tahanan pada *armature winding*

C = konstanta *armature*

n = putaran *armature*



f = flux magnetic

Motor DC penguatan sendiri (*Self Excited*)

Untuk jenis motor DC ini operasinya dibedakan menjadi:

a. **Motor shunt;** di mana sumber arus stator diparalel terhadap arus *armature*

Pada motor *shunt*, gulungan medan (medan *shunt*) disambungkan secara paralel dengan gulungan dinamo (A) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo. (Rodwell International Corporation, 1999):

Persamaan untuk motor *Shunt* adalah :

$$V_f = V_t \dots\dots\dots(5)$$

$$V_t = I_{sh} \cdot R_{sh} \dots\dots\dots(6)$$

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a \dots\dots\dots(7)$$

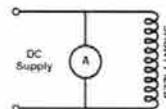
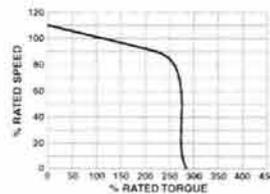
$$E_a = C \cdot n \cdot f \dots\dots\dots(8)$$

di mana

R_{sh} = tahanan dari *shunt field winding*

Berikut tentang kecepatan motor *shunt* (E.T.E., 1997):

∅ Kecepatan pada prakteknya konstan tidak tergantung pada



Gambar 4. Shunt motor equivalent circuit & karakteristik motor DC shunt

beban (hingga *torque* tertentu setelah kecepatannya berkurang, lihat Gambar 4) dan oleh karena itu cocok untuk penggunaan komersial dengan beban awal yang rendah, seperti peralatan mesin.

- Ø Kecepatan dapat dikendalikan dengan cara memasang tahanan dalam susunan seri dengan dinamo (kecepatan berkurang) atau dengan memasang tahanan pada arus medan (kecepatan bertambah).

b. Motor Series; di mana arus stator dipasang seri terhadap arus *armature*.

Dalam motor seri, gulungan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara seri dengan gulungan dinamo (A). Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus dinamo.

Berikut tentang kecepatan motor seri (Rodwell International Corporation, 1997; L.M. Photonics Ltd, 2002):

- Ø Kecepatan dibatasi pada 5000 RPM
- Ø Harus dihindarkan menjalankan motor seri tanpa ada beban sebab motor akan dipercepat tanpa terkendali.

Motor-motor seri cocok untuk penggunaan yang memerlukan *torque* penyalaan awal yang tinggi, seperti derek dan alat pengangkat *hoist* pada gambar 5.

Rodwell International Corporation, 1999.

Persamaan untuk motor *Seri* adalah :

$$I_s = I_L = I_a \text{ dalam hubungan seri (9)}$$

$$V_s = I_s \cdot R_s \dots\dots\dots(10)$$

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a + I_a \cdot R_s \dots\dots\dots(11)$$

$$E_a = C \cdot n \cdot f \dots\dots\dots(12)$$

di mana,

R_s = tahanan dari series *field winding*.

c. Motor Short Compound

Persamaan untuk motor *Short* adalah :

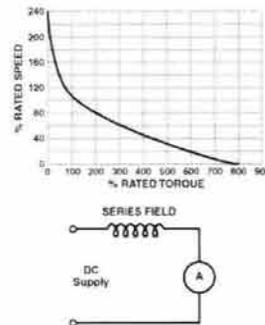
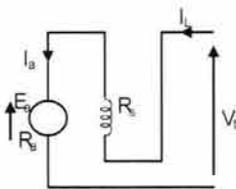
$$I_L = I_{sh} + I_a \dots\dots\dots(13)$$

$$I_L = I_s \dots\dots\dots(14)$$

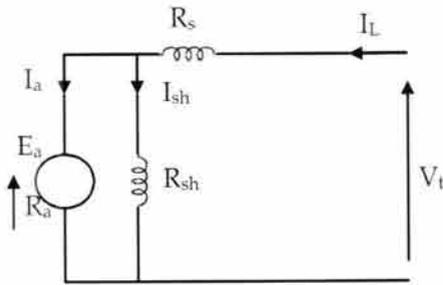
$$V_{sh} = I_{sh} \cdot R_{sh} \dots\dots\dots(15)$$

$$V_s = I_s \cdot R_s = I_L \cdot R_s \dots\dots\dots(16)$$

$$V_{sh} = E_a + I_a \cdot R_a \dots\dots\dots(17)$$



Gambar 5 Equivalent circuit dari motor seri & karakteristik motor seri



Gambar 6 Equivalent circuit dari short motor

$$E_a = C.n.f \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$V_t = V_{sh} + V_s \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$V_t = I_s.R_s + E_a + I_a.R_a \quad \dots\dots\dots(20)$$

d. Motor Long Compound

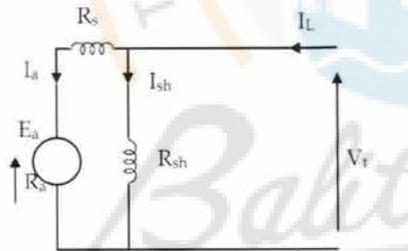
Persamaan untuk motor Long Compound adalah :

$$I_L = I_{sh} + I_a \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$I_a = I_s \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$V_{sh} = I_{sh}.R_{sh} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$V_{sh} = V_t \quad \dots\dots\dots(24)$$



Gambar 7. Equivalent circuit dari long compound type

$$V_s = I_s.R_s = I_a.R_s \quad \dots\dots\dots(25)$$

$$V_t = E_a + I_a.R_a + V_s \quad \dots\dots\dots(26)$$

$$V_t = E_a + I_a.R_a + I_s.R_s \quad \dots\dots\dots(27)$$

$$E_a = C.n.f \quad \dots\dots\dots(28)$$

4. Starting pada motor DC

Prinsip dasar starting motor DC adalah berdasarkan pada persamaan umum tegangan pada motor DC yang dirumuskan sebagai berikut:

$$V_t = E_a + I_a.R_a \quad \dots\dots\dots(29)$$

$$E_a = C.n.f \quad \dots\dots\dots(30)$$

di mana:

V_t = voltase pada *armature winding*

I_a = arus pada *armature winding*

R_a = tahanan pada *armature winding*

E_a = tegangan balik pada *armature winding*

n = putaran *armature*

f = *flux magnetic*

C = konstanta *armature*

Pada saat awal motor dijalankan maka putaran mesin $n = 0$ (nol) sehingga tegangan jangkar $E_a = 0$ (nol) maka pada saat *start* persamaan di atas menjadi :

$$V_t = E_a + I_a.R_a, \text{ karena } E_a = 0, \text{ maka}$$

$$V_t = 0 + I_a.R_a$$

$$I_a = V_t / R_a \quad \dots\dots\dots(31)$$

Biasanya tahanan kumparan jangkar relatif kecil, sehingga arus jangkar (I_a) akan menjadi sangat besar dan jika kondisi ini terjadi maka akan sangat membahayakan bagi motor itu sendiri. Untuk menghindari kondisi tersebut maka terdapat 2 cara yaitu:

- a. Mengatur tegangan terminal (V_t).
- b. Memperbesar tahanan kumparan jangkar (R_a).

Untuk membatasi arus jangkar (I_a) pada saat *start* perlu diberikan tahanan mula yang dipasang seri terhadap tahanan jangkar tersebut. Secara perlahan-lahan kemudian tegangan induksi dibangkitkan dan rotor pun mulai berputar. Bersamaan dengan itu tahanan mula tersebut harus pula diturunkan. Penurunan tahanan mula

yang dipasangkan ini dapat dikerjakan dengan manual atau otomatis (dengan menggunakan *relay* elektromagnetik).

5. Kontrol Putaran

Pengaturan kecepatan memegang peranan penting dalam motor arus searah, karena motor DC memiliki karakteristik kopel-kecepatan yang menguntungkan dibandingkan motor lainnya. Persamaan untuk pengaturan putaran :

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a$$

$$E_a = C \cdot n \cdot f$$

$$E_a = V_t - I_a \cdot R_a$$

$$C \cdot n \cdot f = V_t - I_a \cdot R_a$$

$$n = (V_t - I_a \cdot R_a) / (C \cdot f) \dots\dots\dots(32)$$

Berdasarkan persamaan di atas, maka pengaturan putaran motor dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu dengan mengatur nilai *flux magnet* (*f*), tegangan terminal (*V_t*), dan tahanan kumparan jangkar (*R_a*). Penjelasannya adalah sebagai berikut:

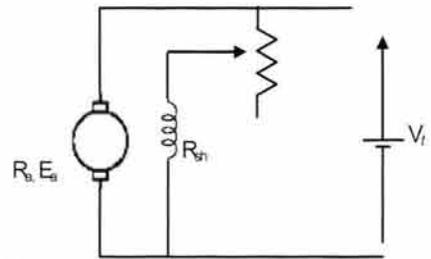
a. Pengaturan kecepatan dengan cara mengatur medan *shunt/flux magnet* (*f*) (seperti pada gambar 8).

Pengaturan ini dapat dilakukan dengan cara menyisipkan tahanan variabel yang dipasang secara seri terhadap tahanan medannya (pada motor *shunt*).

Pengaturan kecepatan dengan metode ini mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- Cara ini sangat sederhana dan murah selain itu rugi panas yang ditimbulkan kecil pengaruhnya.

- Kecepatan terendah didapat dengan membuat tahanan variabel sama dengan nol.



Gambar 8 *Magnetic flux speed control.*

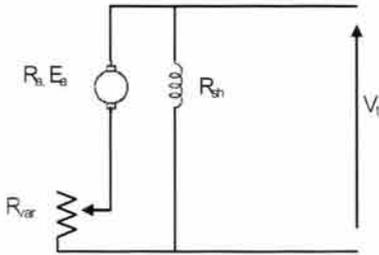
- Kecepatan tertinggi akan dibatasi oleh perencanaan mesin di mana gaya sentrifugal maksimum tidak sampai merusak motor.

- Rugi panas yang timbul sangat rendah
- Sederhana mudah dalam perangkaiannya
- Pengaturan kecepatan seperti ini hanya bisa dilakukan pada motor DC *shunt* dan *compound*.

b. Pengaturan kecepatan dengan cara mengatur tahanan kumparan jangkar (*R_a*). Pengaturan ini dapat dilakukan dengan cara menyisipkan tahanan variabel yang dipasang secara seri terhadap tahanan jangkar, sehingga nilai *I_a R_a* akan dapat dikontrol sehingga harga *n* akan dapat dikontrol. Cara ini jarang dipakai, karena penambahan tahanan seri terhadap tahanan jangkar menimbulkan rugi panas yang cukup besar (seperti pada gambar 9).

c. Pengaturan kecepatan dengan cara mengatur tegangan terminal () (seperti pada gambar 10).

Pada pengaturan kecepatan ini biasanya menggunakan sistem Ward-Lonard dengan motor yang

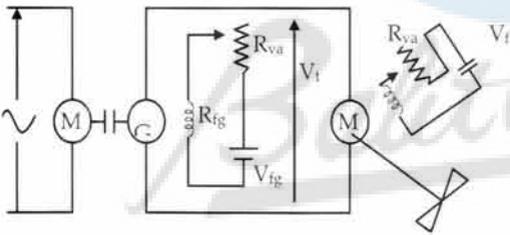


Gambar 9 Armature resistance speed control

berpenguatan bebas. Penggunaan sistem ini biasanya pada industri rolling process seperti fabrikasi kertas, fabrikasi plat baja, dll. Modifikasi sistem ini dapat diterapkan di kapal untuk sistem propulsi kapal dengan skema sebagai berikut:

di mana:

- MI = Motor Induksi
- GDC = Generator DC
- MDC = Motor DC



Gambar 10 Ward Leonard speed control penggerak propeller

- R_{fg} = Kumputan medan generator DC
- V_{fg} = Tegangan medan generator DC
- V_{tg} = Tegangan terminal generator DC

6. Pengereman

Metode untuk melakukan pengereman pada motor DC dibagi menjadi 2 macam yaitu :

- Ø Metode mekanik, yaitu dengan menggunakan sepatu rem.
- Ø Metode elektrik.

Pengereman metode elektrik pada motor DC dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu:

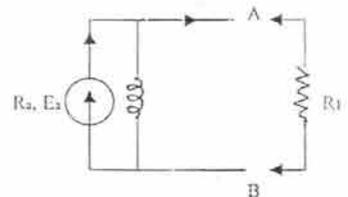
a. Pengereman dinamik

Motor akan berhenti berputar dengan mengikuti prosedur sebagai berikut :

- Switch di terminal di off kan
- R1 akan terhubung dengan terminal motor (terminal A dan terminal B)
- = Pada kondisi ini *remanensi* dari rotasi energi motor menjadi tahanan (R1), membuat putaran motor menurun drastis dan sekarang fungsi motor berubah menjadi generator.
- = Hal ini sangat penting untuk menyimpan torsi dari putaran konstan
- = Kontrol R1 tertutup, I_a akan melakukan penyesuaian, arus jangkar tidak meningkat ($\leq 2 \times I_a$ nominal).

b. Pengeremen regenerative

Pada metoda pengereman ini rotasi energi akan kembali ke sistem dan beban motor akan menurun, sehingga kecepatan (*speed*) motor



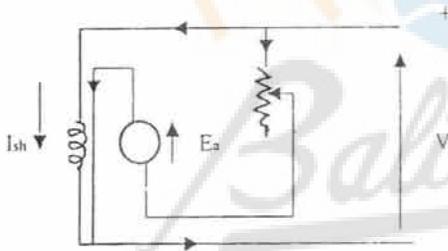
Gambar 11 Rangkaian pengereman dinamik

akan meningkat lebih tinggi dari putaran (rotasi) nominal. Pada kondisi ini $E_a > V_1$ atau motor menjadi generator. Pengereman ini hanya berlaku bagi situasi khusus seperti misalnya pada kereta listrik, crane, dll.

- c. *Plugging* atau pengereman lawan arus (seperti pada Gambar 12).

Metoda ini biasanya dipakai dalam *control elevator rolling mills, printing presses*, dan lain-lain. Pada metoda ini koneksi pada terminal-terminal armature akan terbalik, sehingga motor akan berputar berlawanan arah. Akibat hubungan yang terbalik tersebut, voltase V_1 dan E_a bekerja dalam arah yang sama sepanjang sirkuit.

Untuk membatasi *armature* itu kepada suatu nilai rasional ($\leq 2 \times I_a$ nominal), maka sebuah resistor perlu disisipkan pada rangkaian ketika hubungannya terbalik. *Plug-*



Gambar 12. Rangkaian pengereman lawan arus

ging memberi torsi pengereman lebih besar dibanding pengereman dinamik. Perlu dicatat, meskipun kecepatan motor telah mencapai nol, hubungan ke *supply* listrik menjadi terputus.

Penggunaan Motor DC

Berikut ini adalah beberapa contoh aplikasi motor yang digunakan di kapal, antara lain:

1. Motor Servo.

Motor servo diaplikasikan pada *governor diesel generator*. Motor ini berguna untuk proses sinkronisasi generator.

2. Penggerak alat navigasi.

Contoh : pada *radar scanner*

3. Telemotor.

Contoh : pada *steering gears machinery*.

4. *Electric Steering gears*.

5. *Electric drive propulsion*

Namun di sisi lain, untuk menghemat BBM (Bahan Bakar Minyak), maka ada upaya-upaya menggunakan motor DC sebagai penggerak utama (*prime mover*) *propeller* untuk kapal-kapal kecil, tentunya dengan menggunakan tenaga/energi surya dan baterai/*accu*. Selain itu motor DC juga sangat aplikatif digunakan pada kapal selam (*Submarine*). *Submarine* adalah kapal selam yang mempunyai sistem peralatan kompleks, misalnya sistem kelistrikan DC yang digunakan untuk keperluan mengatur *water ballast* dan untuk memutar *propeller*.

APLIKASI MOTOR DC DI KAPAL SELAM

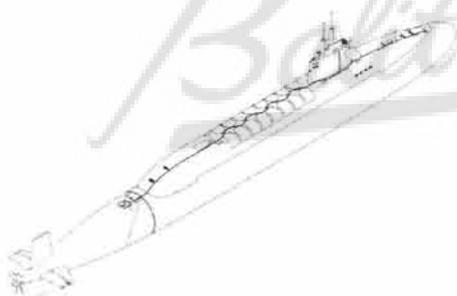
Tulisan ini memaparkan skala model kapal selam yang dikendalikan melalui sistem *remote* menggunakan kabel sebagai media penghubung. Tetapi, terdapat juga baterai yang banyak di dalam lambung model kapal selam tersebut. Pada bagian berikutnya, diuraikan pekerjaan skala laboratorium dengan motor DC sebagai sumber tenaga listrik mini kapal selam

SOTONG tersebut sebagai terapannya. Kondisi operasional menggunakan *wire guidance* sebagai sistem kendali di permukaan, tengah dan bawah kolam. *Water ballast* adalah pengatur berat dan titik seimbang kapal sehingga dapat bergerak sesuai seperti gerak mengapung, melayang dan tenggelam sesuai dengan keinginan operator.

1. Gambaran umum tentang kapal selam

Pada gambar 13 terlihat gambaran salah satu contoh dari model *Lavayette*. Model ini sudah dibuat dan diope- rasikan sesuai dengan kemampuan aktual saat operasional *diving* dan *maneuvering*. Pada bagian pengendalian dibuatkan peralatan dan *software*. Empat permukaan atur mempunyai fungsi masing-masing, seperti: *rudder* sebagai pengatur arah dan gerak *yaw- ing*; *elevator* berfungsi untuk merubah sudut *pitch* dan mengatur kedalaman; dan *sail stabilizer* sebagai penyeimbang bagian ekor.

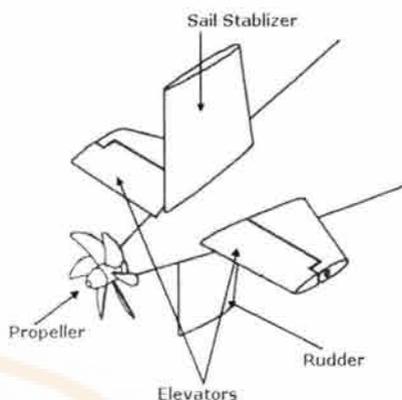
2. Sistem kendali pada kapal selam



Gambar 13 Gambaran model *lavayette*.

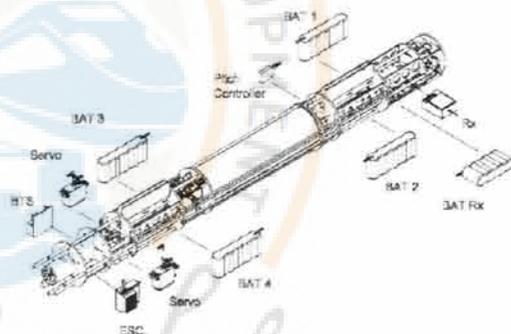
Pada gambar 14 terlihat permukaan atur (*control surface*) seperti *elevator*, *rudder* dan *sail stabilizer* serta *propeller* sebagai penggerak pada kapal selam yang diatur oleh *servo motor*.

3. Sistem kelistrikan pada kapal selam



Gambar 14 Permukaan atur (*control surface*)

Pada Gambar 15 diperlihatkan sistem kelistrikan yang ada pada kapal selam di mana terdapat rangkaian seri dan paralel baterai (*BATT*).



Gambar 15 *Layout* dari sistem kelistrikan pada kapal selam

Pada tabel 1 diperlihatkan presentasi dari pembagian pekerjaan dari berbagai macam motor yang digunakan untuk menunjang fungsi beberapa seksi pada kapal selam.

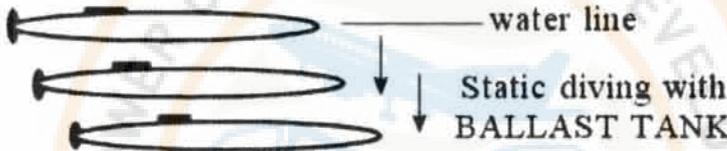
Tabel 1. Fungsi sistem dan jenis motor penggerak

Part	Operation	Control
Propeller	Speed and braking	DC motor
Rudder	Left-right steering	Servomotor
Elevator	Move up/ down	Servomotor
Bow plane	Aids in rapid diving/surfacing	Solenoid
Sail stabilizer	Stabilizes the motion	Servomotor
Piston tank	Control weight by pumping water in/out	DC motor

a. *Water ballast* pada kapal selam

Pada Gambar 16 terlihat posisi kapal selam diatur oleh *water ballast* untuk melakukan *maneuvering* naik dan turun, terdapat *Ballast Tank Switch (BTS)* yang diatur oleh motor DC.

Pada gambar 17 terlihat sebuah motor 12 V DC bergerak rotasi mengatur *spindle* dan piston bergerak keluar-masuk. Gerakan motor ini disesuaikan untuk mengatur *relay* R1 an R2 pada *BTS*.



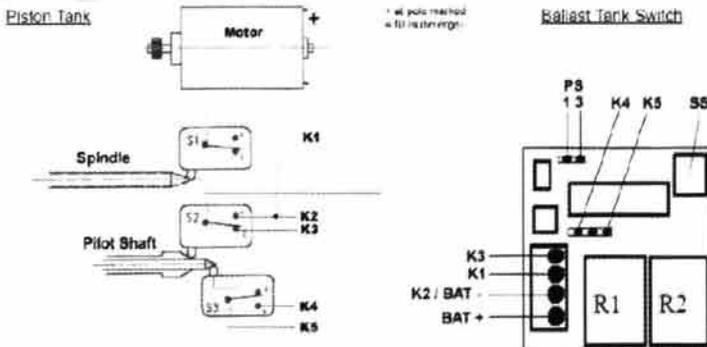
Gambar 16. Posisi naik-turun diatur oleh *water ballast*

Perhitungan *trimming* dan piston *tank (variable ballast)* memberikan pergerakan kedalaman 6 feet. Pengaruh atau distorsi gelombang radio pada kedalaman laut sangat tinggi. Seperti diperlihatkan oleh Tabel 1, di mana motor DC mengatur piston tank untuk mengontrol berat kapal selam.

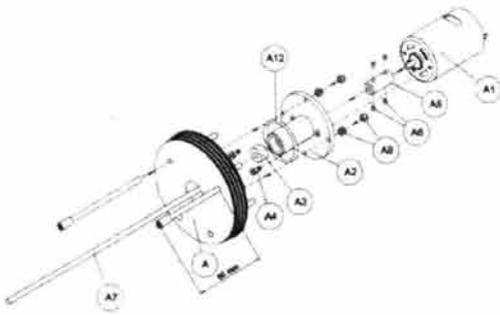
b. Sistem propulsi kapal selam

Perhatikan gambar 18 di mana sistem propulsi digerakkan oleh tenaga motor 12 V DC sekitar 4 A (50 W). Motor DC yang digunakan dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan kapal selam tersebut.

Ballast Tank Switch



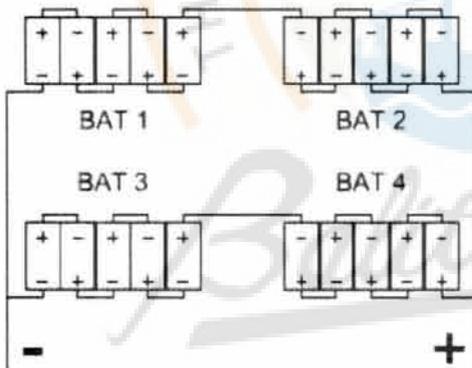
Gambar 17. *Ballast tank switch (BTS)*



Gambar 18. Gantungan motor untuk *propeller*

c. *Power supply* dan *charging*

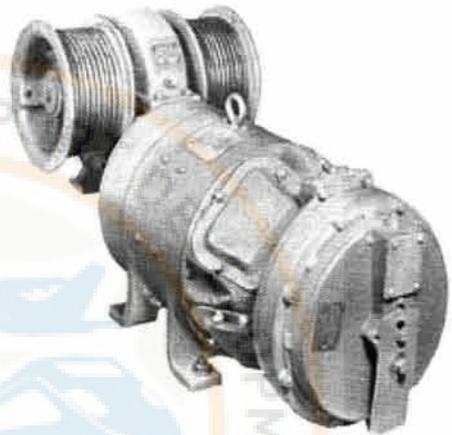
Pada gambar 19 terlihat sebanyak 20 baterai yang dapat di *charge* kembali dengan sel 3000 mAh Ni-MH dihubungkan seri dan paralel sehingga menghasilkan kapasitas 12 V 6000 mAh disusun dalam 4 slot seperti terlihat pada gambar sebelumnya. Baterai ini digunakan sebagai pembangkit energy listrik awal dari motor DC yang digunakan pada kapal selam.



Gambar 19. Susunan baterai pada kapal selam

Untuk memelihara agar baterai mempunyai arus yang konstan, maka lakukan seperti pada gambar 20, di mana tahanan 7805 dapat diubah-ubah.

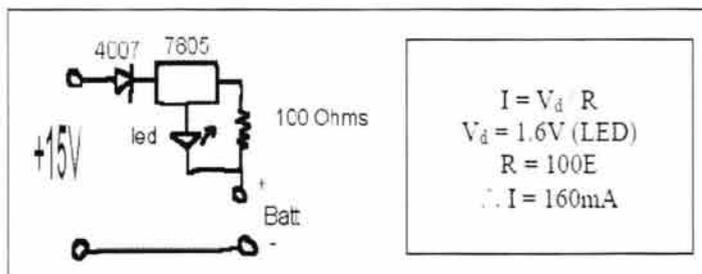
Salah satu contoh motor yang sederhana, motor DC yang digunakan pada kapal selam seperti terlihat pada gambar 21.



Gambar 21. Motor DC dilengkapi alat *periscope* dan antenna dengan *disc magnetic brake*

STUDI PERBANDINGAN

Beberapa contoh yang diuraikan berikut ini akhirnya mengarah pada penggunaan baterai pada model kapal selam Sotong milik BPPT dan prototipe kapal selam KRI Cakra dan KRI Nanggala sebagai sumber energi awal pada wahan tersebut. Hal ini disebabkan kesulitan perolehan data di lapangan tentang penggunaan motor DC dan aplikasinya di kapal.



Gambar 20 Rangkaian *charging* pada kapal selam

1. *Autonomous Underwater Vehicle* SOTONG

Prototipe SOTONG adalah kendaraan benam mandiri nir awak yang dikendalikan melalui sistem *autonomous*. Model dirancang untuk menginformasikan kondisi bawah laut yang berkaitan dengan misi *surveillance* dan *monitoring*. Pengendalian SOTONG melalui unit pengendali di permukaan dan melalui layar monitor komputer diamati pergerakannya di bawah air, di mana modem sonar dipasang sebagai peralatan pengamat. Sedangkan *Global Positioning System* (GPS) adalah sebagai alat sistem navigasi. Perhatikan gambar 22, gambar 23 dan gambar 24.

Spesifikasi teknis SOTONG:

Dimensi:

Panjang : 4400 mm

Diameter : 750 mm

Lebar : 800 mm

Berat wahana : 300 kg (di udara)

Kedalaman operasi : 100 m

Kecepatan jelajah : 4 knots

Power : 15 AH, 150 V.d.c
Bat
tery

Sistem kendali : *Personal computer*

Komunikasi : RS 485

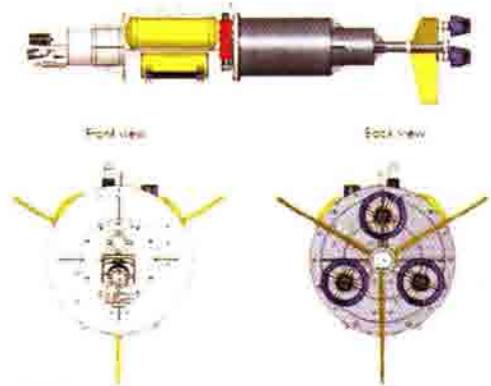
Peralatan navigasi : *3 axis orientation sensor, speed log velocity sensor, depth sensor, USBL tracking system, GPS, Doppler velocity log, single beam altimeter.*

Peralatan pengamat : *Side scan sonar*

Peralatan darurat : *Combo radio beacon, directional finder*

Peralatan komunikasi : *Underwater acoustic modem*

Propulsi : 3 unit *vertical* (@ 1 hp),
brushless thruster.



Gambar 22. Pandangan 3 dimensi SOTONG



Gambar 23. Irisan model kapal selam milik BPPT SOTONG

Wahana benam ini dikembangkan dalam beberapa tahap oleh direktorat penelitian dan pengembangan hankam dibawah bidang prasarana pertahanan air. Wahana benam ini dikembangkan setelah sebelumnya BPPT mengeluarkan teknologi kapal selam mini dengan kemampuan 10 m (1 Bar) untuk kegiatan penelitian bawah laut. Wahana benam yang dikembangkan saat ini bisa menyelam ke kedalaman 200 m (20 Bar). Ketangguhan wahana ini adalah dalam kekuatan materialnya. Selain faktor kestabilan, kendala yang mungkin dialami dikedalaman 200 m adalah kebocoran. Fakor komunikasi menjadi sangat labil, karena wahana benam ini bergerak berdasarkan perintah dari

ruang kontrol yang berada di permukaan laut. Baling-baling yang digunakan menggunakan 3 impeler dengan daya dorong cukup kuat. Dilengkapi dengan tiga sayap pengarah yang memungkinkan SOTONG bergerak dengan lurus. Semua tenaga dihasilkan dengan baterai. BPPT sebagai media penerapannya sudah berkerjasama dengan pihak DEPHAN, untuk mengembangkannya. Kendala saat ini adalah anggaran yang masih dipengaruhi faktor politik dalam negeri. Tahun 2009 akan dikembangkan wahana yang lebih tangguh yang bisa menyelam ke kedalaman 2000 m/200 bar. Tapi karena biaya yang terlalu besar, maka tahun 2008 akan dikembangkan wahana air yang lebih berpenampilan dalam hal pengintaian dan anti sonar yang dinamai Bajul.



Gambar 24. Propeler model kapal selam milik BPPT SOTONG

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil studi perbandingan secara teoretikal dan studi literatur adalah pemahaman terhadap prinsip kerja motor DC sehingga dapat melakukan pemilihan motor DC untuk berbagai keperluan. Pada studi kasus ini diperoleh beberapa kesimpulan tentang aplikasi

motor DC pada kapal selam, sebagai berikut:

- Penggunaan motor listrik DC atau penggunaan baterai (*propeller* dan *piston tank*) pada prototipe kapal selam diperlukan agar tidak terjadi pembuangan residu bahan bakar keluar di mana sebagian besar waktunya berada di bawah permukaan air. Masih ada sistem *servomotor* dan *solenoid* yang digunakan untuk keperluan lain.
- Penggunaan baterai pada model kapal selam SOTONG diperlukan secara keseluruhan yaitu sebagai pembangkit tenaga mekanik dari 3 *propeller* untuk penggerak sistem kemudi dan keperluan peralatan elektronik lainnya. *State of the art* dari teknologi yang diaplikasikan dan dalam sistem kelistrikan pada model SOTONG-BPPT masih dapat dioperasikan selama 3 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- <http://proxy.caw2.com/index> , Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*, Penerbit ITB, hal 138
- B.L. Theraja, *Electrical Technology*, 20th edition, 1984, Nirja Corporation, Ram Nagar - New Delhi.
- Sardono Sarwito, *Diktat Listrik Perkapalan, P3AI-ITS, Due-Like Program*.
- <http://www.ittelkom.ac.id/library/index>, Zuhail, *Karakteristik Motor DC*, 17 November 2008
- <http://www.google.co.id/#q=dasar-dasar+motor+dc&hl> , Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Jakarta: Gramedia, 1988

Imran Ali Namazi, *Submarine control system*, a project report, ANNA University, Chennai 600 025, April 2005.

Albertus Rianto Suryaningrat, *Wahana benam air "SOTONG"*, BPPT Report, 11-08-2008.

Muljowidodo K, Sapto Adi N, Nico Prayogo, Agus Budiyo, *Sloshing effect inside fairing of SOTONG ITB-AUV*, BPPT report, 2009.

John Buckingham, Jacob Mann, *Multi-Engine submarine power supplies: The operating case*, BMT Defense Services Ltd, Batah, United Kingdom, paper presented at the Pacific 2010 conference held in Sydney, Australia.

John Buckingham, 2008, *Submarine Power and Propulsion -Application of Technology to Deliver Customer Benefit*, BMT Defense Services Ltd, Batah, United Kingdom, UDT Europe, Glasgow.

Robert C. Altshuler, etal, project ORCA-VI: *An Autonomous Underwater Vehicle*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge,

Urip Mudjiono, 2003, *Penentuan kapasitas dan alternatif sistem pengisian battrey pada propulsi elektrik kapal selam*, Tesis S2, Program Pascasarjana, Program Studi Teknik Sistem Pengendalian Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Chap4.htm

Chap5.htm

Sayuti Syamsuar, Rizki Wibawaningrum, 2010, *Motor DC dan Aplikasinya di kapal*, program pasca sarjana ITS, Surabaya.

Jurnal Warta Penelitian Perhubungan, ISSN. 0852-1824, Terakreditasi B, Departemen Perhubungan, Badan Penelitian dan Pengembangan Perhubungan, Jl. Merdeka Timur No. 5, Jakarta 10110.

*) Peneliti Madya di Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi, Kedeputusan Teknologi Industri Rancang Bangun dan Rekayasa, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Jakarta.

Mahasiswa Program S3 di Jurusan Teknik Sistem dan Pengaturan Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

**) Mahasiswi Program S2, Jurusan Teknik Sistem dan Pengaturan Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

**) Perekayasa Madya di Badan Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika (BPPH), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Surabaya