

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di sektor perikanan, khususnya pada kapal penangkap ikan, terus mengalami peningkatan seiring dengan kemajuan teknologi serta tuntutan operasional yang semakin efisien dan berorientasi pada keberlanjutan lingkungan. Salah satu alternatif yang kini banyak diterapkan adalah pemanfaatan energi terbarukan, terutama melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Namun demikian, karakter energi surya yang tidak stabil dan bergantung pada kondisi cuaca menyebabkan perlunya sistem penyimpanan energi yang handal, sehingga pasokan listrik tetap terjamin, terutama pada malam hari atau ketika intensitas sinar matahari menurun (Fadilla et al., n.d.).

Dengan kemajuan teknologi di bidang energi terbarukan, energi surya menjadi salah satu sumber alternatif yang ramah lingkungan dan hemat biaya. Melalui panel surya, sinar matahari dapat dikonversi menjadi listrik dan disimpan dalam baterai untuk digunakan pada malam hari.

Baterai memiliki peran penting sebagai penyimpan energi dalam sistem tenaga surya. Dua tipe baterai yang sering digunakan adalah baterai timbal-asam dan baterai lithium. Baterai timbal-asam telah digunakan sejak lama karena harganya yang lebih murah dan mudah didapat. Meski begitu, jenis ini memiliki kekurangan seperti berat yang besar, efisiensi yang rendah, dan masa pakai yang pendek. Sebaliknya, baterai lithium unggul dalam hal bobot yang lebih ringan, efisiensi yang lebih baik, masa pakai yang lebih lama, serta kapasitas penyimpanan energi yang lebih tinggi, walaupun harganya relatif lebih mahal.

Pemilihan tipe baterai yang tepat pada kapal perikanan memiliki peranan penting dalam menjamin keandalan sistem penerangan, meningkatkan efisiensi operasional, serta mengoptimalkan pengeluaran biaya dalam jangka panjang. Performa baterai tidak hanya ditentukan oleh spesifikasinya, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, termasuk faktor suhu serta fluktuasi intensitas radiasi matahari. Oleh sebab itu, kajian komparatif antara baterai lithium dan Lead Acid pada sistem penerangan berbasis energi surya di kapal ikan menjadi hal yang krusial guna menentukan solusi penyimpanan energi yang paling efektif, ekonomis, dan berkelanjutan.

Perbandingan kinerja kedua jenis baterai pada kapal ikan berbasis tenaga surya sangat penting untuk menentukan pilihan yang paling optimal dari segi teknis,

ekonomis, dan keberlanjutan operasional kapal. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul: **“ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA BATERAI LITHIUM DAN LEAD ACID PADA KAPAL IKAN BERBASIS TENAGA SURYA.”**

1.2 Teori

1.2.1 Definisi Kapal Ikan

Kapal ikan merupakan wahana apung yang dirancang secara khusus untuk menunjang aktivitas penangkapan serta pengangkutan hasil perikanan. Kegiatan tersebut dijalankan dengan bantuan sistem penggerak, baik secara tradisional seperti dayung dan layar (tenaga angin), maupun menggunakan mesin. Dalam sektor perikanan, kapal memiliki peran yang sangat vital sebagai sarana utama dalam proses pemanfaatan sumber daya perairan, terutama sebagai unit operasional yang mendukung kegiatan penangkapan dan distribusi ikan di laut (UU RI No. 31, 2004).

1.2.2 Energi Surya Sebagai Sumber Energi Terbarukan

Besarnya potensi energi surya yang dimiliki Indonesia semestinya menjadi landasan utama dalam mendorong pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Ketersediaan sinar matahari yang melimpah dan dapat dimanfaatkan secara gratis di seluruh wilayah Indonesia membuka peluang besar untuk menekan ketergantungan terhadap bahan bakar minyak (BBM) melalui pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT). Kondisi ini menghadirkan tantangan sekaligus peluang strategis, khususnya dalam pengembangan kapal nelayan yang ramah lingkungan. Penerapan baterai dan motor listrik sebagai sistem penggerak kapal mampu meningkatkan efisiensi serta efektivitas operasional, sekaligus menjadi solusi alternatif dalam menghadapi kenaikan harga BBM yang terus meningkat (Asri et al., 2022)

1.2.3 Panel Surya

Panel surya merupakan susunan sel surya yang dirangkai dalam konfigurasi seri maupun paralel sesuai dengan kebutuhan ukuran dan kapasitas daya yang diinginkan. Modul ini mampu menghasilkan energi listrik yang sebanding dengan luas permukaan panel yang menerima radiasi sinar matahari secara langsung (Dewantara, 2019). Panel surya merupakan perangkat berbasis semikonduktor yang berfungsi mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui mekanisme fotovoltaiik. Modul surya tersusun dari sejumlah sel surya, sedangkan panel surya merupakan gabungan dari beberapa modul tersebut. Kinerja sel surya dalam menghasilkan tegangan dan arus listrik dipengaruhi oleh dua faktor utama, yakni intensitas penyinaran matahari dan suhu lingkungan. Semakin tinggi intensitas radiasi yang diterima, maka semakin besar pula tegangan dan arus listrik

yang dihasilkan. Namun, apabila suhu lingkungan meningkat sementara intensitas cahaya tetap konstan, tegangan keluaran panel cenderung menurun, meskipun arus listrik justru mengalami kenaikan.

Proses konversi energi terjadi ketika partikel elektron pada material silikon terlepas dan bergerak akibat paparan cahaya, sehingga menghasilkan aliran elektron yang membentuk arus listrik. Agar arus listrik dapat dimanfaatkan, setiap sel surya dihubungkan satu sama lain dan diarahkan menuju terminal positif (+) dan negatif (-). Susunan rangkaian ini kemudian membentuk satu modul panel surya yang utuh.

Pada dasarnya, panel surya dapat dikategorikan ke dalam tiga jenis utama, yaitu:

1. Crystalline Silicon (c-Si)

Jenis panel ini menggunakan silikon sebagai material utama sel surya dan merupakan generasi pertama teknologi panel surya. Terdapat beberapa tipe utama, yaitu:

- Monocrystalline silicon (mono-Si)

Jenis panel ini memanfaatkan sel silikon kristal tunggal (single crystal-Si) dan dikenal memiliki efisiensi paling tinggi. Secara tampilan, panel ini biasanya berwarna hitam solid dengan bentuk sel yang memiliki sudut-sudut terpotong.

- Multicrystalline silicon (multi-Si)

Menggunakan silikon multi-kristal atau polysilicon (p-Si / mc-Si). Ciri fisiknya berwarna biru dengan bentuk sel persegi.

- Ribbon silicon (ribbon-Si)

Merupakan varian dari panel berbasis polycrystalline dengan metode produksi yang berbeda, di mana material silikon ditarik membentuk pita tipis.

2. Thin-Film Solar Cell

Panel surya ini dibuat dari lapisan tipis berbagai material semikonduktor dan termasuk generasi kedua panel surya. Ketebalan lapisannya berkisar dari nanometer (nm) hingga mikrometer (μm). Berdasarkan material penyusunnya, jenis ini terbagi menjadi:

- Cadmium Telluride (CdTe)

Memiliki efisiensi berkisar 9–10% dan tergolong cukup baik di kelasnya.

- Copper Indium Gallium Diselenide (CIGS)

Memiliki efisiensi sekitar 10–12%, dengan capaian efisiensi laboratorium tertinggi mencapai 21,7%.

- Amorphous Thin-Film Silicon (a-Si / Tf-Si)

Memiliki efisiensi terendah, yaitu sekitar 6–8%, serta mengandung material yang kurang ramah lingkungan.

Berdasarkan kondisi geografis Indonesia, rata-rata durasi penyinaran matahari efektif untuk menghasilkan listrik adalah sekitar 5 jam per hari. Dengan demikian, kapasitas panel surya dapat ditentukan melalui perhitungan tertentu yang disesuaikan dengan intensitas radiasi dan lama penyinaran harian

$$\text{Kapasitas panel surya (Wp)} = \frac{\text{Energi (Wh)}}{\text{Lama Penyimpanan (jam)}}$$

1.2.4 Solar Charge Controller

Solar charge controller berfungsi mengatur aliran arus menuju baterai agar proses pengisian berlangsung aman, sehingga mencegah terjadinya pengisian berlebih (overcharging) dan tegangan berlebihan (overvoltage). Selain itu, perangkat ini juga mengendalikan arus yang disalurkan dari baterai ke beban untuk menghindari kondisi pengosongan penuh (full discharge) dan kelebihan beban (overloading), serta memonitor suhu baterai selama operasi. Dalam kinerjanya, solar charge controller umumnya menggunakan dua teknologi utama, yaitu Pulse Width Modulation (PWM) dan Maximum Power Point Tracking (MPPT), yang berfungsi mengoptimalkan proses pengisian serta mengatur distribusi arus secara efisien (Dewantara, 2019).

1.2.5 Fungsi Solar Charge Controller

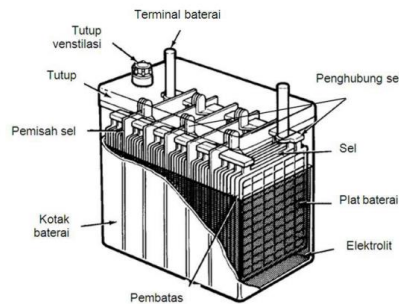
Menurut (Suyanto et al., 2022) Solar Charge Controller (SCC) tidak hanya berfungsi untuk mengoptimalkan proses pengisian baterai dari panel surya, tetapi juga memiliki berbagai fungsi lain sesuai dengan spesifikasinya dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Beberapa fungsi utama SCC antara lain:

1. Menurunkan tegangan arus DC dari panel surya yang semula tinggi agar sesuai dengan kapasitas baterai, misalnya menjadi 48 VDC.
 2. Mengurangi arus pengisian saat baterai hampir atau sudah penuh untuk mencegah terjadinya pengisian berlebih.
 3. Melindungi baterai dari risiko kerusakan akibat pengisian terus-menerus yang dapat memicu pelepasan gas bahkan ledakan, sekaligus mengoptimalkan transfer daya menggunakan algoritma Maximum Power Point Tracking (MPPT).
 4. Mencegah aliran arus balik dari baterai menuju panel surya pada malam hari atau saat intensitas cahaya rendah.
 5. Menyediakan informasi operasional seperti tegangan, arus, daya yang dihasilkan panel surya, beserta energi yang dialirkan menuju baterai.
- Maximum Power Point Tracker (MPPT) merupakan metode yang digunakan untuk melacak dan menghasilkan daya maksimum dari panel surya. Meskipun secara konsep SCC dan MPPT memiliki perbedaan, dalam praktiknya istilah SCC sering digunakan secara bergantian untuk menyebut perangkat yang memiliki fitur MPPT.

1.2.6 Baterai

Baterai merupakan perangkat penyimpan energi yang bekerja dengan mengonversi energi kimia menjadi energi listrik, sehingga dapat dimanfaatkan

sebagai sumber daya bagi berbagai perangkat elektronik (Oxide, n.d.). Baterai merupakan perangkat yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia. Baterai tersusun dari beberapa sel yang memiliki kutub positif (katoda) dan negatif (anoda). Saat dihubungkan ke rangkaian eksternal, elektron mengalir dari kutub negatif ke kutub positif, sehingga menghasilkan arus listrik yang digunakan untuk mengoperasikan perangkat (Farizy et al., 2016).



Gambar 1. Bagian pada baterai (Farizy et al., 2016)

Adapun penentuan jumlah baterai dapat menggunakan rumus :

$$\text{jumlah baterai} = \frac{\text{daya yang akan disuplai}}{\text{daya baterai}}$$

1.2.7 Jenis - Jenis Baterai

Pada umumnya, baterai terbagi ke dalam dua kategori utama, yaitu (Bukhari et al., 2016)

1. Baterai Primer

Jenis baterai ini termasuk yang paling umum digunakan di pasaran. Baterai ini bersifat sekali pakai (single use) dan biasanya dibuang setelah energinya habis. Umumnya, material penyusunnya terdiri dari seng dan karbon. Karena harganya murah dan mudah diperoleh, baterai ini banyak dipakai pada perangkat elektronik berdaya rendah, seperti remote control maupun berbagai perlengkapan portabel lainnya.

2. Baterai sekunder

Jenis baterai ini merupakan baterai isi ulang (rechargeable) yang dapat dipakai berulang setelah dilakukan proses pengisian kembali. Contoh baterai sekunder antara lain Lead-Acid, Ni-Cd (Nikel Kadmium), Lithium, dan Lead Crystal.

1.2.8 Baterai Lithium

Baterai lithium adalah salah satu teknologi penyimpanan energi yang paling umum dipakai pada masa sekarang, terutama pada perangkat yang bergantung

pada baterai sebagai sumber utama. Baterai ini memiliki densitas energi tinggi, efisiensi yang baik, tidak mengalami efek memori, serta umur siklus yang lebih panjang dibandingkan jenis baterai lainnya (Otong, 2019). Baterai sebagai media penyimpanan energi telah digunakan secara luas pada berbagai perangkat elektronik. Keberadaan baterai memungkinkan perangkat beroperasi lebih efisien tanpa harus selalu terhubung langsung dengan sumber listrik, sehingga penggunaannya menjadi lebih fleksibel. Oleh karena itu, baterai perlu memiliki densitas energi dan daya yang tinggi. Salah satu contohnya adalah baterai lithium yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Baterai Lithium

1.2.8.1 Jenis – Jenis Baterai Lithium

Menurut (M. B. Wahid, 2021) baterai lithium mempunyai jenis berdasarkan kegunaannya, yaitu sebagai berikut :

1. *Unrechargeable* Baterai

Baterai lithium tipe ini bersifat tidak dapat diisi ulang karena menggunakan logam lithium yang sangat reaktif, sehingga berpotensi meledak apabila terpapar suhu tinggi. Dalam konstruksinya, logam lithium berfungsi sebagai anoda, sedangkan MnO_2 digunakan sebagai katoda. Sementara itu, elektrolit yang digunakan berupa garam lithium yang bersifat bebas air.

2. *Rechargeable* Baterai

Baterai isi ulang adalah baterai yang memungkinkan pergerakan ion antara anoda dan katoda selama proses pengisian dan pengosongan. Sel baterai ini dapat diisi kembali melalui proses elektrolisis untuk mengembalikan kondisi anoda dan katoda ke posisi semula. Baterai rechargeable banyak digunakan pada perangkat elektronik portabel. Jenis baterai ini tidak menimbulkan efek memori serta memiliki tingkat kehilangan daya yang rendah, sehingga tidak memerlukan perlakuan khusus dan tetap mampu menyimpan energi dalam jumlah besar meskipun telah digunakan berulang kali.

1.2.8.2 Susunan Baterai Lithium

Menurut (Otong, 2019) Baterai ini memiliki beberapa susunan utama, yang umumnya terdiri dari empat lapisan serta sebuah sirkuit pelindung. Adapun susunannya meliputi:

1. Lapisan terluar berupa foil sebagai pelindung utama, sementara di bagian dalam terdapat tiga lapisan yaitu katoda, separator sebagai pemisah, dan anoda.
2. Baterai lithium memiliki bagian negatif yang berfungsi sebagai penutup baterai. Pada umumnya, setiap baterai lithium telah dilengkapi dengan rangkaian proteksi atau sistem pengaman yang dikemas secara khusus untuk melindungi baterai.
3. Bentuk baterai lithium dapat berupa bulat maupun kotak, tergantung pada kebutuhan penggunaannya. Selain itu, sistem pengisiannya tergolong lebih optimal dan modern dibandingkan metode pengisian baterai konvensional.

1.2.8.3 Kelebihan dan Kekurangan Baterai Lithium

Menurut (Otong, 2019) Baterai lithium memiliki sejumlah keunggulan dan keterbatasan yang perlu dipertimbangkan sebelum digunakan. Adapun kelebihan baterai lithium antara lain:

Kelebihan:

1. Bobotnya ringan karena tersusun dari karbon dan lithium yang mampu menyimpan energi dalam ikatan atomnya.
2. Memiliki densitas energi tinggi, di mana 1 kg baterai Li-ion mampu menyimpan sekitar 150 Wh.
3. Tingkat kehilangan daya relatif kecil, hanya sekitar 5% per bulan.
4. Memiliki umur pakai yang panjang dengan siklus pengisian dan pengosongan hingga ratusan kali.
5. Dapat diisi ulang meskipun belum sepenuhnya habis.

Kekurangan:

1. Umur pakai terbatas, umumnya hanya 2–3 tahun sejak diproduksi, baik digunakan maupun tidak.
2. Kurang tahan terhadap suhu tinggi karena menyebabkan daya cepat menurun.
3. Tidak disarankan dibiarkan dalam kondisi kosong karena dapat merusak baterai.
4. Adanya komponen pelindung internal membuat harga lebih mahal.
5. Berpotensi terbakar atau meledak jika terpapar suhu ekstrem

1.2.9 Baterai *Lead-Acid*

1.2.9.1 Jenis Baterai *Lead-Acid*

Baterai *Lead-Acid* adalah jenis baterai yang sering digunakan dalam aplikasi fotovoltaik. Baterai ini umumnya memiliki rating tegangan 6 V atau 12 V. Berikut ini adalah beberapa jenis baterai *Lead-Acid*. antara lain (Manimekalai et al., 2013) :

- *Flooded Cell Type battery*

Baterai ini termasuk salah satu jenis yang banyak digunakan dalam sistem energi terbarukan. Tipe Flat dan Tubular merupakan varian dari baterai flooded cell, di mana seluruh elektrodanya terendam di dalam cairan elektrolit. Saat baterai diisi hingga mencapai kapasitas penuh (100% State of Charge), terjadi reaksi kimia yang menghasilkan gas hidrogen dan oksigen pada masing-masing pelat. Karena itu, penambahan air secara rutin diperlukan agar proses kimia di dalam baterai tetap berlangsung optimal.

- *Sealed / Gel type Battery*

Baterai ini termasuk jenis VRLA (Valve Regulated Lead Acid). Karena bersifat tertutup (sealed), baterai ini memiliki tingkat penguapan yang sangat minim dan tidak memerlukan penambahan elektrolit selama pemakaian. Gas hidrogen dan oksigen yang muncul dari proses kimia akan direkombinasi kembali menjadi air secara internal. Pengendalian tekanan serta keamanan baterai diatur melalui katup (valve) yang berfungsi menjaga proses penguapan tetap stabil.

Berikut ini merupakan karakteristik baterai lead-acid berdasarkan standar (Farizy et al., 2016)

Tabel 1. Karakteristik Baterai Lead-Acid (Farizy et al., 2016)

Karakteristik	Values (PbPbO ₂)
Energi Spesifik (Wh/Kg)	30-50
Resistansi Internal (mΩ)	Sangat Rendah
Siklus Hidup (80% <i>discharge</i>)	200-300
Waktu <i>Fast-Charge</i>	8-16 jam
Toleransi <i>Overcharge</i>	Tinggi
<i>Self Discharge</i> / Bulan	5%
Tegangan Sel (nominal)	2 V
Tegangan Cutoff <i>Charge</i> (V/cell)	2.40
	Float 2.25
Tegangan Cutoff <i>Discharge</i> (V/cell, 1C)	1,75
Arus <i>Load Peak</i>	5C
<i>Best result</i>	0.2C
Suhu <i>Charge</i>	-20 sampai 50
Suhu <i>Discharge</i>	-20 sampai 50
Perawatan	3-6 Bulan
Keamanan	Suhu stabil
Digunakan Sejak	Sekitar 1800-an

1.2.10 Parameter Baterai

Terdapat sejumlah parameter penting pada baterai, di antaranya (Manimekalai et al., 2013) :

1.2.10.1 Kapasitas Baterai (*Battery Capacity*)

Kapasitas baterai biasanya diukur dalam *Ampere Hour* (Ah). Jika V adalah tegangan baterai, maka kapasitas penyimpanan energi baterai dapat dihitung dengan rumus

$$\text{Ah} \times V = \text{Watt-hour}.$$

Kapasitas baterai biasanya dinyatakan dengan nilai C pada label baterai, tetapi kapasitas nyata yang dapat digunakan sangat bergantung pada kondisi operasi, seperti besarnya beban, suhu, dan berbagai faktor lingkungan lainnya.

1.2.10.2 Tegangan Baterai

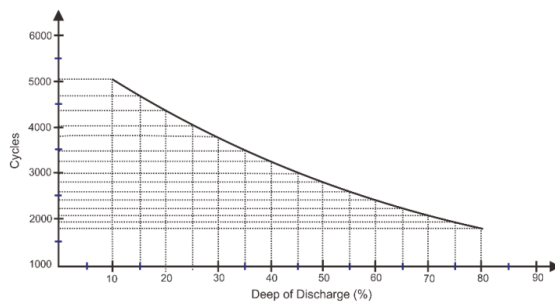
Tegangan pada terminal ketika baterai digunakan disebut sebagai tegangan nominal atau tegangan kerja. Nilai tegangan ini ditentukan oleh pabrikan dan umumnya tersedia dalam rentang 3V, 6V, 12V, 24V, dan seterusnya.

1.2.10.3 State of Charge (SOC)

State of Charge (SOC) adalah State of Charge (SOC) merupakan perbandingan antara energi yang masih tersisa dengan kapasitas maksimum yang dapat disimpan oleh baterai. Nilai SOC berada pada rentang 0 hingga 1, di mana 0 menandakan baterai kosong dan 1 menunjukkan kondisi penuh, atau dapat dinyatakan dalam persentase 0% hingga 100%. Estimasi SOC yang akurat sangat penting untuk menjaga kinerja sistem dan mencegah terjadinya overcharge maupun overdischarge yang berpotensi menyebabkan kerusakan permanen pada baterai.

1.2.10.4 Depth of Discharge (DOD)

Depth of Discharge (DOD) adalah nilai yang menggambarkan seberapa banyak kapasitas baterai yang telah digunakan. Jika suatu baterai memiliki nilai SOC sebesar 100%, maka DOD baterai adalah 0%. Sebaliknya, jika SOC baterai mencapai 75%, maka DOD baterai adalah 25%. Dengan kata lain, DOD merupakan kebalikan dari SOC. SOC menunjukkan kapasitas baterai yang masih tersisa, sementara DOD menunjukkan kapasitas baterai yang telah digunakan (Masters, 2004).



Gambar 3. Pengaruh nilai DOC terhadap cycles pada baterai (Masters, 2004)

1.2.10.5 Siklus Hidup Baterai (*Battery life Cycle*)

Siklus hidup baterai merujuk pada jumlah siklus pengisian dan pengosongan yang dapat dilakukan sebelum performa baterai menurun sehingga tidak lagi mampu menyimpan energi secara efektif, dengan asumsi penggunaan sesuai standar. Meskipun baterai masih dapat digunakan setelah melewati batas siklusnya, kapasitas penyimpanan energinya akan terus mengalami penurunan.

1.2.10.6 Self Discharge

Self discharge adalah proses berkurangnya kapasitas baterai saat tidak digunakan atau ketika tidak terhubung dengan beban. Kondisi ini terjadi akibat reaksi kimia internal di dalam baterai. Laju self discharge akan semakin tinggi apabila suhu meningkat. Untuk mengurangnya, baterai sebaiknya disimpan pada suhu rendah atau sesuai dengan rentang suhu operasi yang direkomendasikan.

1.2.10.7 Tingkat Pengisian dan Pengosongan (C-Rating)

C-rating merupakan nilai yang dihitung dari perbandingan antara kapasitas baterai dan jumlah jam yang dibutuhkan untuk mengisi baterai hingga penuh (C/X), di mana X adalah waktu pengisian dalam satuan jam. Jika $X = 10$ jam, maka nilai C-rating-nya adalah $0,1C$. Arus pengisian maupun arus pengosongan dapat ditentukan dengan membagi kapasitas baterai (Ah) dengan waktu pengisian total. Sebagai contoh, baterai 50 Ah dengan C-rating $0,1C$ akan menghasilkan arus $50/10 = 5$ A. Sementara itu, baterai berkapasitas 200 Ah dengan C-rating $C/20$ memiliki arus pengisian atau pengosongan sebesar $200 \text{ Ah} / 20 \text{ jam} = 10$ A. Setiap baterai memiliki nilai C-rating yang berbeda-beda tergantung pada karakteristik dan desain masing-masing baterai (Masters, 2004).

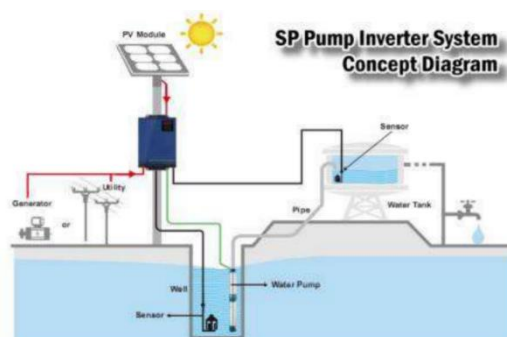
1.2.10.8 Suhu

Suhu merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam penggunaan baterai. Pada kondisi sangat dingin, kapasitas baterai dapat menurun drastis; misalnya pada suhu sekitar -30°C (-22°F) dengan tingkat pengosongan C/20, kapasitas baterai bisa turun hingga 50%. Namun, suhu yang tinggi juga tidak baik bagi kinerja baterai. Peningkatan suhu akibat lingkungan (ambient temperature) maupun dari arus pengisian dan pengosongan dapat memicu korosi, sulfasi, pelepasan gas, serta meningkatkan self-discharge. Setiap kenaikan suhu sebesar 10°K dapat mengurangi umur pakai baterai hingga 50%. Secara umum, suhu operasi ideal baterai berada pada kisaran $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$ (Masters, 2004). Karena itu, perlindungan baterai dari pengaruh suhu lingkungan menjadi sangat penting agar baterai dapat beroperasi pada kondisi suhu yang ideal.

1.2.11 Inverter

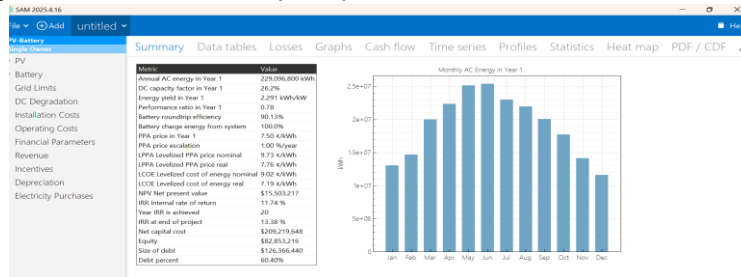
Inverter adalah rangkaian elektronika daya yang berfungsi mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Saat ini terdapat berbagai jenis topologi inverter, mulai dari yang menghasilkan gelombang kotak sederhana (seperti push-pull inverter) hingga yang mampu menghasilkan gelombang sinus murni tanpa harmonisa. Inverter tersedia dalam konfigurasi satu fasa, tiga fasa, bahkan multifasa, serta mencakup jenis multilevel seperti kapasitor split, diode-clamped, dan susunan kaskade.

Dengan metode ini, frekuensi dan tegangan fundamental disesuaikan agar memiliki frekuensi yang sama dengan sinyal acuan sinusoidal. Inverter bekerja dengan mengubah suplai listrik AC menjadi DC, kemudian mengonversinya kembali menjadi AC dengan frekuensi yang dapat diatur sehingga kecepatan motor dapat dikendalikan sesuai kebutuhan. Secara umum, inverter berfungsi mengatur kecepatan motor AC dengan mengubah frekuensi keluaran yang diberikan ke motor.



Gambar 4. Konsep Kerja Sistem Inverter

1.2.12 System Advisor Model (SAM)



Gambar 5. Tampilan Awal System Advisor Model (SAM)

SAM (System Advisor Model) adalah sebuah model pembangkit tenaga listrik yang digunakan untuk menganalisis kinerja sistem pembangkit tenaga terbarukan. Model ini mengasumsikan bahwa energi yang dihasilkan oleh sumber daya terbarukan, seperti tenaga surya atau angin, akan disalurkan ke jaringan listrik atau langsung ke gedung atau fasilitas yang terhubung dengan jaringan untuk memenuhi kebutuhan beban listrik. SAM memungkinkan pengguna untuk melakukan simulasi, analisis biaya, dan proyeksi kinerja sistem pembangkit energi terbarukan dalam jangka panjang, dengan mempertimbangkan berbagai faktor teknis dan ekonomis yang mempengaruhi operasional dan efisiensi sistem tersebut (Blair et al., 2014). SAM adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh National Renewable Energy Laboratory untuk mensimulasikan model kinerja dan keuangan dalam mengambil keputusan sebelum mengembangkan energi terbarukan yang sesungguhnya.

Model SAM Mencakup berbagai sistem energi terbarukan yang meliputi fotovoltaik, sistem energi angin, pembakaran biomassa, panas bumi, pemanas air tenaga surya dan lain-lain. Namun, bab ini hanya membahas tentang model kinerja fotovoltaik saja.

Dalam model fotovoltaik SAM, inputnya meliputi :

1. Data cuaca
2. Modul
3. Inverter
4. Kerugian
5. Shading and snow
6. Lifetime
7. Penyimpanan baterai
8. Biaya sistem
9. Insentif
10. Tarif listrik
11. Beban listrik

Input ini akan menghasilkan output dari aspek kinerja dan aspek keuangan yaitu sebagai berikut :

1. Aspek kinerja : output daya, efisiensi komponen dan lain-lain
2. Aspek keuangan : arus kas, biaya energi yang diratakan, dan lain-lain

1.2.12.1 pemodelan penyimpanan baterai di SAM

SAM memiliki model penyimpanan baterai opsional yang memungkinkan pengguna untuk menganalisis kinerja baterai dalam sistem fotovoltaik. Fitur ini bersifat opsional, sehingga pengguna dapat memilih untuk mengaktifkan atau tidak mengaktifkan sistem penyimpanan energi sesuai dengan kebutuhan sistem mereka. SAM menyediakan beberapa fitur input yang berikut ini :

1. Kapasitas total

SAM menyediakan dua metode untuk menentukan jumlah baterai secara seri dan paralel. Pengguna dapat memasukkan ukuran sistem dalam kilowatt hour dan tegangan bank yang diinginkan atau langsung memasukkan jumlah seri dan paralel.

Untuk metode pertama, SAM akan menghitung konfigurasi baterai sehingga akan tepat memenuhi atau setidaknya sedikit melebihi energi dan tegangan yang telah diinput oleh pengguna. Langkah-langkah bagaimana SAM mengatur ukuran penyimpanan baterai. Berdasarkan kapasitas kWh dan input tegangan baterai akan dijelaskan berikut :

- Menghitung jumlah baterai secara seri

$$\text{number of batteray in series (round up)} = \frac{\text{desired bank voltage}}{\text{cell voltage}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{actual batteray voltage} = \text{number of batteray in series} \times \text{cell voltage} \dots(2)$$

- Menghitung nomor baterai secara paralel

$$\text{capacity of 1 string} = \text{actual batteray voltage} \times \text{batteray capacity} \dots\dots(3)$$

$$\text{number of parallel strings (round up)} = \frac{\text{desired capacity (kWh)}}{\text{capacity of 1 string (kWh)}} \dots\dots\dots(4)$$

2. Menghitung nomor baterai secara paralel

SAM memiliki dua kimia baterai yang berbeda, asam timbal dan lithium ion, dan keduanya dibagi lagi kedalam beberapa jenis. SAM juga menyediakan opsi khusus untuk kedua bahan tersebut. Jenis yang ditampilkan oleh SAM tercantum di bawah ini :

- Asam timbal
 - a. Asam timbal yang membanjiri

- b. Asam timbal yang diatur katup (VRLA)
- c. Alas kaca penyerap VRLA (AGM)

- Lithium Ion

- a. LMO (Lithium Mangan Oksida)
- b. LFP (Lithium Besi Fosfat)
- c. LCO (Lithium Kobalt Oksida)
- d. LTO (Litium titanat)
- e. NMC (Nikel Mangan Kobalt)
- f. NCA (Aluminium Kobal Nikel)

3. Arus dan Kapasitas

4. Properti yang dihitung

Nilai-nilai yang dihitung dari nilai yang telah dimasukkan oleh pengguna, dan SAM akan menggunakannya untuk simulasi, nilai-nilai ini sebagai berikut :

1. Kapasitas Bank Nominal dalam kWh

Produk dari kapasitas baterai individu dalam kWh dan jumlah Baterai, dimana kapasitas baterai dalam kWh adalah produk dari tegangan nominal baterai dan kapasitas dalam Ah, sedangkan jumlah total baterai adalah produk dari jumlah baterai dalam rangkai seri dan paralel

$$\begin{aligned} \text{nominal bank capacity (kWh)} \\ &= \text{cell voltage} \times \text{cell capacity (Ah)} \\ &\times \text{number of batteray in series} \times \text{number of paralel string} \end{aligned}$$

2. Tegangan bank nominal

Produk dari tegangan nominal baterai individual dan jumlah baterai dalam seri

$$\text{nominal bank capacity (kWh)} = \text{cell voltage} \times \text{number of batteray in series}$$

3. Sel dalam seri

$$\text{Number of cell in series (round up)} = \frac{\text{desired bank voltage}}{\text{cell voltage}}$$

4. Senar secara paralel

Jumlah string paralel, menentukan kapasitas bank dalam Ah

$$\text{Number of paralel strings} = \frac{\text{desired capacity (kWh)}}{\text{capacity of 1 string (kWh)}}$$

5. Daya maksimum

$$\text{Max power} = \text{nominal bank capacity (kWh)} \times \text{Crate of discharge}$$

6. Arus pengisian daya maksimum

$$\text{time at maximum power} = \frac{\text{nominal bank capacity (kWh)}}{\text{maximum power}} = \frac{1}{\text{discharge C rate}}$$

7. Arus Pengisian daya maksimum

$$\begin{aligned} \text{max charge current} \\ = \frac{1000 \times \text{max charge C rate} \times \text{nominal bank capacity (kWh)}}{\text{Nominal bank voltage}} \end{aligned}$$

8. Arus pelepasan daya maksimum

$$\begin{aligned} \text{max discharge current} \\ = \frac{1000 \times \text{max discharge C rate} \times \text{nominal bank capacity (kWh)}}{\text{Nominal bank voltage}} \end{aligned}$$

1.2.12.2 Model Keuangan

Model keuangan SAM digunakan untuk menghitung indikator keuangan berbagai jenis proyek pembangkit listrik berdasarkan arus kas selama periode analisis yang ditentukan. Model ini memanfaatkan hasil perhitungan produksi listrik dari model kinerja untuk menyusun dan menghitung arus kas tahunan proyek.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis dan membandingkan kinerja baterai lithium dan lead-acid pada kapal ikan berbasis tenaga surya, baik dari segi teknis maupun ekonomis.
2. Mengidentifikasi keunggulan dan kelemahan masing-masing baterai dari efisiensi, umur pakai, biaya dan perawatan.
3. Memberikan rekomendasi pemilihan baterai yang optimal untuk kapal ikan berbasis tenaga surya.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain

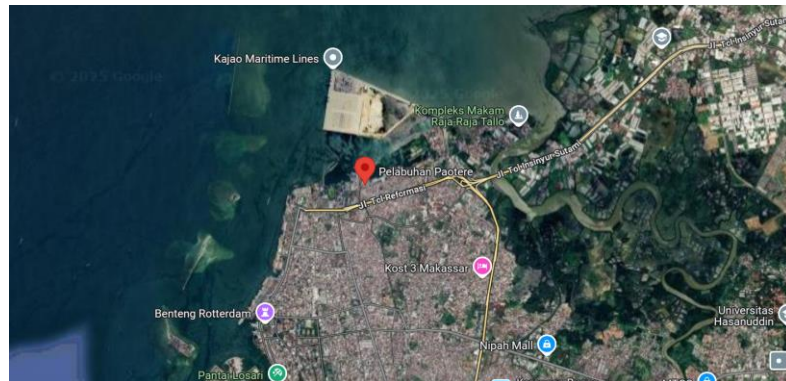
1. Menjadi referensi bagi nelayan dan pelaku industri perikanan dalam memilih baterai yang tepat untuk sistem penerangan kapal.
2. Menjadi acuan bagi pengembang teknologi energi terbarukan dalam merancang sistem kelistrikan kapal yang efisien dan ramah lingkungan.
3. Mendukung pemanfaatan energi terbarukan di sektor kelautan untuk keberlanjutan lingkungan.

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pelabuhan Paotere yang terletak di Gusung, Kec. Ujung Tanah, Kota Makassar, Sulawesi Selatan dan pengolahan data dilakukan di kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa. Adapun penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2025.



Gambar 6. Lokasi penelitian (Sumber: Google maps)

2.2 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data dilakukan beberapa hal, yaitu:

1. Perumusan Masalah

Pada tahap ini, masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian yang dibahas secara sistematis. Rumusan masalah tersebut akan menjadi fokus utama dalam proses analisis penelitian, yang disusun berdasarkan data dan informasi yang telah dikumpulkan sebelumnya.

2. Studi Literatur

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur untuk memahami prinsip kerja sistem tenaga surya, karakteristik teknis baterai lithium dan lead acid, serta aplikasi kedua jenis baterai tersebut pada kapal ikan. Data spesifikasi teknis baterai, seperti kapasitas, efisiensi, siklus hidup, kedalaman pengosongan (DoD), dan biaya, dikumpulkan dari datasheet pabrik, jurnal ilmiah, serta laporan penelitian terdahulu.

3. Penentuan Kebutuhan Energi dan Kapasitas Baterai

Kebutuhan energi harian untuk sistem penerangan kapal ikan dihitung berdasarkan jumlah dan jenis lampu yang digunakan serta durasi operasionalnya setiap hari. Setelah kebutuhan energi harian diketahui, langkah

berikutnya adalah menentukan kapasitas baterai yang diperlukan. Perhitungan kapasitas ini memperhitungkan efisiensi sistem, DoD yang direkomendasikan untuk masing-masing jenis baterai, serta faktor keamanan agar baterai tidak cepat mengalami degradasi. Selanjutnya, dilakukan pemodelan sistem tenaga surya kapal ikan yang terdiri dari panel surya, charge controller, baterai (lithium dan lead acid), serta beban penerangan. Konfigurasi sistem, seperti jumlah panel surya, kapasitas baterai, dan pengaturan tegangan serta arus, ditentukan berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan energi.

4. Simulasi Kinerja Sistem

Untuk membandingkan kinerja kedua jenis baterai, penelitian ini menggunakan perangkat lunak simulasi SAM (System Advisor Model). Data radiasi matahari di lokasi operasional kapal, profil beban harian, serta parameter teknis masing-masing baterai dimasukkan ke dalam perangkat lunak tersebut. Simulasi dilakukan untuk memproyeksikan operasi sistem tenaga surya dan baterai selama periode tertentu, baik harian, bulanan, maupun tahunan.

5. Penelitian membandingkan kedua baterai berdasarkan:

Kapasitas energi yang dapat digunakan (Wh) , Efisiensi pengisian/pelepasan (%), Depth of Discharge (DOD), Jumlah siklus hidup (cycle life), Biaya per kWh selama umur pakai (LCOS).

6. Pengumpulan dan Analisis Data

Menggunakan data dari datasheet dan literatur, dilakukan perhitungan serta analisis untuk membandingkan performa dan keekonomian kedua jenis baterai.

7. Penyusunan Kesimpulan dan Rekomendasi

2.3 Penyajian Data

1. Data Kapal

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data berdasarkan pengukuran kapal nelayan di Pelabuhan Paotere. Didapatkan data sebagai berikut :



Gambar 7.Kapal Magfira 33

Adapun Data Kapal Sebagai Berikut :

Tabel 2. Data kapal (Sumber : Nelayan)

Nama Kapal	Magfira 33
LOA	24.35 m
B	5.08 m
H	2.00 m
Mesin	Mitsubishi 190 PS
Generator	Tiger 3000
Trayek	Makassar - Pangkep
Lama Berlayar	1 Hari
Alat Tangkap	Pancing
GT	30

2.4 Kerangka Alur Penelitian

