

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI & TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Deskripsi proses dan Sistem di kapal**

a) Electric propulsion

Propulsi elektrik adalah sistem propulsi yang menggunakan energi listrik untuk menggerakkan kapal untuk mengefisiensi bahan bakar. Energi matahari yang dihasilkan untuk diserap melalui Panel Surya yang terletak pada *container* paling atas. Panel Surya terdiri dari kumpulan sel-sel surya yang tiap-tiap selnya terdiri dari dua lapisan silikon yang saling menempel. Cara kerja panel surya diwakilkan oleh tiap-tiap lapisan yang digunakan untuk membentuk suatu medan listrik sehingga elektron dapat diolah menjadi listrik. Kemudian aliran listrik dialirkan ke baterai untuk menyimpan daya listrik yang selanjutnya listrik dialirkan ke motor listrik *propeller (Ducted Propeller)*. (10)

b) *Electrical Consumption*.

Untuk konsumsi daya listrik menggunakan sumber energi yang sama dengan *Electric Propulsion* memanfaatkan energi matahari untuk diserap ke panel surya, kemudian di alirkan ke baterai melalui *charge control battery* agar mengatur *overcharging/overvoltage* yang diterima pada baterai, kemudian arus listrik DC dikonversi menjadi AC dengan *Inverter*, setelah itu kebutuhan listrik dikapal dibagi-bagi melauai *Switch Board*. (11)

#### **2.2 Cahaya Matahari**

Matahari adalah bidang material gas yang sangat panas, dengan besar diameter 110 kali lebih besar daripada bumi. Matahari membutuhkan 4 minggu sekali untuk satu kali berputar mengelilingi bumi. Matahari memiliki suhu efektif sekitar 5777 K atau sekitar 5503°C. (12)

Diperkirakan bahwa 90% energi matahari diproduksi pada daerah 0 sampai 0,23R (R adalah jari-jari matahari), 40% dari masa matahari terkandung pada daerah ini. Pada daerah 0,7R dari pusat temperatur jauh menurun sampai sekitar

130,000 K dan massa jenis jauh menurun sampai  $70 \text{ kg/m}^3$  disini proses konveksi mulai menjadi bagian yang penting dan zona 0,7 sampai 1R dikenal dengan *convection zone*. Lapisan paling luar dari *convection zone* disebut *photosphere*. Pada lapisan ini gas-gas yang telah tersusun terionisasi sangat kuat dan mampu mengabsorpsi dan mengemisikan *spectrum* radiasi secara terus menerus. *Photosphere* merupakan sumber dari radiasi matahari. (12)

Nilai konstan ini bukanlah besarnya radiasi yang sampai dipermukaan bumi. Atmosfir bumi mereduksi atau mengurangi radiasi matahari tersebut melalui proses pemantulan, penyerapan (oleh ozon, uap air, oksigen dan karbon dioksida) dan penghamburan (oleh molekul-molekul udara, partikel debu atau polusi). Untuk cuaca yang cerah pada siang hari, irradiant yang mencapai permukaan bumi adalah  $1000 \text{ W/m}^2$ . Nilai ini relatif terhadap lokasi. Insolasi (energi radiasi) maksimum terjadi pada hari yang cerah namun berawan sebagian. Ini karena pemantulan radiasi matahari oleh awan sehingga insolasi (energi radiasinya) dapat mencapai  $1400 \text{ W/m}^2$  untuk periode yang singkat. (12)

Pancaran matahari merupakan radiasi elektromagnetik yang luar biasa banyak. Dalam kaitannya dengan sel surya yaitu perangkat pengkonversi radiasi matahari menjadi listrik, terdapat dua parameter penting dalam energi surya : pertama intensitas radiasi, yaitu jumlah daya matahari yang datang kepada permukaan per luas area, dan karakteristik spektrum cahaya matahari. (12)

### **2.3 Panel Sel Surya**

Panel surya adalah komponen elektronika dengan mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak *Solar Cell* yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek *Photovoltaic*.

### 2.3.1 Ada beberapa jenis panel surya yaitu :

#### 1. *Amorphous silicon solar cell (A-Si)*

Silikon *amorf* adalah bentuk alotropik nonkristal dari silikon semi konduktor. *Amorf* ini memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi dan karena itu dapat digunakan dalam sel surya dengan ketebalan yang sangat kecil.

Untuk segi keuntungan utama sel surya silikon *amorf* adalah biaya pembuatannya relatif murah, amorphous dapat diproduksi dalam berbagai bentuk dan ukuran (misalnya, bulat, persegi, heksagonal) atau bentuk kompleks lainnya. Ini membuatnya menjadi teknologi yang ideal untuk digunakan dalam berbagai aplikasi seperti lampu taman jam tangkal sel surya, dan lainnya. Untuk segi kekurangan, panel ini memiliki efisiensi yang rendah daripada sel surya monokristal, atau bahkan sel poli kristal. Daya hidup yang dikeluarkan sel *amorf* lebih pendek/sebentar dibandingkan daya hidup sel kristal. (13)



Gambar 2.1 silikon amorf

(Sumber ockhem.com)

#### 2. *Monocrystalline solar cell*

*Monocrystalline solar cell* yaitu sel surya yang terdiri dari satu kristal silikon yang dapat diidentifikasi dengan warna hitam gelap. Jenis panel ini merupakan penemuan panel surya terbaik karena jenis panel ini biasanya memiliki tingkat efisiensi tinggi sekitar (15-20%), selain itu dapat bekerja lebih baik meskipun intensitas cahaya rendah/mendung, kurangnya dari sel ini adalah sensitif terhadap kotoran dan bayangan dan biaya dan perawatan yang mahal. (13)



Gambar 2.2 panel *monokristalin*  
(Sumber indonesian.monokristalin)

### 3. *Policrystalline solar cell*

*Policrystalline solar cell* yaitu sel surya yang terdiri dari beberapa kristal silikon yang dilebur dan dituangkan kedalam cetakan persegi. Keunggulan dari sel surya ini adalah pembuatannya yang lebih mudah dengan limbah silikon yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan sel *monocrystalline*, selain itu ada kekurangan dari sel surya ini adalah membutuhkan permukaan yang lebih besar untuk menghasilkan daya listrik yang sama seperti panel surya *monocrystalline*. (13)



Gambar 2.3 *polikristalin*  
(Sumber indoneisan polikristalin.com)

### **2.3.2 Karakteristik Solar Cell / Panel Surya**

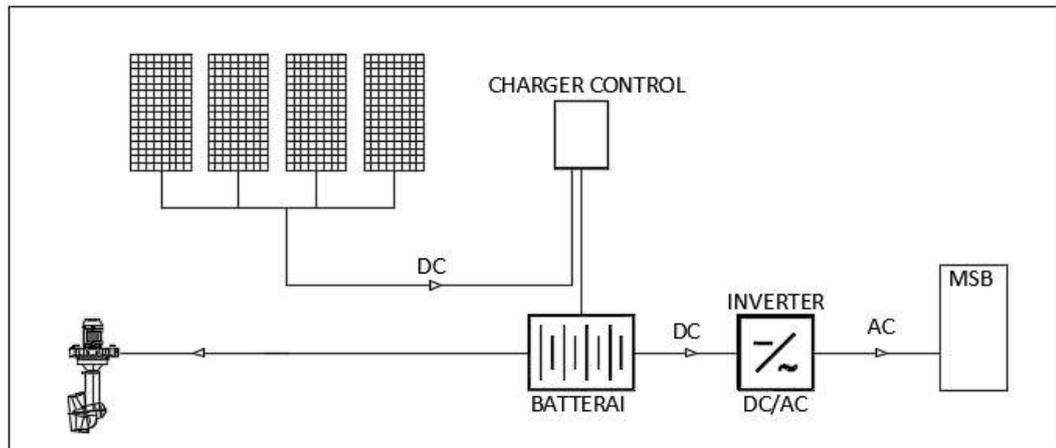
*Solar Cell* pada umumnya memiliki ketebalan 0,3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub (+) dan (-) Apabila suatu cahaya jatuh pada permukaan maka pada kedua kutubnya timbul perbedaan tegangan yang tentunya dapat menyalakan lampu, menggerakkan motor listrik yang berdaya DC. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar bisa menghubungkan *Solar Cell* secara seri dan paralel tergantung sifat penggunaannya. Prinsip dasar pembuaan *Solar Cell* adalah memanfaatkan efek *Photovoltaic* yakni suatu efek yang dapat merubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik.

### **2.3.3 Cara Kerja Solar Cell / Panel Surya**

Prinsip kerja dari panel surya adalah jika cahaya matahari mengenai panel surya, maka elektron-elektron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P sehingga pada terminal keluaran dari panel surya akan menghasilkan energi listrik. Besar-nya energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berbeda-beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan didalam panel surya tersebut. Keluaran dari panel surya ini adalah berupa listrik arus searah (DC) yang besar tegangan keluarannya tergantung dengan jumlah sel surya yang dipasang didalam panel surya dan banyaknya sinar matahari yang menyinari panel surya tersebut (14)

Kemudian cara kerja sistem modul panel surya pada saat bongkar muat dipelabuhan yaitu antara lain sebagai berikut :

1. Pertama yang harus di turunkan pada saat bongkar muat adalah 64 modul panel surya beserta dudukan yang berada pada permukaan atas kontainer (paling atas) dengan menggunakan *crane* darat.
2. Setelah itu barulah menurunkan kontainer – kontainer yang ada pada kapal dengan menggunakan *crane* darat.



Gambar 2.4. Skema Cara Kerja Panel Surya

(Sumber pribadi autocad.com)

## 2.4 Komponen Penyimpanan Daya / *Storage*

### 2.4.1 Baterai

Baterai adalah alat penyimpan daya yang dihasilkan oleh panel surya ketika beban daya dari panel surya melebihi beban yang dibutuhkan. Daya yang disimpan dapat digunakan saat periode radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Komponen baterai kadang-kadang dinamakan akumulator (*accumulator*). Baterai menyimpan listrik dalam bentuk daya kimia. Baterai yang paling biasa digunakan dalam aplikasi surya adalah baterai yang bebas pemeliharaan bertimbang asam (*maintenance-free lead-acid batteries*), yang juga dinamakan baterai *recombinant* atau VRLA (klep pengatur asam timbal atau *valve regulated lead acid*). (11)

Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem fotovoltaik, yaitu untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh *array* panel-panel surya, dan untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban. Baterai tersebut mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu adanya matahari, *array* panel menghasilkan daya listrik. Daya yang tidak digunakan dengan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Selama waktu tidak adanya matahari, permintaan daya listrik disediakan oleh

baterai, yang oleh karena itu akan mengeluarkannya. Ada beberapa jenis baterai yaitu NiCD, NiCad, Li-Po dan Li-Ion (*lithium*). (11)

Baterai *lithium* yaitu baterai yang menggunakan bahan *ion lithiium* sebagai komponen kunci dari elektrokimia. Baterai *lithium* mampu memiliki tegangan yang sangat tinggi dan mengisi daya penyimpanan per satuan massa dan satuan volume. Baterai *lithium* pada umumnya digunakan pada mobil listrik dan listrik *hybrida*.

Keuntungan menggunakan baterai *lithium* yaitu antara lain :

- Dapat memberikan arus dalam jumlah besar untuk aplikasi berdaya tinggi.
- Biaya perawatan relatif rendah.
- Memiliki tingkat *self-discharge* rendah sekitar 1,5-2% per bulan.
- Baterai *lithium* tidak mengandung cadmium beracun.

Kelemahan menggunakan baterai *lithium* yaitu antara lain :

- Baterai *lithium* memiliki kecenderungan terlalu panas.
- Dapat rusak pada tegangan tinggi.
- Harus memiliki mekanisme keselamatan agar dapat membatasi tegangan dan tekanan internal yang dapat membatasi kinerja dalam beberapa kasus yang terjadi.



Gambar 2.5. Battery Lithium

(Sumber baterai lithium PV Pasca Sarjana)

### 2.4.2 Charger Control Battery

*Solar Charge Controller* adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena batere sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari *solar module*. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. *Charge controller* menerapkan teknologi Pulse width modulation (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. *Solar module 12 Volt* umumnya memiliki tegangan output 16–21 Volt. Jadi tanpa *solar charge controller* baterai akan rusak oleh *over-charging* dan ketidakstabilan tegangan. (15)

Fungsi charge control battery sebagai berikut :

- Mengatur mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharge-ing*, dan *overvoltage*.
- Arus yang dibebaskan / diambil dari baterai agar baterai tidak '*full discharge*', dan *overloading*.
- Monitoring temperatur baterai Untuk membeli *solar charge controller* yang harus diperhatikan adalah: *Voltage 12 Volt DC / 24 Volt DC*
- *Full charge* dan *low voltage cut*



Gambar 2.6. *charge controller*

(sumber charge controller PV Pasca Sarjana)

### 2.4.3 Inverter

*Inverter* adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk mengubah tegangan masukan DC menjadi masukan tegangan keluaran AC. Keluaran inverter dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan yang tetap. Sumber tegangan masukan inverter dapat menggunakan baterai, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. (16)



Gambar 2.7. inverter  
(sumber inverter PV Pasca Sarjana)

### 2.5 Turbin Gas.

Gas turbin yaitu suatu mesin yang memanfaatkan gas fluida untuk memutar turbin dengan pembakaran intern. Didalam mesin ini energi kinetik dikonversi menjadi energi mekanik lewat udara bertekanan yang memutar roda turbin sehingga dapat menghasilkan daya. Sistem gas turbin yang paling dikenal terdiri dari tiga komponen antara lain kompresor, ruang bakar, dan turbin gas. (17)

Udara masuk kedalam kompresor melalui jalur masuknya udara (*inlet*). Kompresor yang berfungsi untuk menghisap dan menaikkan tekanan udara tersebut, sehingga temperatur udara juga akan meningkat. Kemudian udara bertekanan ini masuk kedalam ruang bakar. Di dalam ruang bakar dilakukan proses pembakaran dengan cara mencampurkan udara bertekanan dan bahan bakar. Proses pembakaran tersebut berlangsung dalam keadaan tekanan konstan sehingga dapat dikatakan ruang bakar hanya untuk menaikkan temperatur. Gas hasil pembakaran tersebut dialirkan ke turbin gas melalui suatu *nozzel* yang berfungsi untuk mengarahkan aliran tersebut ke sudu-sudu turbin. Daya yang dihasilkan oleh turbin gas tersebut digunakan untuk memutar kompresornya sendiri dan memutar beban

lainnya seperti generator listrik, dll. Setelah melewati turbin ini gas tersebut akan dibuang keluar melalui saluran buang (*exhaust*). (17)

Secara umum proses yang terjadi pada suatu sistem turbin gas adalah sebagai berikut:

- Pemampatan (*compression*) udara di hisap dan dimampatkan
- Pembakaran (*combustion*) bahan bakar dicampurkan ke dalam ruang bakar dengan udara kemudian di bakar.
- Pemuaian (*expansion*) gas hasil pembakaran memuai dan mengalir ke luar melalui nozel (*nozzle*).
- Pembuangan gas (*exhaust*) gas hasil pembakaran dikeluarkan lewat saluran pembuangan.

Pada kenyataannya, tidak ada proses yang selalu ideal, tetap terjadi kerugian-kerugian yang dapat menyebabkan turunnya daya yang dihasilkan oleh turbin gas dan berakibat pada menurunnya performa turbin gas itu sendiri. Kerugian-kerugian tersebut dapat terjadi pada ketiga komponen sistem turbin gas. Sebab-sebab terjadinya kerugian antara lain:

- Adanya gesekan fluida yang menyebabkan terjadinya kerugian tekanan (*pressure losses*) di ruang bakar.
- Adanya kerja yang berlebih waktu proses kompresi yang menyebabkan terjadinya gesekan antara bantalan turbin dengan angin.
- Berubahnya nilai  $C_p$  dari fluida kerja akibat terjadinya perubahan temperatur dan perubahan komposisi kimia dari fluida kerja.
- Adanya mechanical loss, dsb.

## 2.6 Motor Listrik dan Sistem *Propeller*

### 1. Motor Listrik

Motor listrik merupakan alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Tapi sebaliknya jika energi mekanik menjadi energi listrik yaitu generator / dinamo. Di motor listrik, tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan yang dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut dengan elektro magnet. Sebagaimana sifat kutub-kutub dari magnet yang sama akan tolak menolak, jika kutub magnet yang tidak sama akan saling tarik-menarik. (18)

Motor listrik yang umumnya di gunakan di industri ada dua standar *global* yaitu, *Internasional Electrotechnical Comission* (IEC), dan *National Electric Manufaktur Assosation* (NEMA). Motor IEC berbasis *metrix (milimeter)*, sedangkan motor listrik NEMA berbasis *imperial (inch)* dalam aplikasi satuan daya *horsepower (hp)* maupun *kilowatt (kW)*. (18)

#### a) Motor DC (searah)

Sama pada motor listrik pada umumnya, yang sistemnya mengubah energi listrik menjadi energi mekanik atau motor arus searah (DC) yaitu suatu mesin yang berfungsi mengubah tenaga listrik arus searah menjadi tenaga gerak, tenaga gerak tersebut dapat berupa kecepatan/putaran pada rotor.

Penggunaan motor DC dalam kehidupan sehari yaitu antara lain :

- Motor stator mobil.
- *Tape recorder*.

Dalam bidang industri dan pabrik yaitu :

- *Conveyer*.
- *Elevetor*.
- Traksi.
- Tram listrik.

b) Motor AC (arus bolak balik)

Motor AC yaitu motor listrik yang digerakkan oleh *Alternating Current* / arus bolak balik (AC). Pada dasarnya motor listrik AC terdiri dari dua komponen penting yaitu, stator dan rotor. Stator adalah bagian yang diam dan letaknya berada diluar. Stator mempunyai coil yang di aliri arus listrik bolak-balik dan nantinya akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Sedangkan rotor adalah bagian yang berputar dan letaknya ada di dalam (disebelah dalam stator). Rotor bisa bergerak karena adanya torsi yang bergerak pada poros ketika torsi tersebut dihasilkan oleh medan magnet yang berputar. (18)

Berdasarkan karakteristik dari arus listrik yang mengalir bolak balik, terdiri dari 2 jenis yaitu :

➤ Motor listrik sinkron

Yaitu motor AC yang bekerja pada kecepatan tetap pada frekuensi tertentu. Jenis ini memerlukan arus searah DC untuk membangkitkan daya dan memiliki torsi awal yang rendah, maka motor sinkron ini cocok untuk penggunaan awal dengan beban yang rendah. Motor AC jenis ini memiliki komponen penting yaitu stator dan rotor. (18)

➤ Motor listrik induksi

Yaitu motor listrik arus bolak balik AC yang paling luas digunakan. Motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet ke statornya, dimana arus rotor bukan didapat dari sumber tertentu, tetapi dari akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator. motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3 fase dan 1 fase, motor induksi 3 fase dioperasikan dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar dan motor induksi 1 fase digunakan pada rumah tangga, seperti kipas angin, lemari es, pompa air dan mesin cuci. Karena motor listrik induksi 1 fase ini memiliki keluaran yang rendah. (18)

## 2. Sistem *Propeller*

Secara umum alat gerak kapal dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu alat gerak kapal non-mekanik dan yang mekanik. Alat gerak kapal yang non-mekanik yaitu Dayung dan Layar, sedangkan alat gerak kapal yang mekanik saat ini terbagi atas beberapa jenis antara lain adalah (19)

- *Fixed Pitch Propeller.*
- *Controllable Pitch Propeller.*
- *Waterjet Propulsion System.*
- *Ducted Propeller.*
- *Azimuth Propeller.*

Beban gaya dorong yang dimiliki *Ducted Propeller* memberikan efisiensi yang cukup rendah. Sedangkan beban gaya dorong yang rendah sebaliknya memberikan efisiensi yang tinggi, maka efisiensi baling baling dapat ditingkatkan. Berarti peningkatan propulsif kapal dengan menurunkan beban gaya dorong. (20)

Beban gaya dorong dapat berubah dengan dipasangkannya foil udara mengelilingi baling-baling, sehingga membentuk satu unit baling baling yang diselubungi atau unit baling-baling dalam tabung *noozle* atau biasa disebut tabung kort. (20)

## 2.7 Sistem Propulsi Lengkap Kapal *Hybrid*

Sistem propulsi kapal hybrid adalah suatu kombinasi antara penggerak kapal dengan beberapa mesin, antara lain :

- Mesin *diesel* dan motor listrik
- Mesin *diesel* dan gas *turbine*
- Gas turbin dan motor listrik panel surya
- Mesin gas dan mesin *diesel*, dan sebagainya

Serta ada pula sistem *hybrid* yang sama sekali tidak menghasilkan emisi gas buang yaitu konversi tenaga surya ke motor listrik untuk menghasilkan tenaga gerak untuk *propeller* jenis *Ducted Propeller Electric*. (21)

*Hybrid* sistem ini selain dapat mengefisiensikan pemakaian bahan bakar juga dapat memberikan efisiensi ruang/kamar mesin pada kapal. Pada tahun 1930, propulsi elektrik sudah banyak digunakan dan menerapkan pada motor AC, sedangkan untuk DC propulsion hanya dikonversi melalui inverter menjadi arus AC. (21)

Pada sistem panel surya, sinar matahari yang ditangkap oleh panel surya dan selanjutnya akan dikonversi menjadi arus DC, setelah itu melewati arus *Solar Charge Controller*, arus listrik akan disimpan dalam baterai. Arus listrik yang tersimpan di baterai akan disalurkan ke peralatan yang membutuhkan energi listrik dan salah satunya yaitu motor listrik yang dimana untuk menggerakkan *Ducted Propeller*. (21)