



# **Perencanaan PLTS Off-Grid untuk sumber Energi pada Kelong Apung di Desa Teluk Bakau Kabupaten Bintan**

## **Tugas Akhir**

**Oleh:  
Putra Laksmana (4232111007)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Batam  
2025**

## Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul: "Perencanaan PLTS Off-Grid untuk sumber Energi pada Kelong Apung di Desa Teluk Bakau Kabupaten Bintan" adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 8 Januari 2025



---

Nama: Putra Laksmana

NIM: 4232111007

## Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)  
di  
Politeknik Negeri Batam

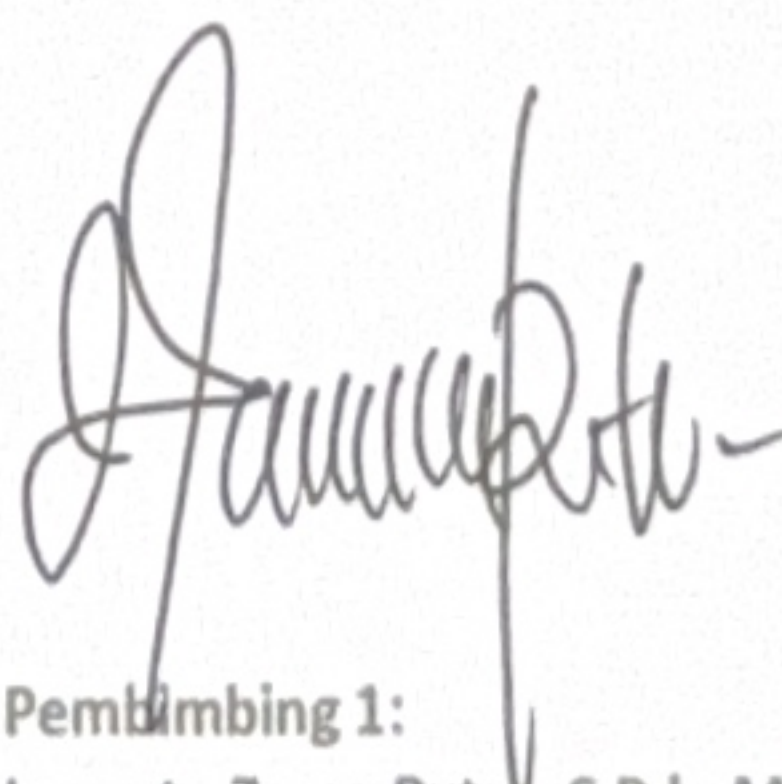
Oleh:  
Putra Laksana (4232111007)

Tanggal Sidang: 08-01-2025

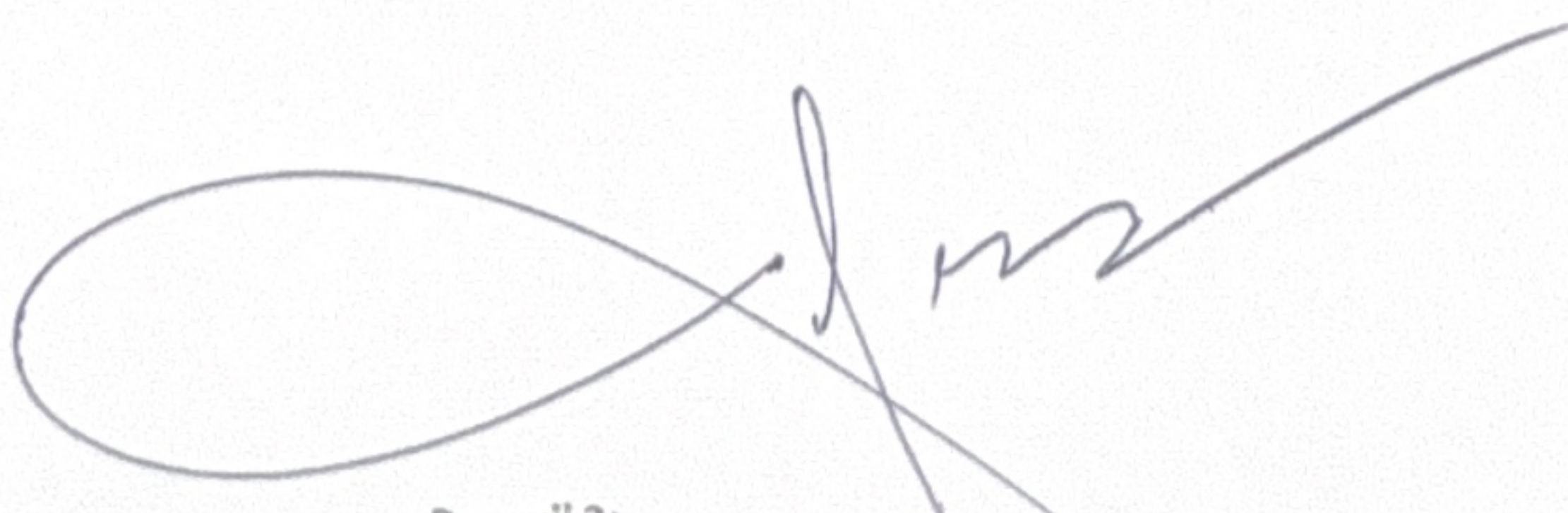
Disetujui oleh :



Penguji 1:  
Ir. Muhammad Syafei Gozali, S.T., M.T.  
NIK: 107050



Pembimbing 1:  
Irwanto Zama Putra, S.Pd., M.Eng.  
NIK: 118200



Penguji 2:  
Ir. Arif Febriansyah Juwito, S.T., M.Eng.  
NIK: 114127

# Perencanaan PLTS Off-Grid untuk sumber Energi pada Kelong Apung di Desa Teluk Bakau Kabupaten Bintan

## Abstrak

Kelong Apung adalah alat tradisional nelayan di Kepulauan Riau yang saat ini masih bergantung pada generator berbahan bakar fosil untuk operasionalnya, yang menimbulkan permasalahan lingkungan. Potensi energi surya yang melimpah di wilayah ini memberikan peluang untuk menggantikan generator dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off Grid* yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan merencanakan sistem PLTS *Off Grid* pada Kelong Apung di Desa Teluk Bakau, Kabupaten Bintan, dengan memperhatikan kebutuhan daya, spesifikasi komponen, serta aspek teknis dan keamanan instalasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan energi sebesar 1,26 kWh per hari, diperlukan panel surya berkapasitas 345 Wp, baterai dengan total kapasitas 1575 Wh yang terdiri dari 2 unit baterai seri 12 V 70 Ah, *Solar Charge Controller* 20 A, dan inverter 1500 Watt. Sistem ini dirancang menggunakan kabel NYA 4 mm<sup>2</sup> untuk sambungan dari SCC ke baterai, kabel NYA 25 mm<sup>2</sup> untuk sambungan dari baterai ke inverter, serta kabel NYA 1,5 mm<sup>2</sup> untuk arus AC dari inverter ke beban. Instalasi juga dilengkapi dengan *MCB* DC 16 A, *MCB* DC 25 A, *MCB* DC 63 A, dan *MCB* AC 16 A. Sistem pembumian dipasang menggunakan batang elektroda stainless steel tipe SS316 dengan panjang 1,2 meter dan diameter 28 mm yang dipasang di sekitar bawah Kelong Apung. Sehingga dapat disimpulkan Studi ini layak diimplementasikan dan memberikan solusi praktis untuk mengurangi ketergantungan energi fosil pada Kelong Apung dan mendukung transisi menuju energi terbarukan.

Kata kunci: PLTS *Off Grid*, Kelong Apung, Energi Surya, Komponen PLTS, Instalasi Listrik

# **Design of an Off-Grid Solar Power System as an Energy Source for Kelong Apung in Teluk Bakau Village Bintan Regency**

## **Abstract**

*Kelong Apung, a traditional fishing platform in the Riau Islands, currently relies on fossil fuel-powered generators for its operation, which causes environmental problems. The abundant solar energy potential in this region provides an opportunity to replace the generators with an environmentally friendly Off-Grid Solar Power System (PLTS). This research aims to design an Off-Grid PLTS for a Kelong Apung in Teluk Bakau Village, Bintan Regency, by considering the power requirements, component specifications, and the technical and safety aspects of the installation. The results of the study indicate that to meet a daily energy requirement of 1.26 kWh, a 345 Wp solar panel is required, along with a battery bank with a total capacity of 1575 Wh (consisting of 2 units of 12 V, 70 Ah batteries in series), a 20 A Solar Charge Controller, and a 1500 Watt inverter. The system is designed using a 4 mm<sup>2</sup> NYA cable for the connection from the SCC to the battery, a 25 mm<sup>2</sup> NYA cable for the connection from the battery to the inverter, and a 1.5 mm<sup>2</sup> NYA cable for the AC current from the inverter to the load. The installation is also equipped with a 16 A DC MCB, a 25 A DC MCB, a 63 A DC MCB, and a 16 A AC MCB. A grounding system is installed using a 1.2-meter long, 28-mm diameter SS316 stainless steel electrode rod mounted beneath the Kelong Apung. Thus, it can be concluded that this study is feasible for implementation and provides a practical solution to reduce the dependency on fossil fuels for the Kelong Apung, supporting the transition towards renewable energy.*

*Keywords: Off-Grid Solar Power, Kelong Apung, Solar Energy, Solar Power*

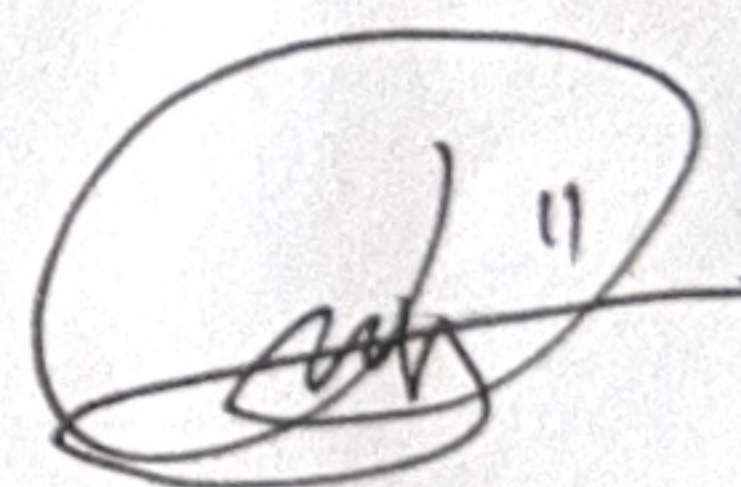
## Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada penyusun sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul "Perencanaan PLTS Off-Grid untuk sumber Energi pada Kelong Apung di Desa Teluk Bakau Kabupaten Bintan". Laporan tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana terapan (D4) program studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orangtua yang telah memberikan doa, kasih sayang, dorongan, motivasi, serta dukungan baik moril maupun materil kepada penulis.
2. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd., M.Eng. sebagai ketua prodi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi dan dosen pembimbing atas pengarahan, bimbingan, kebaikan hati, motivasi, dan inspirasi kepada penyusun selama proses penulisan tugas akhir hingga penulisan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs. sebagai wali dosen dan seluruh staf akademik, bapak/ibu dosen, dan laboran yang telah banyak membantu dalam proses pembuatan tugas akhir hingga penyusunan laporan tugas akhir ini.
4. Alam Semesta, serta seluruh pihak yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan Laporan Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT memberikan balasan terhadap semua pihak yang telah memberikan bantuannya terhadap penulis. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat diterima serta dapat memberikan manfaat bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, guna perbaikan kedepannya penulis memohon kritik dan saran dari pembaca yang dapat disampaikan secara lisan maupun secara tulisan.

Batam, 8 Januari 2025



Putra Laksmana

# Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir .....	i
Lembar Pengesahan .....	ii
Abstrak .....	iii
<i>Abstract</i> .....	iv
Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vi
Daftar Gambar .....	vii
Daftar Tabel .....	vii
Bab 1. Pendahuluan .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Manfaat .....	2
1.5. Batasan .....	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka .....	3
2.1 Sistem PLTS OFF-GRID .....	3
2.2 Kapasitas Sistem PLTS Off-Grid .....	5
2.3 Keamanan Instalasi PLTS Off-Grid .....	8
Bab 3. Metodologi Penelitian .....	11
3.1. Perancangan Penelitian .....	11
3.2. Pengumpulan Data .....	12
3.3. Pemrosesan Data .....	12
3.3. Lokasi Penelitian .....	13
Bab 4. Hasil dan Pembahasan .....	15
4.1. Perhitungan Perencanaan PLTS Off-Grid .....	15
4.2. Konfigurasi keamanan instalasi listrik di kelong apung .....	20
4.3. Analisis Pembumian Instalasi di kelong apung .....	22
Bab 5. Kesimpulan dan Saran .....	25

5.1. Kesimpulan.....	25
5.2. Saran .....	25
Daftar Pustaka.....	26
Biodata .....	28
Lampiran 1 .....	29
Lampiran 2 .....	30

## Daftar Gambar

Gambar 1. Konsep kerja PLTS Off Grid .....	3
Gambar 2. Diagram Alur Penelitian.....	11
Gambar 3. Lokasi Kelong Apung.....	13
Gambar 4. Kelong Apung di Teluk Bakau .....	14
Gambar 5. Wiring diagram skematik PLTS Off Grid di kelong apung .....	22
Gambar 6. Ilustrasi Sistem Pembumian di Kelong Apung .....	23
Gambar 7. Wiring Diagram Instalasi PLTS Off Grid di kelong apung .....	24

## Daftar Tabel

Tabel 1. Data iradiasi Matahari dan Temperatur .....	15
Tabel 2. Data kebutuhan energi listrik di kelong apung.....	16
Tabel 3. Karakteristik Komponen PLTS Off Grid (a).....	17
Tabel 4. Karakteristik Komponen PLTS Off Grid (b).....	19
Tabel 5. PUIL 2020 Tabel K.52.7 – KHA terus menerus dalam conduit .....	20
Tabel 6. Spesifikasi komponen keamanan instalasi PLTS.....	21

# Bab 1. Pendahuluan

## 1.1. Latar Belakang

Dalam pengoperasiannya, Kelong Apung masih bergantung pada generator untuk menunjang aktivitas kelong apung. Oleh karena itu, perlunya memanfaatkan energi alternatif yang ramah lingkungan untuk mendukung kelangsungan aktivitas di kelong apung. Potensi sinar matahari di Kabupaten Bintan, menjadi solusi untuk meninggalkan ketergantungan pada sumber energi tidak terbarukan. Dengan penerapan PLTS di kelong apung memungkinkan nelayan untuk memanfaatkan energi matahari di kawasan tersebut untuk menjadi sumber energi.

Beberapa penelitian mengenai perencanaan PLTS *Off-Grid* sudah dilakukan oleh beberapa individu dengan upaya yang beragam. Deni Herliyanso dan Ojak Abdul Rozak Salah (2022) melakukan penelitian perencanaan PLTS *Off-Grid* sebagai suplay daya listrik di perpustakaan Universitas Pamulang. Dalam penelitian tersebut, peneliti menggunakan metode simulasi sistem PLTS *Off-Grid* dengan menggunakan perangkat lunak Pvsyst 7.3. Berdasarkan hasil penelitian mereka, menunjukkan bahwa PLTS *Off-Grid* di lokasi tersebut menghasilkan energi listrik sebesar 4045.2 kWh/tahun dan energi yang berhasil digunakan dari inverter adalah sebesar 5532.2 kWh/kWp/hari dengan *performance ratio* sebesar 111.5% per tahun.[1]

Penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Ridwan, Zuraidah Tharo, dan Rahmaniar (2024) merancang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* pada Gedung Serbaguna Pondok Pesantren Sejahtera di Kota Medan. Penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif melalui studi literatur, observasi lapangan, serta wawancara untuk memperoleh data kebutuhan listrik harian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total kebutuhan energi listrik gedung mencapai 52,8 kWh per hari dengan beban daya terpasang sebesar 10.720 W. Rancangan sistem PLTS menggunakan 30 unit panel surya berkapasitas 500 Wp, baterai LiFePO4 12V 200Ah sebanyak 28 unit, sebuah inverter berdaya 12.000 W, serta solar charge controller berkapasitas 500 A. Berdasarkan perhitungan, sistem ini mampu menghasilkan energi sebesar 10.550 Wp per hari, sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik gedung serbaguna tanpa bergantung pada pasokan dari PLN.[2]

Berdasarkan penjelasan di atas, penulis melakukan penelitian berjudul **“Perencanaan PLTS Off-Grid untuk sumber Energi pada Kelong Apung di Desa Teluk Bakau Kabupaten Bintan”** yang diharapkan dapat membantu masyarakat memahami penerapan PLTS *Off-Grid* untuk Kelong Apung dari segi kebutuhan komponen, spesifikasi komponen PLTS, serta aspek keamanan instalasi listrik pada sistem PLTS *Off-Grid*.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dapat disusun sebagai berikut:

1. Bagaimana kapasitas PLTS *Off-Grid* yang mampu menjadi sumber energi untuk kelong apung?
2. Bagaimana teknis PLTS *Off-Grid* agar menjadi handal dan aman di Kelong Apung?

## 1.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan TA ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kapasitas PLTS *Off-Grid* yang tepat untuk menjadi sumber energi pada Kelong Apung.
2. Merancang keseluruhan teknis PLTS *Off-Grid* yang tepat untuk menjadikan PLTS *Off-Grid* handal dan aman di Kelong Apung.

## 1.4. Manfaat

Manfaat dari studi ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi sistem PLTS *Off-Grid* yang optimal untuk kebutuhan energi di Kelong Apung.
2. Menjadi acuan untuk penerapan PLTS *Off-Grid* yang handal dan aman di kelong apung.

## 1.5. Batasan

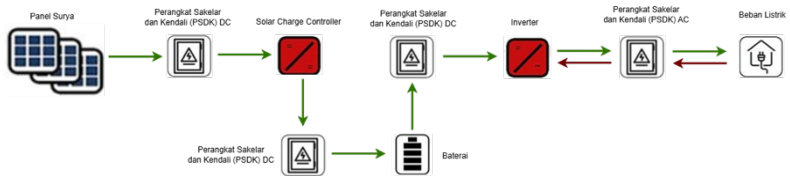
Dalam pembuatan TA ini, terdapat beberapa batasan yang ditetapkan, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini terbatas hanya pada perencanaan sistem PLTS *Off-Grid* untuk Kelong Apung selama satu hari, tanpa mempertimbangkan sistem daya cadangan dan faktor ekonomi.
2. Sumber data kebutuhan energi kelong apung hanya dari satu narasumber pemilik kelong apung.
3. Penelitian ini terbatas hanya pada data pola iradiasi matahari selama satu tahun, tidak menganalisis kondisi cuaca ekstrem dan sistem penangkal petir.

## Bab 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Sistem PLTS OFF-GRID

Sistem Jaringan PLTS Terpusat *Off-Grid* atau *Stand alone PV system* merupakan sistem PLTS beroperasi secara independen tanpa bergantung pada jaringan perusahaan penyedia tenaga listrik. Energi yang dihasilkan oleh panel surya di siang hari disimpan dalam baterai untuk digunakan pada malam hari. Sistem ini ideal untuk daerah terpencil atau pengguna yang menginginkan kemandirian energi.[3] PLTS *Off-Grid* mempunyai konsep kerja serta komponen khusus seperti yang disajikan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1. Konsep kerja PLTS Off Grid**

Berikut adalah penjelasan komponen sistem PLTS *Off-Grid*:

#### A. Panel Surya

Solar Panel atau panel surya adalah teknologi yang mengubah energi dari foton menjadi energi listrik, sumber energi foton didapatkan dari sinar matahari. Panel surya memiliki berbagai tipe dengan karakteristik yang berbeda-beda. Oleh karena itu, pemilihan jenis panel surya yang tepat menjadi penting dalam perencanaan PLTS. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Alnanda Yuhanandri dan Asrori (2023) tentang komparasi performansi panel surya mono dan polikristal. Didapatkan hasil dari penelitian tersebut adalah panel surya tipe monokristal lebih efisien dibandingkan dengan panel surya tipe polikristal, dan memiliki efisiensi sebesar 15,72%.[4]

#### B. Baterai

Pada sistem PLTS *Off-Grid*, baterai memainkan peran penting sebagai komponen penyimpanan energi. Karena sistem PLTS *Off-Grid* tidak terkoneksi dengan penyedia jaringan listrik. Energi yang disimpan dalam baterai selanjutnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik. Baterai memiliki beberapa tipe dengan karakteristik yang berbeda. Oleh karena itu, pemilihan tipe baterai yang tepat sesuai kebutuhan menjadi penting dalam perencanaan PLTS *Off-Grid*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Khairunnisa dan Siti Mita Mafturoh (2023). Didapatkan hasil dari penelitian tersebut adalah Baterai

LiFePO<sub>4</sub> memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan Lithium biasa karena aman, tahan lama, stabil pada suhu tinggi, dan ekonomis. Sehingga baterai ini layak untuk kondisi iklim seperti di Indonesia.[5]

### **C. Solar Charge Controller**

SCC (Solar Charge Controller) adalah komponen krusial dalam sistem PLTS *Off-Grid* yang berfungsi untuk mengatur aliran listrik dari panel surya ke baterai penyimpanan. Perangkat ini dikonfigurasi dengan kapasitas panel surya dan baterai yang akan digunakan, untuk mengelola arus DC yang masuk ke baterai serta mendistribusikan daya dari baterai ke beban. Tujuannya adalah memastikan daya pengisian baterai dari daya keluaran panel surya terhindar dari pengisian berlebih (*overcharge*), serta menjaga umur baterai agar lebih tahan lama dan sistem bekerja secara efisien. SCC memiliki beberapa jenis dengan karakteristik yang berbeda, dan MPPT (Maximum Power Point Tracking) adalah salah satu jenis SCC dengan teknologi yang mutakhir saat ini. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Roiz dkk. (2022), kecepatan pengisian baterai menggunakan MPPT meningkat hingga 138% dibandingkan dengan metode tanpa MPPT.[6].

### **D. Inverter**

Inverter merupakan perangkat yang berfungsi mengubah arus listrik DC menjadi arus AC dengan karakteristik tertentu, sebelum didistribusikan ke jaringan listrik atau digunakan langsung oleh beban listrik konsumen. Kualitas output inverter bervariasi mulai dari gelombang sinus murni yang ideal untuk peralatan sensitif, hingga gelombang sinus termodifikasi yang lebih sederhana. Oleh karena itu, pemilihan inverter harus disesuaikan dengan karakteristik jaringan listrik publik maupun kebutuhan beban listrik konsumen, seperti frekuensi dan tegangan.

### **E. Kabel**

Kabel adalah konduktor listrik yang berfungsi sebagai media transmisi daya dalam sistem PLTS *off-grid*. Pemilihan jenis dan ukuran kabel yang tepat sangat penting untuk menjamin efisiensi, keamanan, dan keandalan sistem. Faktor utama yang harus diperhatikan adalah arus maksimum yang akan dialirkan.

### **F. PSDK**

PSDK (Perangkat Sakelar dan Kendali) adalah komponen proteksi, isolasi, dan kendali yang vital untuk menjamin keamanan dan keandalan sistem PLTS. Perangkat ini mencakup berbagai komponen seperti pemutus sirkuit (*circuit breaker*) dan sekering (*fuse*) yang melindungi sistem dari arus lebih (*overcurrent*) dan hubungan singkat (*short circuit*). Pemilihan PSDK dilakukan berdasarkan faktor-faktor seperti kapasitas arus dan tegangan sistem, dan karakteristik proteksi.

### G. Beban Listrik

Pemakaian daya listrik dirumah tangga atau industri berupa penerangan atau peralatan elektronik.

## 2.2 Kapasitas Sistem PLTS Off-Grid

Menurut penelitian oleh Nalle, Mauboy, dan Galla (2024), perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid* melibatkan beberapa tahapan penting. Langkah pertama adalah menentukan lokasi perencanaan PLTS *Off-Grid* dan mengumpulkan data iradiasi matahari beserta temperatur di sekitar lokasi, diikuti dengan melakukan studi kebutuhan energi untuk menentukan kebutuhan listrik harian berdasarkan jumlah pemakaian listrik di tempat perencanaan tersebut. Setelah itu, dilakukan penentuan komponen utama *PLTS Off-Grid* termasuk pemilihan panel surya, Solar Charge Controller, baterai, dan inverter sesuai kebutuhan daya. Semua aspek tersebut untuk memastikan kapasitas komponen mencukupi kebutuhan daya, serta mengoptimalkan kerja efisiensi sistem.[7]

### A. Menghitung kapasitas Panel Surya

Dalam perencanaan PLTS *Off Grid* parameter konsumsi energi perhari harus ditentukan dan diperhitungkan untuk menentukan kapasitas panel surya agar sistem PLTS *Off Grid* efektif menjadi sumber energi. Dan konsumsi energi perhari bisa didapatkan dari persamaan berikut:

$$PL_H = \text{Beban listrik} \times \text{Waktu pemakaian} \dots\dots\dots (1)$$

Di mana:

$PL_H$  = Pemakaian Listrik perhari (kWh).

Beban listrik = Daya perangkat yang digunakan (Watt).

Waktu pemakaian = Durasi pemakaian perangkat (Jam).

Selain itu, pada PLTS *Off-Grid* waktu efektif panel surya dalam menghasilkan energi listrik dinyatakan dalam *Peak Sun Hours* (PSH). PSH merupakan jumlah jam per hari ketika intensitas radiasi matahari berada pada tingkat 1000W/m<sup>2</sup>, nilai PSH diperoleh dengan membagi iradiasi harian dengan intensitas standar 1000 W/m<sup>2</sup>. Oleh karena itu, kebutuhan konsumsi energi per hari yang didapatkan dari persamaan (1) harus dibagi dengan waktu efektif tersebut. Selanjutnya, dalam perhitungan kapasitas panel surya juga perlu memperhitungkan efisiensi sistem (*derating factor*), yaitu sebesar 80% untuk menentukan jumlah kapasitas panel surya agar memenuhi konsumsi energi perhari. Selain itu, kinerja panel surya akan berkurang ketika suhu kerjanya melampaui temperatur optimal yang ditetapkan yaitu 25°C. Saat temperatur panel surya melewati 25°C, daya keluarannya mengalami penurunan sekitar 0,5% untuk setiap kenaikan temperatur. Sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut.[8][9]

$$PSH = \frac{IM_H}{1000 \text{ W/m}^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$FK_{Temp} = 1 - 0,5\% \times (AT - 25^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (3)$$

$$K_{PS} = \frac{PL_H}{PSH \times E_s \times FK_{Temp}} \dots\dots\dots (4)$$

Di mana:

- PSH = Peak Sun Hour (Jam).
- $IM_H$  = Iradiasi Harian Matahari(kWh/m<sup>2</sup>/hari).
- $FK_{Temp}$  = Faktor koreksi temperatur(%).
- AT = Temperatur sekitar(°C).
- $K_{PS}$  = Kapasitas panel surya (Watt Peak).
- $PL_H$  = Pemakaian listrik perhari (kWh).
- $E_s$  = Efisiensi Sistem (%).

**B. Menghitung kapasitas muatan Baterai**

Dalam menentukan kapasitas muatan baterai untuk PLTS *Off-Grid*, faktor utama yang perlu diperhatikan adalah Depth of Discharge (DOD). DOD menunjukkan persentase energi yang telah digunakan dari total kapasitas baterai. Semakin tinggi DOD, semakin banyak energi yang telah dikeluarkan. Pengelolaan *DOD* sangat penting karena makin dalam pelepasan energi, makin besar potensi degradasi baterai, yang berdampak langsung pada umur operasionalnya. Sebagai contoh, jika sebuah baterai berkapasitas 200 Wh telah mengeluarkan 120 Wh, maka *DOD*-nya adalah 60%. Sementara itu, State of Charge (SOC) adalah kebalikan dari *DOD*, yaitu persentase kapasitas baterai yang masih tersedia atau tersisa. Jika *DOD* mencapai 60%, maka *SOC*-nya adalah 40%. [3]. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Putri dan Kartini (2024), dalam pemodelan PLTS *Off-Grid* untuk menjaga kinerja optimal dan memperpanjang masa pakai baterai, disarankan untuk menggunakan kapasitas baterai pada tingkat *DOD* yang ideal, yaitu 80%. [10] Setelah nilai *DOD* ditentukan, maka penentuan kapasitas baterai bisa didapatkan dengan membagi konsumsi energi listrik perhari dari persamaan (1) dengan *DOD*, seperti melalui persamaan berikut. [11]

$$K_B = \frac{PL_H \times J_O}{V_B \times DOD} \dots\dots\dots (5)$$

Di mana:

- $K_B$  = Kapasitas muatan baterai (Ah)
- $J_O$  = Jumlah hari otonomi (Hari)
- DOD* = *Depth of Discharge* (%)
- $V_B$  = Tegangan Baterai (V)

### C. Menghitung Kapasitas SCC

Untuk menentukan kapasitas SCC yang optimal, tegangan dan arus inputan maksimum SCC harus lebih tinggi daripada tegangan dan arus maksimum panel surya yang terkoneksi dalam semua kondisi. Selain itu, perlu diperhatikan batas aman atau safety margin sebesar 1,25 untuk arus dan tegangan masukan. Persamaan menentukan SCC adalah sebagai berikut.[12]

$$VM_{SCC} > 1,25 \times V_{OC} \text{ Panel Surya} \dots\dots\dots (6)$$

$$IM_{SCC} > 1,25 \times I_{sc} \text{ Panel Surya} \dots\dots\dots (7)$$

Di mana:

- $VM_{SCC}$  = Tegangan masukan maksimum SCC
- $V_{OC} \text{ Panel Surya}$  = Tegangan Rangkaian Terbuka Panel surya
- $IM_{SCC}$  = Arus masukan maksimum SCC
- $I_{sc} \text{ Panel Surya}$  = Arus Hubung Singkat Panel surya

Penentuan SCC harus disesuaikan dengan teknologi baterai yang digunakan. Setiap jenis baterai memiliki karakteristik yang berbeda sehingga perlu penyesuaian yang tepat, terutama saat merancang dan memasang sistem PLTS *Off-Grid*. Oleh karena itu, persamaan menentukan SCC dengan konfigurasi Baterai adalah sebagai berikut.[12]

$$IPM_{SCC} \leq IPM_{Baterai} \dots\dots\dots (8)$$

$$BIVR_{SCC} \geq VM_{Baterai} \dots\dots\dots (9)$$

Di mana:

- $IPM_{SCC}$  = Arus pengisian maksimum SCC
- $IPM_{Baterai}$  = Arus pengisian maksimum baterai
- $BIVR_{SCC}$  = Battery input voltage range SCC
- $VM_{Baterai}$  = Tegangan pada baterai

### D. Menghitung Kapasitas Inverter

Untuk menentukan kapasitas Inverter di sistem *PLTS Off-Grid*, maka Inverter harus mampu diberikan input daya dari baterai dan juga mampu memberikan output daya sesuai beban. Dan kapasitas Inverter bisa didapatkan dengan persamaan sebagai berikut.[12]

$$\text{Kapasitas}_{Inverter} \geq \text{Beban Listrik} \dots\dots\dots (10)$$

$$IVR_{Inverter} \geq VM_{Baterai} \dots\dots\dots (11)$$

Di mana:

- Kapasitas<sub>Inverter</sub> = Kapasitas inverter (Watt)
- Beban Listrik = Daya listrik yang dibutuhkan (Watt).

$IVR_{\text{Inverter}}$  = Input voltage range inverter (VDC)  
 $VM_{\text{Baterai}}$  = Tegangan pada baterai (VDC)

## 2.3 Keamanan Instalasi PLTS Off-Grid

Keamanan instalasi listrik pada PLTS *Off-Grid* adalah hal krusial yang perlu diperhatikan, tujuannya adalah mampu melindungi komponen utama seperti panel surya, baterai, inverter, dan beban listrik dari kerusakan akibat arus berlebih, tegangan berlebih, serta potensi bahaya kebakaran. Sistem keamanan instalasi listrik di PLTS *Off-Grid* meliputi sistem pengkabelan dan sistem proteksi. Pemilihan jenis kabel, ukuran kabel, dan proteksi yang sesuai akan sangat memengaruhi keamanan dan efisiensi sistem PLTS *Off-Grid*. Dengan menerapkan standar keamanan yang tepat, risiko kerusakan perangkat dan kebakaran dapat diminimalkan, serta memastikan sistem dapat beroperasi secara optimal dan stabil dalam jangka panjang.[3]

### 1. Sistem Pengkabelan

Kabel yang digunakan untuk PLTS *Off-Grid* harus memenuhi standar SNI/PUIL serta disesuaikan dengan arus dan tegangan yang digunakan. Selain itu, faktor lingkungan sekitar juga perlu dipertimbangkan dalam pemilihan kabel. Terdapat berbagai jenis kabel untuk instalasi listrik, masing-masing dengan karakteristiknya sendiri. Untuk kondisi lembab dan tahan panas, umumnya digunakan kabel yang memiliki isolasi ganda, diantaranya yaitu:

1. Kabel NYY memiliki lapisan pelindung tambahan yang membuatnya lebih tahan terhadap sinar matahari dan kondisi luar ruangan. Oleh karena itu, kabel ini sering digunakan untuk instalasi di luar ruangan.
2. Kabel NYA hanya memiliki satu lapisan isolasi dan tidak dilengkapi pelindung tambahan, sehingga mudah rusak jika terkena panas, lembab, maupun sinar matahari. Karena itu, kabel ini biasanya dipasang di dalam pipa atau pelindung khusus.

Kedua jenis kabel ini banyak digunakan dalam instalasi listrik tegangan rendah sesuai dengan kebutuhan dan kondisi penggunaannya.

Parameter yang penting dalam penentuan ukuran kabel adalah kemampuan hantar arus (KHA). Untuk mendapatkan nilai KHA, dapat dilalukan dengan persamaan berikut.[12]

$$KHA = I_{AM} \times SF \dots\dots\dots (12)$$

Di mana:

- KHA = kemampuan hantar arus (Ampere).
- $I_{AM}$  = Arus yang akan melewati kabel (Ampere).
- SF = Nilai safety factor (125%).

## 2. Sistem Proteksi

PSDK yang umum digunakan untuk proteksi di sistem PLTS *Off-Grid* adalah CB (*Circuit Breaker*). CB merupakan komponen utama dalam instalasi listrik yang berperan penting sebagai perangkat kendali proteksi otomatis, CB memiliki berbagai jenis dengan karakteristik yang berbeda, salah satunya adalah MCB (*Miniature Circuit Breaker*) yang bekerja sebagai proteksi di tegangan rendah. MCB akan memutuskan aliran arus listrik jika melebihi batas spesifikasinya, seperti saat terjadi beban berlebih dan arus hubung singkat. Berdasarkan kurva tripnya, MCB dibagi menjadi beberapa tipe, diantaranya adalah sebagai berikut:

- Tipe B:  
Merupakan jenis MCB yang akan memutuskan arus jika beban melebihi 3 hingga 5 kali dari arus nominalnya.
- Tipe C:  
Merupakan jenis MCB yang akan memutuskan arus jika beban melebihi melebihi 5 hingga 10 kali dari arus nominalnya.  
Dan berdasarkan jenis arus yang dikendalikan, MCB dibagi menjadi dua:
  1. MCB AC  
MCB AC menghentikan arus bolak-balik yang melebihi batas. Penggunaan MCB AC digunakan oleh beban AC, seperti di rumah.
  2. MCB DC  
MCB DC Memutuskan arus searah yang berlebih. Penggunaan MCB DC digunakan oleh panel surya dan pengisian baterai atau beban DC. Untuk menentukan kapasitas MCB, pastikan rating MCB lebih besar dari arus beban, tetapi lebih kecil dari rating arus kabel yang dilindungi. MCB ditentukan dengan persamaan berikut.[13]

$$I_{\text{beban}} \leq I_{\text{MCB}} \leq I_{\text{kabel}} \dots\dots\dots (13)$$

Di mana:

- $I_{\text{beban}}$  = Arus Beban.
- $I_{\text{MCB}}$  = Rating Arus MCB.
- $I_{\text{kabel}}$  = Maksimal Arus kabel (dari KHA dan konfigurasi standar PUIL).

### 3. Sistem Penumbumian Instalasi

Pada instalasi PLTS Off-Grid, sistem penumbumian instalasi merupakan bagian untuk menjamin keselamatan peralatan dan melindungi manusia dari potensi bahaya listrik, seperti arus bocor. Kondisi instalasi yang berada di atas air laut dengan struktur kayu dan drum plastik sebagai pelampung menjadikan rancangan sistem penumbumian memerlukan pendekatan khusus. Menurut Bhang et al. (2018) perancangan sistem penumbumian instalasi pada lingkungan perairan harus mempertimbangkan beberapa parameter penting, di antaranya resistivitas air, panjang elektroda, dan diameter elektroda. Selanjutnya, berdasarkan penelitian A. Muhni dkk. (2018), resistivitas material di bumi bervariasi, dan khusus untuk air laut memiliki nilai rata-rata sebesar  $0,2 \Omega\cdot\text{m}$ , yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan tahanan penumbumian pada sistem kelistrikan di lingkungan perairan laut. Selain itu, mengacu pada PUIL, nilai tahanan penumbumian instalasi harus lebih kecil atau sama dengan  $5 \Omega$ . Oleh karena itu, perhitungan tahanan penumbumian pada instalasi PLTS Off-Grid di kelong apung dilakukan dengan memperhatikan parameter-parameter tersebut menggunakan persamaan sebagai berikut.[14][15]16]

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{2l}{d}\right) \dots\dots\dots (14)$$

$$R \leq 5 \Omega \dots\dots\dots (15)$$

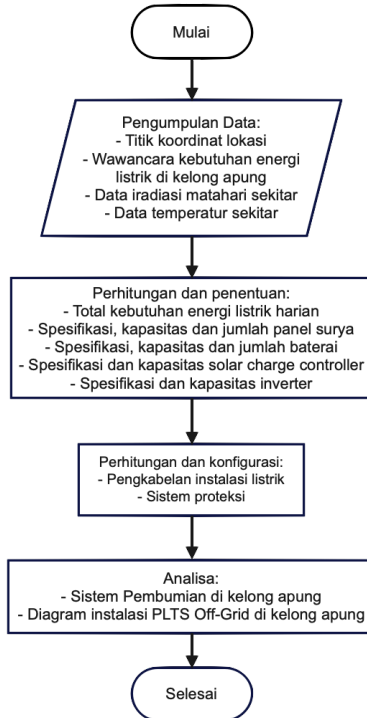
Di mana:

- R = Tahanan penumbumian ( $\Omega$ ).
- $\rho$  = Resistivitas air laut ( $0,2 \Omega\cdot\text{m}$ ).
- $l$  = Panjang elektroda (m).
- $d$  = Diameter elektroda (m).

## Bab 3. Metodologi Penelitian

### 3.1. Perancangan Penelitian

Perancangan penelitian akan dilakukan sesuai diagram berikut:



**Gambar 2. Diagram Alur Penelitian**

Studi perencanaan PLTS *Off-Grid* di kelong apung, dimulai dengan melakukan identifikasi lokasi dan wawancara kebutuhan energi listrik di kelong apung. Kemudian, melakukan pengumpulan data iradiasi matahari dan temperatur sekitar. Selanjutnya, melakukan perhitungan dan penentuan komponen *PLTS Off-Grid* sesuai dengan data kebutuhan listrik di kelong apung. Selain itu, mengkonfigurasi teknis pengkabelan dan proteksi instalasi listrik *PLTS Off-Grid* yang sesuai di kelong apung dengan data yang didapatkan dari langkah sebelumnya. Dan melakukan analisa sistem pembumian *PLTS Off-Grid* di kelong apung beserta diagram instalasinya.

## 3.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah tahap awal dalam proses perencanaan ini, yang dilakukan untuk mendapatkan spesifikasi dan kapasitas komponen PLTS *Off-Grid*. Metode pengumpulan data dilakukan dengan dua cara berbeda yaitu:

1. Identifikasi lokasi dan kebutuhan listrik di kelong apung dilakukan secara manual.
2. Data iradiasi matahari dan temperatur sekitar dilakukan menggunakan perangkat lunak Pvsyst V8.0.3 yang berdasarkan koordinat lokasi kelong apung.

## 3.3. Pemrosesan Data

Pemrosesan data dalam studi perencanaan PLTS *Off-Grid* di kelong apung ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

Tahapan pertama adalah menentukan komponen utama PLTS *Off-Grid* dengan menghitung secara manual, yaitu:

1. Menghitung kebutuhan energi listrik harian di kelong apung berdasarkan persamaan (1).
2. Menghitung kapasitas panel surya berdasarkan persamaan (2),(3),(4).
3. Menghitung kapasitas dan jumlah baterai berdasarkan persamaan (5).
4. Menghitung kapasitas Solar Charge Controller berdasarkan persamaan (6), (7), (8), dan (9).
5. Menghitung kapasitas inverter berdasarkan persamaan (10) dan (11).

Setelah itu, tahapan selanjutnya adalah konfigurasi pengkabelan dan proteksi sistem berdasarkan spesifikasi komponen yang didapatkan. Beserta sistem pembumian, yang meliputi:

1. Menghitung spesifikasi pengkabelan antar komponen berdasarkan persamaan (12).
2. Menghitung proteksi sistem berdasarkan persamaan (13).
3. Menghitung sistem pembumian berdasarkan persamaan (14) dan (15).

Tahap terakhir dalam pemrosesan data ini adalah konsep instalasi PLTS *Off-Grid* di kelong apung, yang dilakukan berdasarkan hasil dari tahapan sebelumnya.

### 3.3. Lokasi Penelitian

Studi perencanaan PLTS *Off-Grid* untuk sumber Energi pada Kelong Apung ini dilakukan pada kelong apung yang teletak di Desa Teluk Bakau Kabupaten Bintan. Lokasi Kelong Apung disajikan pada gambar berikut:



**Gambar 3. Lokasi Kelong Apung**

Seperti yang terlampir pada **Gambar 3** adalah titik lokasi kelong apung yang berada dekat dengan Jalan. Pemuklman, Teluk Bakau, kecamatan gunung kijang dan lokasi Kelong Apung tersebut berada pada koordinat  $1.054667^{\circ}$  Lintang Utara dan  $104.649306^{\circ}$  Bujur Timur.



**Gambar 4. Kelong Apung di Teluk Bakau**

*Sumber: Dokumentasi pribadi dan sudah mendapatkan izin dari pemilik*

Kemudian pada **Gambar 4** yang disajikan, menunjukkan model kelong apung yang memiliki karakteristik yaitu meliputi dimensi utama dengan luas 9 x 14 meter dan luas rumah yang berada di atasnya sebesar 3 x 4 meter.

## Bab 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Perhitungan Perencanaan PLTS Off-Grid

Berdasarkan hasil wawancara, diketahui bahwa Kelong Apung diparkir di bibir pantai ketika kondisi cuaca buruk. Namun, jika cuaca mendukung kelong apung dipindahkan ke lokasi yang dianggap memiliki potensi tangkapan ikan yang tinggi. Aktivitas Kelong Apung biasanya berlangsung di perairan dengan jarak rata-rata 5 hingga 10 kilometer dari garis pantai, para nelayan terkadang memutuskan untuk membawa kelong hingga sejauh 25 kilometer dari pantai. Oleh karena itu, berdasarkan informasi tersebut penulis menggunakan perangkat lunak Pvsyst untuk mendapatkan data iradiasi matahari dan temperatur sekitar di tempat kelong apung berada. Seperti yang disajikan pada tabel berikut:

**Tabel 1. Data iradiasi Matahari dan Temperatur**

Bulan	Temperatur sekitar (°C)	Iradiasi Matahari harian (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
Januari	27,1	4,73
Februari	27,6	5,50
Maret	28	5,35
April	28	5,06
Mei	28,8	4,71
Juni	28,2	4,45
Juli	28,3	4,60
Agustus	28,2	4,63
September	27,8	4,62
Oktober	28,1	4,47
November	27,1	4,12
Desember	27,9	4,01

Dari hasil perangkat lunak Pvsyst rata-rata temperatur sekitar dalam satu tahunnya adalah sebesar **27,9 °C**. Sementara itu, berdasarkan data rata-rata iradiasi harian tahunan adalah sebesar **4,68 kWh/m<sup>2</sup>/hari**.

Selanjutnya, berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan oleh penulis dengan pemilik kelong apung, diperoleh data terkait total energi listrik yang dibutuhkan pada kelong apung sebagai berikut:

**Tabel 2. Data kebutuhan energi listrik di kelong apung**

No	Perangkat	Daya per-perangkat (Watt)	Banyak perangkat (Unit)	Waktu pemakai (Jam)	Konsumsi Energi (1) (kWh)
1.	Lampu	40	2	12	$80 \times 12 = 0,96$
2.	Cas Hp	30	2	5	$60 \times 5 = 0,3$
<b>Total keseluruhan konsumsi Energi listrik (kWh)</b>					1,26

Sehingga, total kebutuhan energi listrik di kelong apung adalah sebesar **1,26 kWh** atau **1260 Wh** selama satu hari.

Kemudian, berdasarkan data rata-rata temperatur sekitar dan iradiasi harian matahari yang disajikan pada **Tabel 1**, serta kebutuhan energi listrik pada kelong apung yang diperoleh penulis pada **Tabel 2**, kapasitas panel surya yang diperlukan ditentukan menggunakan Persamaan (2)(3)(4) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} PSH &= \frac{4,68 \text{ kWh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} \\ &= 4,68 \text{ Jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FK_{Temp} &= 1 - 0,5\% \times (27.9 - 25) \\ &= 98,55\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{PS} &= \frac{1260 \text{ Wh}}{4,68 \times 80\% \times 98,55\%} \\ &= 341,49 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, didapatkan kapasitas panel surya yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di kelong apung adalah 341,49 Wp. Karena hasil perhitungan kapasitas panel surya menghasilkan nilai desimal, maka dengan mempertimbangkan ketersediaan panel surya di pasaran dan tempat yang terbatas di kelong apung, maka dipilih satu panel surya berkapasitas 345 Wp tipe monokristal, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 3**. Selain itu, dari hasil wawancara diketahui bahwa kapasitas baterai direncanakan untuk memenuhi kebutuhan daya selama 1 hari otonomi. Maka kapasitas baterai yang diperlukan untuk menyimpan energi di kelong apung dihitung menggunakan Persamaan (5) sebagai berikut:

$$K_B = \frac{1260 \text{ Wh} \times 1}{24 \text{ V} \times 80\%}$$

$$= 65,62 \text{ Ah}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas muatan baterai yang diperlukan adalah 65,62 Ah. Karena nilai hasil perhitungan  $K_B$  tersebut adalah nilai desimal dengan pertimbangan ketersediaan baterai di pasaran, maka dibulatkan menjadi 70 Ah. Kemudian tegangan baterai yang digunakan adalah 24 V, maka untuk mendapatkan nilai tegangan tersebut diperlukan konfigurasi pemasangan baterai dilakukan secara seri, dengan 2 buah baterai 12 V 70 Ah maka total tegangan baterai menjadi 24 VDC. Dengan spesifikasi jenis Baterai yang diperlukan adalah  $\text{LiFePO}_4$  seperti yang disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Karakteristik Komponen PLTS Off Grid (a)**

No	Komponen	Merek dan tipe	Spesifikasi		Unit
1.	Panel surya Monokristal	Longi, LR4-60HPB-345M	Pmax (WP)	345	1
			Voc (V)	40.2	
			Isc (A)	11.06	
			Vmp (V)	34.2	
			Imp (A)	10.09	
			Efficiency (%)	18.9	
			Dimension (mm)	1682 × 996 × 35	
2.	Baterai 12v 70 Ah	bluecarbon, $\text{LiFePO}_4$	Battery type	$\text{LiFePO}_4$	2
			Standart Capacity	70 Ah	
			Charging Voltage	14.4V-15V	
			Continuously Use Input Current	20A	
			Continuously Use Output Current	40A	

Untuk menentukan kapasitas SCC yang sesuai agar memenuhi kebutuhan energi di kelong apung, perhitungan dilakukan berdasarkan spesifikasi komponen panel surya dan baterai yang tercantum pada **Tabel 3**. Perhitungan ini menggunakan Persamaan (6)-(9). Pada **Tabel 3**, diketahui bahwa tegangan Voc adalah 40,2 V, dan arus Isc adalah 11,06 A. Berdasarkan data tersebut, didapatkan

persamaan (6) dan (7) yang akan digunakan sebagai parameter untuk menentukan spesifikasi SCC sebagai berikut:

$$VM_{SCC} > 1,25 \times 40,2 \text{ V}$$

$$VM_{SCC} > 50,25 \text{ V}$$

$$IM_{SCC} > 1,25 \times 11,06 \text{ A}$$

$$IM_{SCC} > 13,825 \text{ A}$$

Selanjutnya, parameter pengisian baterai dari SCC harus diperhitungkan sesuai dengan Persamaan (8). Yang berpatokan pada *Continuously Use Input Current* baterai yang disajikan pada **Tabel 3**, hasilnya adalah sebagai berikut:

$$IPM_{SCC} \leq 20 \text{ Ah}$$

Dengan total tegangan baterai 24VDC. Maka dengan demikian, parameter terakhir untuk menentukan spesifikasi SCC berpedoman pada Persamaan (9) sebagai berikut:

$$BIVR_{SCC} \geq 24 \text{ VDC}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, didapatkan kapasitas SCC adalah sebesar 20A dengan tipe MPPT, dan spesifikasi seperti pada **Tabel 4**. Selanjutnya, penulis menentukan kapasitas inverter berdasarkan total kebutuhan energi listrik di kelong apung dan total tegangan baterai. Oleh karena itu, penulis menentukan inverter dari persamaan (10) dan (11) sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas}_{\text{Inverter}} \geq 1260 \text{ Watt}$$

$$IVR_{\text{Inverter}} \geq 24 \text{ VDC}$$

Dari hasil parameter persamaan tersebut didapatkan kapasitas inverter adalah sebesar 1500W 24 VDC dengan spesifikasi yang ditampilkan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4. Karakteristik Komponen PLTS Off Grid (b)**

No	Komponen	Merek dan tipe	Spesifikasi		Unit
1.	SCC MPPT	EPEVER, XTRA 2210N	Nominal System Voltage	12/24/36/48VDC/Auto	1
			Battery input voltage range	8-32V	
			Rated charge current	20A	
			Rated discharge current	20A	
			Rated charge power	260W/12V 520W/24V	
			Max. PV (Voc)	100V	
			MPPT Voltage Range	From (Battery voltage + 2V) to 72V	
2.	Inverter	IHUAX.CN, HX-1500PS	Continuous output power	1500W	1
			Output voltage	220VAC	
			Rated input voltage	24VDC	
			Input voltage range	20-30 VDC	
			Output Frequency	50Hz	
			Output Voltage Waveform	Pure Sine Wave	

## 4.2. Konfigurasi keamanan instalasi listrik di kelong apung

Berdasarkan hasil spesifikasi komponen yang didapatkan sebelumnya, spesifikasi proteksi yaitu pengkabelan dan perlindungan instalasi listrik PLTS *Off-Grid* pada kelong apung mengacu pada standar PUIL 2020. Berdasarkan pedoman dalam PUIL 2020 dan kondisi kelong apung, jenis kabel yang digunakan untuk instalasi PLTS *Off-Grid* di kelong apung adalah kabel NYA. Untuk menentukan luas penampang kabel pada sisi DC dan AC, digunakan nilai KHA yang dihitung berdasarkan Persamaan (12), kemudian berpedoman pada standar PUIL 2020 Pasal 790.24.1.2 dan **Tabel 4.**[13]

KHA kabel DC dari SCC ke Baterai dan sebaliknya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{KHA} &= 1,25 \times 20 \text{ A} \\ &= 25 \text{ A} \end{aligned}$$

KHA kabel DC dari Baterai ke Inverter sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{KHA} &= 1,25 \times 62,5 \text{ A} \\ &= 78,1 \text{ A} \end{aligned}$$

Selain itu, KHA kabel AC dari Inverter ke Beban adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{KHA} &= 1,25 \times 10 \text{ A} \\ &= 12,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil dari persamaan tersebut, kemudian nilai KHA menjadi patokan untuk menentukan luas penampang kabel yang terdapat pada **Tabel 5.** Setelah itu didapatkan luas penampang kabel dan inti kabel yang berdasarkan KHA dengan kapasitas komponen PLTS *Off-Grid*, yang akan digunakan pada kelong apung adalah seperti yang disajikan pada **Tabel 6.** Selanjutnya, untuk menentukan rating MCB pada sisi DC dan AC, digunakan Persamaan (13) serta mengacu pada standar PUIL 2020 Pasal 790.24.1.2 dan **Tabel 5.**[13]

**Tabel 5. PUIL 2020 Tabel K.52.7 – KHA terus menerus dalam kondukt**

Jenis Kabel	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KHA terus menerus
NYA	1,5	15
	2,5	20
	4	25
	6	35
	10	45
	16	61

	25	83
--	----	----

Parameter rating MCB DC dari Panel Surya ke SCC sebagai berikut:

$$13,825 \text{ A} \leq I_{\text{MCB}} \leq 20 \text{ A}$$

Parameter rating MCB DC dari SCC ke Baterai adalah sebagai berikut:

$$20 \text{ A} \leq I_{\text{MCB}} \leq 25 \text{ A}$$

Parameter rating MCB DC dari Baterai ke Inverter adalah sebagai berikut:

$$62,5 \text{ A} \leq I_{\text{MCB}} \leq 78,1 \text{ A}$$

Parameter rating MCB AC dari Inverter ke Beban adalah sebagai berikut:

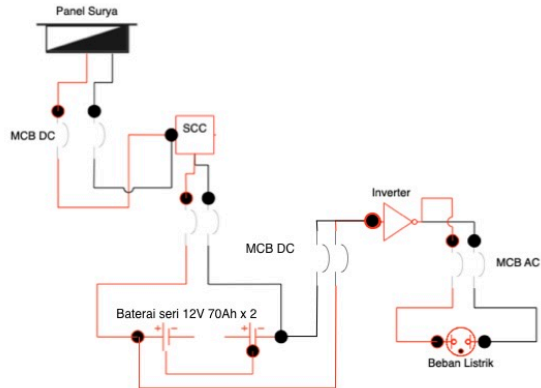
$$10 \text{ A} \leq I_{\text{MCB}} \leq 18,5 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil persamaan tersebut, diperoleh rating MCB seperti yang disajikan pada **Tabel 6**.

**Tabel 6. Spesifikasi komponen keamanan instalasi PLTS**

No	Perangkat	Spesifikasi		Unit
1.	Kabel NYA SCC ke Baterai	Luas Penampang	4 mm	1 meter
2.	Kabel NYA Baterai ke Inverter	Luas Penampang	25 mm	1 meter
3.	Kabel NYA ke beban listrik	Luas Penampang	1,5 mm	10-15 meter
4.	MCB Panel Surya ke SCC	DC Tipe C	16 A	1
5.	MCB SCC ke Baterai	DC Tipe B	20 A	1
6.	MCB Baterai ke Inverter	DC Tipe C	63 A	1
7.	MCB Inverter ke Beban	AC Tipe B	16 A	1

Selanjutnya, konsep PLTS *Off-Grid* di kelong apung disajikan pada **Gambar 5** melalui model wiring diagram skematik, yang menunjukkan komponen yang diperlukan pada konsep PLTS *Off-Grid* di kelong apung. Kemudian, seperti yang terlihat pada **Gambar 7** adalah wiring diagram instalasi, yang menunjukkan konsep instalasi PLTS *Off-Grid* di kelong apung. Pada gambar tersebut memperlihatkan hubungan antara kabel dengan komponen beserta posisi komponen yang berada di dalam kotak panel, yang ditunjukkan dengan garis hitam putus-putus.



**Gambar 5.** Wiring diagram skematik PLTS Off Grid di kelong apung

### 4.3. Analisis Pembumian Instalasi di kelong apung

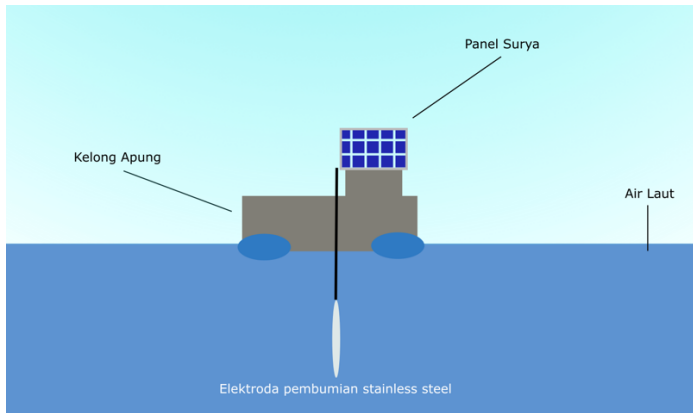
Berdasarkan aktivitas kelong apung yang beroperasi di lautan dan mengingat lingkungan laut bersifat korosif, maka material elektroda pembumian yang digunakan harus tahan terhadap korosi. Sesuai ketentuan IEC 62561-2, salah satu material yang direkomendasikan untuk lingkungan air laut adalah *stainless steel* tipe SS316, karena memiliki ketahanan tinggi terhadap air asin dan tidak memerlukan perlindungan tambahan seperti lapisan pelindung atau anoda korban.[17] Selanjutnya, berdasarkan pertimbangan ketersediaan di pasar, elektroda batang *stainless steel* yang akan digunakan adalah yang memiliki panjang 0,5 meter dengan diameter 3 mm, dan dipasang setengah bagian berada di dalam air laut. Oleh karena itu, didapatkan tahanan pembumian instalasi untuk kelong apung berdasarkan persamaan (14) dan (15) sebagai berikut:

$$R = \frac{0,2 \Omega \cdot m}{2 \times 3,14 \times 0,5 m} \ln \left( \frac{x \ 0,5 m}{0,003 m} \right)$$

$$R = 0,37001 \Omega$$

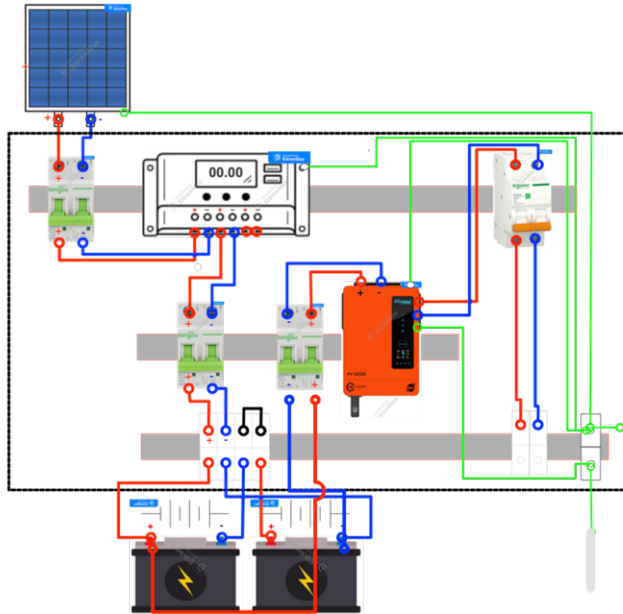
$$0,37001 \Omega < 5 \Omega$$

Nilai tahanan pembumian pada kelong apung yang diperoleh dari perhitungan tersebut telah sesuai dengan ketentuan PUIL. Oleh karena itu, sistem pembumian tersebut layak untuk diimplementasikan. Seperti yang terlihat pada Gambar 6 adalah ilustrasi sistem pembumian di kelong apung.



**Gambar 6. Ilustrasi Sistem Pembumian di Kelong Apung**

Selain itu, merujuk pada PUIL 411.3.1.2, untuk mencegah timbulnya beda potensial yang berbahaya, perlu dibuat sistem ikatan ekuipotensial. Penerapannya adalah dengan menghubungkan semua bagian logam yang ada pada rangka panel surya, badan kotak panel, badan SCC, dan badan inverter, kemudian dihubungkan ke terminal pembumian, seperti yang di lampirkan pada **Gambar 7**.



**Gambar 7. Wiring Diagram Instalasi PLTS Off Grid di kelong apung**

Kemudian, menurut standar PUIL jenis kabel yang digunakan untuk sistem ikatan ekuiopotensial ini adalah kabel tembaga tunggal berisolasi tipe NYA dengan ukuran minimal 16 mm. Sementara itu, kabel yang digunakan untuk sistem pembumian dari terminal pembumian di kotak panel menuju batang elektroda pembumian adalah kabel tembaga berisolasi tipe NYY inti tunggal dengan ukuran 16 mm dan panjang 15 meter. Titik sambungan antara kabel dan elektroda harus dilindungi dengan lapisan pelindung dari bahan *stainless steel* untuk mencegah korosi pada kabel[16].

## Bab 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi perencanaan PLTS *Off-Grid* sebagai sumber energi untuk kelong apung yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sebesar 1,26 kWh, diperlukan panel surya berkapasitas 345 Wp, yang terdiri dari satu panel berukuran 1682mm × 996mm × 35mm. Sistem ini juga dilengkapi dengan baterai berkapasitas 1575 Wh, yang dikonfigurasi secara seri menggunakan dua baterai LiFePO<sub>4</sub> 12V 70Ah. Selain itu, solar charge controller yang digunakan memiliki kapasitas 20A dengan tipe EPEVER-XTRA 2210N. Untuk konversi energi dari DC ke AC, digunakan inverter berkapasitas 1500 Watt.
2. Untuk memastikan sistem PLTS *Off-Grid* yang andal dan aman di kelong apung, digunakan kabel NYA 4 mm untuk penghantar arus dari SCC ke baterai, serta kabel NYA 25 mm untuk sambungan dari baterai ke inverter. Sementara itu, kabel untuk instalasi AC menggunakan kabel NYA berukuran 1,5 mm. Sistem ini juga dilengkapi dengan MCB sebagai perangkat pengaman, yaitu 1 unit MCB DC 16 A, 1 unit MCB DC 20 A, 1 unit MCB DC 63 A, dan 1 unit MCB AC 16 A tipe B. Selain itu, sistem dilengkapi dengan instalasi pembumian menggunakan batang elektroda stainless steel tipe SS316 dengan panjang 1,2 meter dan diameter 28 mm, yang dipasang di sekitar bawah kelong apung.

### 5.2. Saran

Dari hasil studi yang dilakukan penulis, penulis menyarankan agar peneliti selanjutnya yang akan melakukan studi yang berkaitan dengan PLTS *Off-Grid* di wilayah perairan mempertimbangkan dampak baterai yang berada di temperatur yang rendah dengan lingkungan air laut.

## Daftar Pustaka

- [1] Deni Herliyanso and Ojak Abdul Rozak, "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-grid Sebagai Suplai Daya Listrik Perpustakaan Universitas Pamulang," *Jurnal Otomasi Kelistrikan dan Energi Terbarukan*, vol. 5, no. 1, pp. 20–29, May 2023, doi: <https://doi.org/10.32722/ees.v5i1.5612>.
- [2] W. Ridwan, Z. Tharo, and Rahmaniar, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Pada Gedung Serbaguna Pondok Pesantren Sejahtera", *JESCE*, vol. 8, no. 1, pp. 173–180, Aug. 2024.
- [3] Prof. Dr. Ir. Untung Rahardja, M.T.I., MM et al., *Renewable Energy : Panduan Mandiri Instalasi Komersial Energi Terbarukan. Asosiasi Pendidikan Tinggi Informatika dan Komputer (APTIKOM)*, 2023.
- [4] A. Yuhanandri and A. Asrori, "Komparasi Performansi Panel Surya Mono dan Polikristal Sebagai Sumber Tenaga Pada E-Scooter Angkut," *Jurnal Ilmiah Momentum*, vol. 19, no. 2, p. 106, Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.36499/jim.v19i2.9001>.
- [5] Khairunnisa Khairunnisa and Siti Mita Mafturoh, "Characteristics of LiFePo4 and Li-Ion Batteries during the Process of Charging and Discharging for Recommendation Solar Power Energy Storage," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 53–62, May 2023, doi: <https://doi.org/10.21831/jee.v7i1.61654>.
- [6] Rois, M. Z., Lestari, R. F., Kaloko, B. S., & Mulyadi, A., "Maximum Power Point Tracking (MPPT) sebagai Pelacak Daya Puncak pada Panel Surya untuk Optimasi Pengisian Baterai", *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, vol. 8, no. 2, pp. 56-58, 2022. <https://doi.org/10.19184/jaei.v8i2.32586>
- [7] D. Y. Nalle, E. R. Mauboy, and W. F. Galla, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Untuk Kebutuhan Rumah Tangga di Desa Delo Kabupaten Sabu Raijua," *JTekEL: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 11–19, 2024, Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <https://elektro.ejournal.web.id/index.php/elektro/article/view/111>
- [8] Xma R.Pote, "Design of a Domestic and Commercial Setup for Solar PV Systems," *Panamerican Mathematical Journal*, vol. 35, no. 2s, pp. 321–328, Nov. 2024, doi: <https://doi.org/10.52783/pmj.v35.i2s.2573>.
- [9] R. Rauf et al., *Matahari sebagai Energi Masa Depan: Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Padang, Indonesia: Yayasan Kita Menulis, 2023.
- [10] T. M. Putri and U. T. Kartini, "Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid untuk Skala Rumah Tangga", *JTE*, vol. 14, no. 1, pp. 16–22, Jul. 2024.

- [11] L. K. Wisnu Kita. Pembangkit Listrik 2. Class Lecture, Topic: "Desain Sistem PLTS", Rekayasa Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Batam, Batam, Sep. 23, 2023.
- [12] Bagus Ramadhani et al., "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts," Jakarta: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2018.
- [13] L. M. Hayusman, "*Dasar Instalasi Tenaga Listrik*". Deepublish, 2020.
- [14] B. Bhang et al., "Design Methods of Underwater Grounding Electrode Array by Considering Inter-Electrode Interference for Floating PVs," *Energies*, vol. 11, no. 4, p. 982, Apr. 2018, doi: <https://doi.org/10.3390/en11040982>.
- [15] A Muhni, M S D Hadian, T Y W M Iskandarsyah, and G. S. Nugraha, "The Susceptibility of Seawater Intrusion Based on Resistivity at Banda Aceh City, Indonesia," *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, vol. 145, pp. 012131–012131, Apr. 2018, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/145/1/012131>.
- [16] Badan Standarisasi Nasional. "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2020." Indonesia, SNI0225, 2020.
- [17] *Lightning Protection System Components (LPSC) – Part 2: Requirements for conductors and earth electrodes*, IEC 62561-2, 2018.

## Biodata



Nama : PUTRA LAKSMANA  
TTL : TANJUNGPINANG, 19 MARET 2001  
Agama : ISLAM  
Alamat : Jl. Lembah Purnama Gg, selayar 3

Email : [putra.laksmiana@students.polibatam.ac.id](mailto:putra.laksmiana@students.polibatam.ac.id)  
Riwayat SMK : SMK NEGERI 3 TANJUNGPINANG  
Pendidikan SMP : SMP SWASTA INDRA SAKTI

# Lampiran 1

## Laporan Hasil Wawancara

### 1. Informasi Umum

- Narasumber : Masyarakat Nelayan Pemilik Kelong Apung  
Nama : Awang Ramli  
Jenis kelamin : Laki-laki  
Alamat : Jl. Pemukiman, Tlk. Bakau, Kec. Gn. Kijang, Kabupaten Bintan

### 2. Aktivitas Kelong apung

- Apa saja kegunaan kelong apung?  
Untuk melakukan penangkapan ikan teri dan cumi
- Dimana lokasi kelong apung?  
Kelong apung biasanya diparkirkan di bibir pantai saat tidak beroperasi karena cuaca buruk, jika cuaca bagus kelong apung biasanya dipindah-pindahkan ke lokasi yang berpotensi mendapatkan ikan. Biasanya nelayan membawa kelong apung dari bibir pantai antara 5-25 km.

### 3. Jenis Peralatan Listrik yang Digunakan

- Apa saja perangkat listrik yang digunakan di kelong?  
2 buah Lampu dan 2 cas hp
- Spesifikasi perangkat ?  
Lampu 40 Watt dan Cas Hp 30 Watt
- Apakah ada penggunaan alat khusus saat malam hari atau musim tertentu?  
Aktivitas kelong apung dilakukan saat malam hari, oleh karena itu penggunaan listrik dilakukan di malam hari

### 4. Pola Penggunaan Listrik

- Berapa jam per hari setiap perangkat digunakan?  
Penggunaan lampu digunakan 12 jam/hari, sedangkan cas hp 5 jam/hari
- Apakah semua perangkat digunakan bersamaan atau bergantian?  
Untuk dua buah lampu digunakan secara bersamaan, sementara cas hp digunakan secara bersamaan dan bergantian.

### 5. Sumber Energi Saat Ini

- Apa sumber energi utama di kelong apung saat ini  
Mesin diesel yanmar
- Berapa konsumsi bahan bakar ?  
25 liter
- Apakah ada kendala dengan sumber energi saat ini?  
Suara berisik mesin diesel, bahan bakar; seperti biaya dan pasokan

## Lampiran 2



Lampiran 2. 1 Wawancara dengan narasumber



**Lampiran 2. 2 Kelong Apung**