

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Lokasi Floating Photovoltaic System**

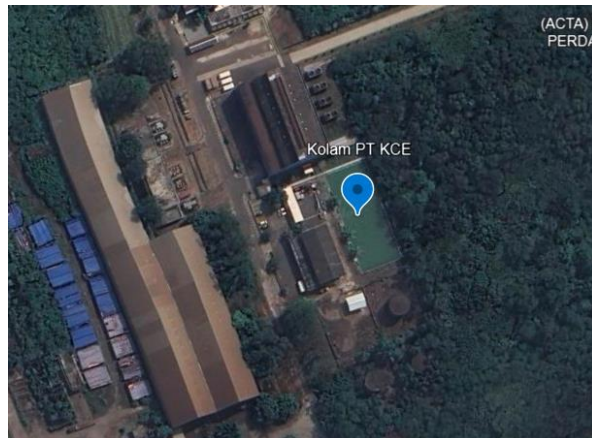
Kota Cilegon, terletak pada Provinsi Banten yang merupakan salah satu dari pusat industri terbesar yang ada di Indonesia. Dengan berbagai macam industri skala besar yang beroperasi, terutama pada industri baja dan Kota Cilegon sendiri memiliki peran penting dalam perekonomian nasional. Namun, tingginya aktivitas industri di kota ini juga dapat berpengaruh terhadap peningkatan permintaan energi yang besar dan terus bertambah di setiap tahunnya. Untuk dapat menjawab tantangan tersebut solusi yang sangat tepat dan juga potensial adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan, khususnya melalui penerapan sistem photovoltaic terapung (*floating photovoltaic system*) di kolam milik PT Krakatau Chandra Energi, yang merupakan bagian dari group Krakatau Steel. Implementasi pada teknologi ini bukan saja menawarkan solusi bagi kebutuhan energi yang semakin meningkat, tetapi juga mendukung upaya pengurangan emisi karbon serta peningkatan ketahanan energi pada kawasan industri.

PT Krakatau Chandra Energi sendiri sebagai anak perusahaan dari PT Krakatau Steel dan juga PT Chandra Asri Petrochemical sendiri memiliki beberapa kolam penampungan air yang cukup besar yang sebelumnya digunakan sebagai keperluan industri. Lokasi ini sekarang memiliki potensi yang amat besar untuk dapat dimanfaatkan sebagai tempat dalam pengembangan sistem *photovoltaic* terapung. Memiliki perbedaan dengan sistem *photovoltaic* konvensional yang memerlukan lahan darat yang luas, sistem terapung sendiri memanfaatkan permukaan air yang sehingga tidak hanya dapat menghemat lahan tetapi juga dapat memberikan keuntungan termal. Air di kolam dapat membantu mendinginkan panel surya,

meningkatkan efisiensi konversi energi, dan pada saat yang sama dapat meminimalkan penguapan air dari kolam tersebut.

Kondisi iklim di Kota Cilegon sendiri sangat mendukung pengembangan energi matahari. Berdasarkan kepada data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) wilayah ini sendiri menerima radiasi matahari yang cukup tinggi sepanjang tahun, dengan intensitas radiasi rata-rata berkisar antara 4,5 hingga 5,0 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Intensitas radiasi ini sangat ideal untuk instalasi sistem photovoltaic, yang berarti potensi energi yang dapat dihasilkan dari panel surya di kolam PT Krakatau Chandra Energi sangat signifikan. Selain itu, teknologi photovoltaic terapung memungkinkan produksi energi yang lebih stabil dan dapat diandalkan, yang sangat penting untuk mendukung kegiatan industri yang berlangsung tanpa henti. Pengembangan proyek *photovoltaic* terapung di kolam PT Krakatau Chandra Energi juga berimplikasi strategis yang luas dalam hal diversifikasi sumber energi. Saat ini, Cilegon sangat bergantung kepada energi dari bahan bakar fosil, terkhusus pada batu bara dan gas alam, yang tidak hanya berkontribusi terhadap emisi karbon yang tinggi tetapi juga rentan terhadap fluktuasi harga pasar global. Dengan mengadopsi energi terbarukan seperti tenaga surya, PT Krakatau Chandra Energi dapat mengurangi ketergantungan ini dan meningkatkan ketahanan energi perusahaan secara keseluruhan. Menurut kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), setiap megawatt (MW) listrik yang dihasilkan oleh energi matahari dapat mengurangi emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebanyak 1.500 ton per tahun. Dengan kapasitas terpasang yang cukup besar, proyek ini dapat memberikan kontribusi yang cukup signifikan dalam mengurangi jejak karbon dari proses operasional industri di kawasan ini, sekaligus mendukung target Indonesia untuk mencapai pengurangan emisi yang diamanatkan dalam berbagai kesepakatan internasional.

Dalam jangka panjang, proyek photovoltaic terapung di kolam PT Krakatau Chandra Energi akan memainkan peran penting dalam transformasi Cilegon menjadi kota industri yang lebih ramah lingkungan. Dengan mengintegrasikan energi matahari ke dalam infrastruktur energi perusahaan, PT Krakatau Chandra Energi tidak hanya memenuhi kebutuhan energi industrinya dengan cara yang lebih berkelanjutan, tetapi juga berkontribusi pada pencapaian target nasional dalam pengurangan emisi karbon. Sebagai langkah strategis, implementasi teknologi ini tidak hanya mendukung keberlanjutan operasional perusahaan, tetapi juga dapat membawa manfaat sosial, ekonomi, dan lingkungan yang luas bagi masyarakat Kota Cilegon dan Sekitarnya. Adapun lokasi penelitian tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 dibawah ini.



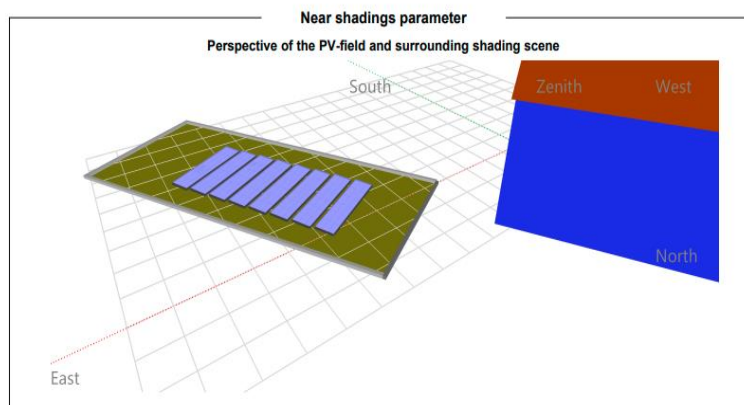
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian

Berdasarkan Gambar 4.1 di atas terlihat bahwasanya lokasi penelitian terdapat di belakang sebuah *workshop* yang hampir di bagian sisi kolam tertutup dengan pepohonan dan juga bangunan. Hal tersebut yang menjadi kesulitan pada saat proses perancangan. Akan tetapi tetap bisa dilakukan perancangan karena sudah

diperhitungkan dan diperkirakan efek dari *shading* yang timbul karena beberapa pepohonan yang terdapat di tepi kolam.

#### 4.2. Peta Batimetri Kolam

Dalam proses perancangan PLTS Terapung sendiri membutuhkan analisa terkait kedalaman kolam yang akan digunakan untuk dapat menentukan pemasangan pengapung dari PLTS Terapung itu sendiri. Seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.5 terkait mengolah data barimetri yang ada, diperoleh bahwa kolam yang ada pada SBU PT KCE ini sendiri berada pada 23 mdpl. Pada perancanganya sendiri tidak ditemukan kontur batimetri pada dasar kolam. Berikut merupakan gambar batimetri dari kolam SBU PT Krakatau Chandra energi seperti ditunjukkan pada gambar 4.2 dibawah ini.

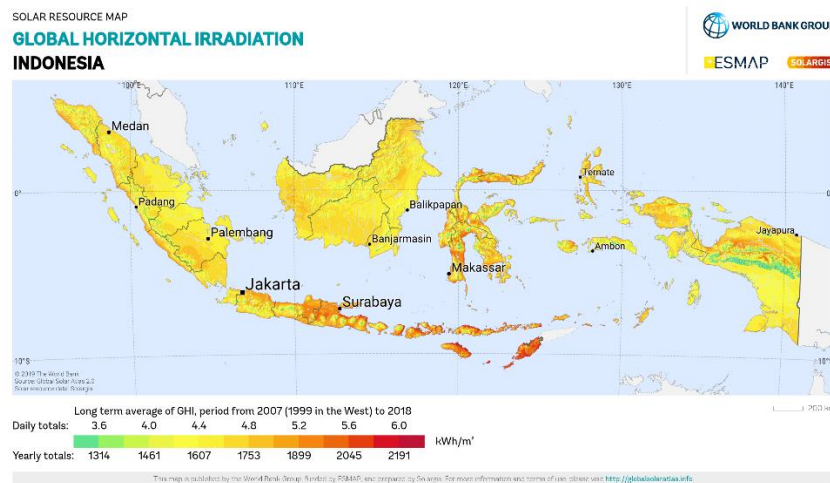


Gambar 4. 2 Batimetri kontur kolam

Terdapat sebuah penelitian yang dapat melakukan pengukuran serta visualilasai terhadap kontur dan juga kedalaman dari sebuah danau hingga sampai ke dasar danau tersebut. Peta yang dihasilkan dari penelitian tersebut menjadi bahan acuan kontur bagi kedalaman sebuah batimetri perairan karena tidak ada ditemukan

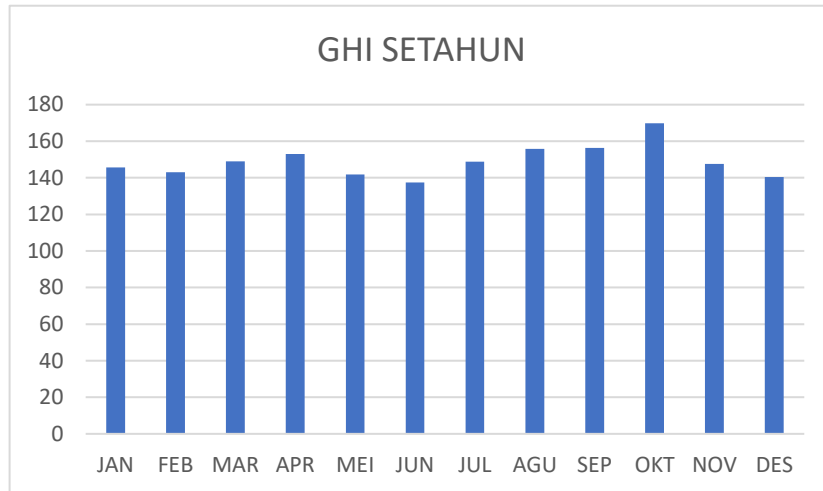


pada panel dengan posisi miring. Indonesia sendiri memiliki rata-rata nilai GHI yang cukup tinggi yaitu sekitar 1899 kWh/m<sup>2</sup>. Dari ujung paling barat sampai timur memiliki nilai GHI yang hampir merata, kecuali pada daerah Bali sampai NTT memiliki nilai GHI yang lebih tinggi. Agar lebih jelas potensi nilai GHI rata-rata Indonesia ditunjukkan pada Gambar 4.4 dibawah.



Gambar 4. 4 Grafik rerata GHI

Berdasarkan pada gambar 4.4 diatas, menunjukkan bahwa indonesia sendiri memiliki potensi yang sangat besar untuk dapat mengoptimalkan pembangkit listrik tenaga surya sebagai energi alternatif. Potensi yang ada pun hampir semua merata mulai dari Aceh sampai Papua. Dengan potensi tersebut PT Krakatau Chandra energi yang terletak di Provinsi Banten tepatnya di Kota Cilegon dengan mantap mengambil langkah untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya terapung. Nilai GHI yang di hitung diperoleh dari perhitungan penyinaran dari penyusun GHI di setiap jam dalam 1 tahun nya. Nilai GHI di lokasi penelitian sendiri dalam satu tahun nya bisa di lihat seperti gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4. 5 Grafik bulanan rerata GTI

Berdasarkan kepada gambar 4.5 diatas lokasi kolam PT Krakatau Chandra Energi di Cilegon menawarkan potensi besar untuk pengembangan energi surya, yang kemudian didukung oleh kondisi geografis yang mendukung dan data radiasi matahari yang menjanjikan. Pada konteks ini, analisis terfokus kepada dua parameter utama yaitu *Global Horizontal Irradiance (GHI)* dan *Global Tilted Irradiance (GTI)* yang merupakan kunci utama dalam menilai efisiensi panel surya monofacial di lokasi ini. GHI sendiri mengukur total radiasi matahari yang diterima pada permukaan horizontal per meter persegi per hari, dan di lokasi kolam PT Krakatau Chandra Energi, data menunjukkan bahwa GHI tahunan berkisar antara 130 hingga 170 kWh/m<sup>2</sup> per bulan. Nilai ini menunjukkan bahwa radiasi matahari di lokasi tersebut cukup stabil sepanjang tahun, dengan puncak terjadi pada bulan September. Kondisi ini sangat menguntungkan bagi penggunaan panel surya monofacial yang dirancang untuk menangkap radiasi matahari dari arah langsung. GHI yang tinggi pada bulan-bulan tertentu, seperti bulan September memberikan peluang maksimal untuk produksi energi, karean panel surya monofacial sangat efisien dalam mengkonversi radiasi langsung menjadi listrik. Dalam konteks kolam PT Krakatau Chandra Energi, GHI yang relatif konstan ini memungkinkan panel surya untuk

beroperasi dengan tingkat output yang stabil, menghasilkan energi yang cukup untuk dapat memenuhi sebagian besar kebutuhan energi di lokasi tersebut.

Di lokasi ini, GTI akan bergantung pada sudut kemiringan panel surya, yang harus di optimalkan untuk dapat memaksimalkan penyerapan radiasi sepanjang tahun. Berdasarkan lintang geografis Cilegon, panel surya sebaiknya dimiringkan sekitar  $6^\circ$  ke arah utara untuk mencapai nilai GTI yang optimal. GTI yang di optimalkan akan meningkatkan efisiensi panel surya monofacial secara signifikan, terutama karena panel ini hanya menangkap sudut kemiringan sesuai dengan lintang dan kondisi radiasi setempat, output energi dari panel surya dapat ditingkatkan hingga 10 – 15% dibandingkan dengan hanya mengandalkan GHI. Di lokasi kolam PT Krakatau Chandra Energi dimana area terbuka dan paparan sinar matahari langsung tanpa hambatan sangat memungkinkan pengoptimalan GTI menjadi kunci untuk memaksimalkan produksi energi. Panel surya monofacial yang hanya menangkap radiasi matahari dari satu sisi sendiri sangat cocok untuk kondisi di kolam PT Krakatau Chandra Energi. Dengan GHI dan GTI yang tinggi, panel surya monofacial dapat diharapkan untuk menghasilkan energi yang optimal. Misalnya, dengan GHI tahunan rata-rata sekitar  $150 \text{ kWh/m}^2$ , panel surya monofacial berukuran 1 meter persegi dengan efisiensi 18% dapat menghasilkan sekitar 27 kWh per bulan atau sekitar 324 kWh per tahun. Jika GTI juga dioptimalkan melalui sudut kemiringan yang tepat, maka output ini bisa lebih tinggi, memberikan potensi tambahan energi sebesar 30-50 kWh per tahun per meter persegi.

#### **4.4. Konfigurasi PLTS Terapung**

Dalam merancang suatu sistem PLTS terapung, terdapat beberapa konfigurasi yang harus dilaksanakan. Mulai dari konfigurasi modul surya, konfigurasi inverter, konfigurasi *combiner box*, konfigurasi floater, dll. Hal tersebut dilakukan agar dapat mengetahui dan menciptakan sistem yang baik dan memiliki



waktu pemakaian yang cukup Panjang. Berikut merupakan penjelasan dari macam-macam konfigurasi yang harus dilakukan dalam merancang sistem PLTS Terapung.

#### **4.3.1. Konfigurasi Panel Surya**

Panel surya yang dipakai dalam perancangan PLTS terapung ini adalah panel surya *monofacial* dengan sel surya *monocrystalline* 144 sel. Jenis tersebut digunakan karena tingkat efisiensi yang tinggi dan mampu lebih banyak menerima panas dengan lebih baik sehingga sangat mungkin digunakan untuk PLTS dengan kebutuhan komersil. Panel surya *monofacial* yang digunakan tentu harus memiliki daya yang tinggi, maka dalam pemilihannya diperlukan perbandingan antara tiga produsen panel tersebut. Kemudian perlu dilakukan perbandingan dari aspek biaya karena panel-panel yang sudah ada perlu dibandingkan untuk dapat melihat harga terendah tanpa menyampingkan tingkat efisiensi dari modul, maka dipilihlah modul dengan tingkat efisiensi yang tinggi setelah dilakukan pengurangan factor rugi daya yang sesuai dengan *lifetime* panel tersebut. Perhitungan rugi daya sendiri dipengaruhi oleh tiga factor yaitu *nameplate*, degradasi dan juga suhu. Panel surya sendiri akan mencapai suhu tertinggi pada pukul 12.00 WIB, sehingga suhu dan kecepatan angin pada jam tersebut digunakan sebagai acuan dalam menghitung. Jika semakin besar ukuran panel maka akan lebih sedikit penggunaan kabel dikarenakan susunan seri dan juga panel dari panel lebih sedikit. Dari segi biaya pun jika semakin luas ukuran panel maka akan memutuhkan lebih sedikit jumlah panel yang akan dipasang, dan akan membuat jumlah komponen pengapung menjadi lebih sedikit, berdasarkan beberapa perbandingan diatas, maka dipilihlah panel surya yang diproduksi oleh jinkosolar dengan tipe Tiger Pro 72HC 530-550 Watt.

Perancangan PLTS Terapung pada kolam PT Krakatau Chandra Energy dengan kapasitas 58 kWp dikarenakan PT KCE membutuhkan penambahan kapasitas energy terbarukan guna mendukung tujuan perusahaan serta dalam rangka

investasi yang dilakukan oleh perusahaan. Dengan telah ditentukan nya kapasitas pembangkit maka dapat dihitung jumlah panel yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan (2.6) dengan daya panel sebesar 470 Wp. Hasil perhitungan panel surya yang didapat disesuaikan dengan kelipatan genap untuk mendapatkan rangkain susunan panel yang simetris. Berikut Tabel 4.1 yang menunjukkan hasil dari jumlah panel surya yang akan digunakan pada rancangan PLTS terapung PT Krakatau Chandra Energi.

Tabel 4. 1 Jumlah panel yaang digunakan

Tipe Panel	Jumlah Panel
<i>Tiger Pro 72HC</i>	125 panel

#### 4.3.2. Konfigurasi *Inverter*

*Inverter* digunakan untuk mengkonversi arus DC menjadi AC dari panel surya. Jenis *inverter* yang digunakan adalah *inverter central*, alasanya karena *inverter central* merupakan *inverter* yang terpusat sehingga jumlah *inverter* yang digunakan akan lebih sedikit dibanding dengan *inverter* jenis lain. *Inverter* yang digunakan adalah *inverter* yang di produksi oleh Huawei dengan tipe SUN2000-50KTL-M3. Pemilihan *inverter* ini berdasar kepada *review* terbaik yang mempertimbangkan efisiensi, kapasitas daya, arus dan juga tegangan maksimum, serta memiliki frekuensi 50 Hz. Spesisifikasi dari *inverter* Huawei *central* dapat dilihat pada Lampiran.

Panel surya pada perancangan PLTS Terapung disusun secara seri dan juga parallel. Dakan penentuan jumlah minimum dan maksimum susunan panel surya dalam sebuah *string* dan jumlah *string* yang tersusun dapat dihitung dengan persamaan (2.10) dan (2.11) dalam menentukan jumlah susunan juga diperhitungkan suhu panel surya. Suhu tertinggi panel surya di kolam PT KCE adalah sebesar

38,26°C dan suhu terendah berada pada nilai 23,18°C. Hasil perhitungan jumlah susunan panel surya juga dipengaruhi oleh spesifikasi elektrikal. Tegangan dan arus masukan DC yang di alirkan dari panel ke *inverter*. Hal ini dilakukan agar setiap panel yang terhubung ke inverter memenuhi spesifikasi *inverter* dan dapat dipasang dengan simetris.

#### 4.3.3. Konfigurasi DC *Combiner Box*

Tegangan dan arus DC yang dihasilkan oleh panel surya sendiri perlu dikumpulkan sebelum masuk ke inverter untuk dikonversi, maka dibutuhkan DC *combiner box* sebagai tempat dikumpulkannya arus dan juga tegangan tersebut. Dalam proses memilih DC *combiner box* perlu diperhatikan jumlah *string* yang dapat masuk, tegangan masuk, arus maksimum yang dapat dihubungkan ke *inverter*. DC *combiner box* sendiri perlu dilengkapi dengan sistem proteksi dan *fuses* untuk dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan akibat tegangan maupun arus yang berlebih. DC *combiner box* sendiri yang digunakan merupakan produksi SMA dengan tipe DC-CMB-U15-24. Berikut merupakan Spesifikasi dari DC *combiner box* yang dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4. 2 spesifikasi DC *combiner box*

Paramter	DC-CMB-U15-24
Arus <i>input</i> maks per <i>string</i> (A)	13,75
Arus <i>input</i> maksimal	330
Tegangan input maksimum (V)	1500
Jumlah <i>String</i>	24
Dimensi (mm)	550 x 650 x 260
Berat (Kg)	28
Harga	427

Dikarenakan masukan DC pada tiap *inverter* berjumlah 1 masukan dan susunan rangkaian panel surya juga sudah dihitung pada subbab sebelumnya, maka

dibutuhkan 2 DC *combiner box* yang mana satu *combiner box* dapat dimasukan maksimal 24 *string* sesuai spesifikasi. Namun, yang digunakan pada rancangan ini adalah 20 *string* dikarenakan batas arus maksimum satu string berdasarkan spesifikasi dan total arus maksimum pada tiap DC *combiner box* sebesar 13,75 dan 330 A. dengan begitu, arus maksimum yang mampu diterima oleh satu DC *combiner box* tidak melebihi Batasan maksimum DC *combiner box*.

#### 4.3.4. Konfigurasi Kabel

Kabel yang digunakan pada proses perancangan ini merupakan kabel DC yang perlu diperhatikan faktor rugi daya dan juga mempertimbangkan atas lokasi dari pemasangan. Supaya faktor dari rugi daya yang dihasilkan dapat ditekan seminimal mungkin, maka ukuran dari kabel yang digunakan pun ditetapkan dan juga disesuaikan dengan tegangan dan total dari arus yang keluar dari panel menuju ke *inverter*. Kabel yang akan digunakan untuk mentransmisikan arus dan juga tegangan yang terhubung dari panel terhadap DC *combiner box* harus sudah ditentukan dengan besaran dari arus dan juga tegangan maksimal sebelum terhubung secara *string* pada setiap masukan. Kabel yang menghubungkan DC *combiner box* kepada *inverter* menggunakan tegangan maksimal serta arus total yang dihubungkan parallel di setiap inputan nya. Pada kabel dengan output AC sendiri ditentukan bedasar terhadap tegangan serta arus dari output pada AC *inverter*. Agar dapat lebih jelas untuk melihat perhitungan kabel bisa dilihat pada tabel 4.3 dan 4.4 dibawah ini.

Tabel 4. 3 Jumlah konfigurasi kabel DC

Lokasi Kabel	Material Kabel	Panjang Kabel (m)	Luas Penampang	Voltage Drop (V)	Power Loss (%)	Tipe Kabel
--------------	----------------	-------------------	----------------	------------------	----------------	------------

			Kabel (mm <sup>2</sup> )			
<i>To Combiner Box</i>	Tembaga	50	5	5,15	0,43	Solar
<i>To Inverter</i>	Tembaga	30	65	5,2	0,41	NY Y

Tabel 4. 4 Jumlah konfigurasi kabel AC

Lokasi Kabel	Material Kabel	Panjang Kabel (m)	Luas Penampang Kabel (mm <sup>2</sup> )	Voltage Drop (V)	Power Loss (%)	Tipe Kabel
AC	Tembaga	150	5x500	3	0,2	NY Y

Untuk dapat menghitung ukuran dari kabel yang tertera pada tabel diatas, dapat dihitung jumlah dari nominal Panjang kabel yang akan kemudian digunakan dalam proses perancangan PLTS Terapung nya itu sendiri. Untuk jumlah dari total Panjang kabel DC adalah sepanjang 580.800 m sedangkan untuk kabel AC sepanjang 24.000 m. Jumlah tersebut sudah termasuk hasil pertimbangan dari banyaknya kabel pada setiap komponen baik dari kabel DC yang memiliki polaritas positif dan juga negative serta juga kabel AC yang terdapat 4 kabel R,S,T dan juga N.

#### 4.3.4. Konfigurasi *Floater*

Pada saat merancang PLTS Terapung tentu dibutuhkan komponen pengapung atau biasa disebut *floater*. Komponen tersebut difungsikan sebagai alat pengapung komponen kelistrikan dari sistem PLTS Terapug yang dimana *floater*

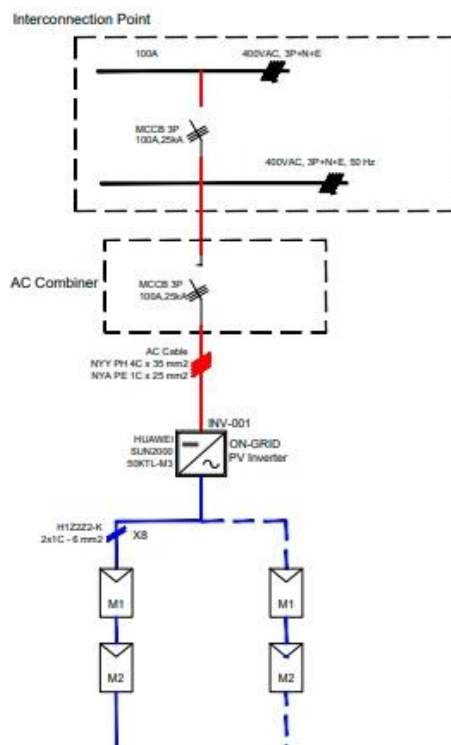
sendiri harus memiliki *mounting*. Floater dan *mounting* yang digunakan merupakan pabrikan dari fost yang dibuat menggunakan material HDPE (High Density Poly-Ethylene). *Floater* dan *mounting* yang digunakan pun berbahan plastic yang dapat dengan mudah mengapung dan tidak cepat lapuk karena air dan juga mampu menahan berat dari komponen kelistrikan. *Mounting* sendiri berfungsi sebagai penyangga panel supaya tetap kokoh ketika dipasang. Selain *mounting* dan juga *floater* terdapat komponen lain yang digunakan sebagai tempat peletakan *inverter* yaitu *inverter-booster* platform dan sistem *mooring* serta *anchoring*. Komponen-komponen pengampung tersebut dapat dipasang pada kedalaman maksimal 150 m. Komponen pengampung tersebut juga sangat stabil dan juga aman bahkan saat dicuaca buruk dengan kecepatan angin sebesar 30 m/s. Sistem *mooring* yang digunakan pada rancangan ini menggunakan tali tambat dengan menggunakan konfigurasi *catanery* dan juga menggunakan *anchoring* yang bertipe *deadweight* anchor. Pada penelitian ini tidak membahas penentuan jumlah, ukuran dan juga ketahanan sistem *mooring* dan juga *anchoring* karena memerlukan analisa sipil yang khusus dan juga membutuhkan penelitian lebih lanjut dan mendetail.

#### **4.3.5. *Single Line Diagram* (SLD) PLTS Terapung**

*Single line diagram* merupakan gambaran umum dari hasil konfigurasi komponen yang dijelaskan. SLD sendiri merupakan gambaran notasi elektrikal rancangan PLTS terapung dari panel surya sampai ke jaringan listrik. Pada SLD yang Digambar menyesuaikan dengan jumlah masing-masing komponen yang sudah diketahui. Pada perancangan PLTS terapung ini, panel disusun secara seri yang diparalelkan menggunakan AC *combiner box*. Kemudian daya yang dihasilkan oleh panel dihubungkan secara parallel terhadap inverter yang *on-grid* dengan jaringan. Setelah melalui inverter daya diteruskan menuju AC *combiner* dan di interkoneksi dengan jaringan. Pada perancangan ini, dilengkapi pengamanan

berupa AC dan DC *disconnect* atau biasa disebut juga dengan ACDC surge *protection device*. ACDC surge protection device ini merupakan pelindung sistem dari terjadinya lonjakan tegangan yang disebabkan oleh petir maupun rangkaian itu sendiri. SLD ini dibuat oleh tim renewable energy PT Krakatau Chandra Energy yang diperuntukan sebagai bahan dasar acuan bagi seluruh pekerja yang akan terlibat dalam proyek pembangunan PLTS Terapung ini. Gambar untuk SLD pada perancangan ini ada pada gambar 4.4 dibawah ini.

Proses sinkronisasi antara *floating photovoltaic system on grid* terhadap jaringan langsung dilakukan dengan sistem otomatis. Menggunakan inverter yang memiliki sistem PLL atau *phase locked loop*. *Phase locked loop* sendiri merupakan teknologi yang penting didalam proses sinkronisasi sistem tenaga listrik surya ke jaringan listrik. Pada *project* ini, PLL sendiri digunakan untuk menghubungkan antara sumber energi terbarukan yakni PLTS Terapung ke jaringan listrik SBU PT Krakatau Chandra Energi. Proses sinkronisasi sistem PLTS intermiten on grid ini sendiri memerlukan PLL untuk dapat menghasilkan sinyal output yang sesuai dan sinkron dengan sinyal masukan dari jaringan listrik di SBU PT Krakatau Chandra Energi. PLL sendiri membantu memastikan bahwa sinyal keluaran dari PLTS Terapung sendiri sesuai dan seimbang dengan sinyal masukan dari jaringan listrik seperti fase, frekuensi, dan juga amplitudo.



#### 4.4. Layout PLTS Terapung

Perancangan PLTS Terapung di kolam PT Krakatau Chandra Energi dirancang pada perairan yang tidak terlalu dalam. Susunan dan konfigurasi PLTS terapung dapat dilihat pada Gambar 4.4 pada proses pemasangan panel surya, ukuran dari panel surya harus sesuai dengan spesifikasi panel. Pemilihan lokasi pemasangan PLTS terapung ini merupakan hasil pertimbangan manajemen untuk memanfaatkan potensi lahan yang ada pada perusahaan. Adapun *layout* panel yang dirancang terdapat pada Gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4. 7 Layout tampak atas

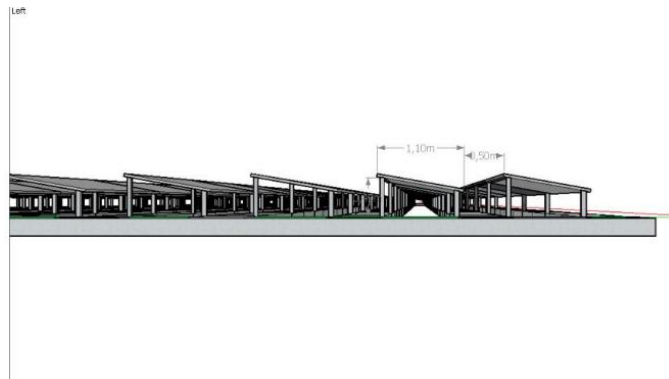


Berdasarkan Gambar 4.5 di atas dapat dilihat bahwa *layout* dari PLTS terapung dapat dilihat melalui tampak atas dan tampak samping. Dengan mengintegrasikan data topografi, pola sinar matahari harian, serta variabilitas cuaca lokal, analisis menyeluruh terhadap layout PLTS Terapung ini menghasilkan pemahaman mendalam tentang dinamika energi di lokasi pemasangan. Hasil penelitian menegaskan bahwa desain layout yang dipilih secara cermat mampu mengoptimalkan efisiensi penggunaan lahan dan penempatan panel surya, memungkinkan penyerapan maksimal energi matahari yang tersedia. Lebih dari sekadar pengaturan panel surya, layout ini dirancang untuk beradaptasi dengan perubahan cuaca dan meminimalkan efek bayangan, sehingga menghasilkan kinerja energi yang konsisten dan andal dalam jangka panjang. Dengan demikian, PLTS Terapung bukan hanya menjadi solusi energi terbarukan, tetapi juga menjadi inovasi berkelanjutan yang mempertimbangkan secara holistik faktor-faktor alamiah yang memengaruhi produktivitasnya, mendorong menuju masa depan yang lebih hijau dan efisien dalam pemenuhan kebutuhan energi."Berikut merupakan hasil dari sistem PLTS terapung tersebut ketika sudah selesai seperti pada Gambar 4.6 di bawah ini.

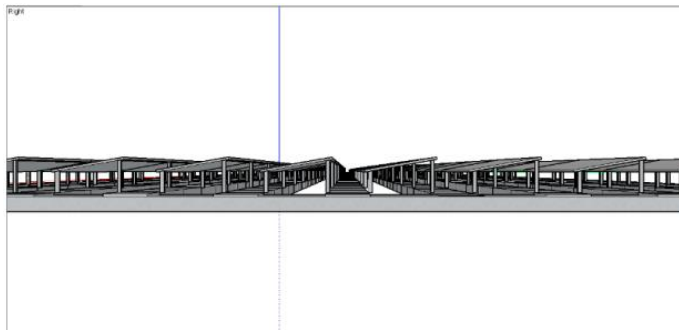


Gambar 4. 8 hasil setelah comisioning

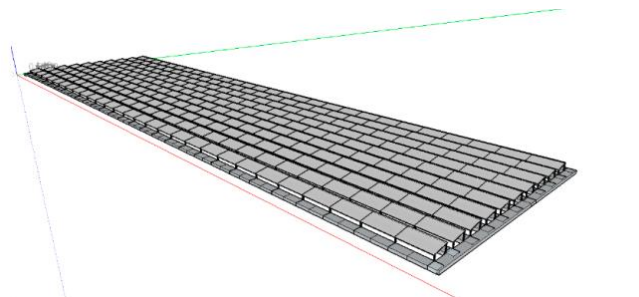
Berdasarkan hasil yang sudah terpasang seperti pada gambar di atas, sistem PLTS Terapung milik PT Krakatau Chandra Energi menunjukkan pemanfaatan sebagian area kolam yang terintegrasi dengan perhitungan matang. Tidak seluruh permukaan kolam digunakan untuk pemasangan panel surya, tetapi disesuaikan dengan kebutuhan sistem energi yang dihasilkan dan mempertimbangkan aspek-aspek penting lainnya. Salah satu pertimbangan utama adalah potensi shading atau bayangan yang dapat dihasilkan oleh hambatan (obstacle) di sekitar kolam, seperti pepohonan atau struktur bangunan yang dapat mengurangi efektivitas penyerapan radiasi matahari oleh panel surya. Dengan demikian, area yang dipilih untuk instalasi memastikan bahwa panel surya mendapatkan paparan sinar matahari yang optimal sepanjang hari, meminimalkan bayangan yang dapat mengurangi output energi. Pertimbangan lain yang mungkin adalah distribusi berat dan keseimbangan struktur terapung untuk memastikan stabilitas sistem serta aksesibilitas untuk pemeliharaan rutin. Pemanfaatan sebagian kolam ini juga mencerminkan pendekatan yang adaptif dan efisien dalam memanfaatkan sumber daya yang ada tanpa harus mengorbankan kebutuhan lain yang mungkin berkaitan dengan fungsi kolam. Pendekatan ini mencerminkan upaya PT Krakatau Chandra Energi untuk mengintegrasikan teknologi energi terbarukan secara harmonis dengan lingkungan sekitar, sekaligus memastikan sistem yang terpasang dapat beroperasi dengan efisiensi maksimal dan umur pakai yang panjang. Berikut merupakan gambar layout dari berbagai sisi seperti tampak depan, tampak samping, dan tampak atas.



Gambar 4. 9 Tampak samping kanan



Gambar 4. 10 Tampak samping kiri



Gambar 4. 11 Tampak depan

Gambar-gambar diatas merupakan penggambaran menggunakan software dari sisi kanan dan juga sisi kiri pada panel surya yang akan diaplikasikan pada sistem floating photovoltaic pada kolam SBU PT Krakatau Chandra Energi itu sendiri. Jarak antara panel yang dipasang adalah sebesar 0,5 m, jarak tersebut digunakan karena agar dapat mempermudah operator ataupun teknisi bekerja saat melakukan perawatan dan juga pengecekan. Sedangkan jarak 1 m yang ada pada sisi kanan dan juga kiri dari panel ditetapkan sebagai lokasi untuk meletakkan komponen lainya seperti DC *combiner box*.

#### **4.5. Analisis Performa PLTS Terapung**

Analisa terkait performa sendiri dilakukan setelah diperoleh konfigurasi dan juga *layout* dari rancangan sistem. Pada analisis ini daya yang dihasilkan PLTS Terapung dihitung beserta dengan kuantitas faktor rugi daya yang sudah diperoleh pada pembahasan sebelumnya. Kuantitas dari faktor rugi daya juga ditentukan dan juga disesuaikan dengan spesifikasi dari komponen, data cuaca dan juga berdasarkan referensi terkait. Penentuan kuantitas semua faktor rugi daya dapat diasumsikan konstan kecuali suhu dan juga degradasi. Faktor rugi daya akibat temperatur juga dihitung rata-rata jam dengan rentang waktu satu tahun sesuai dengan suhu di lingkungan dan juga kecepatan angin. Performa dari sistem PLTS terapung PT Krakatau Chandra Energi ini juga tidak lepas dari masing-masing komponen yang dipilih oleh perusahaan sebagai standar baku yang digunakan dalam pembangunan PLTS Terapung ini. Sebagai sebuah perusahaan yang bergerak di bidang energi tentu proyek ini bukan hanya semata untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di perusahaan akan tetapi juga sebagai contoh bagi perusahaan lain yang ingin menggunakan jasa PT KCE untuk membangun suatu sistem PLTS terapung. Sebagai sebuah perusahaan yang bergerak di bidang energi, proyek PLTS Terapung ini bukan hanya ditujukan untuk memenuhi kebutuhan listrik internal perusahaan, tetapi juga

berfungsi sebagai proyek percontohan yang strategis. PT Krakatau Chandra Energi (PT KCE) melalui proyek ini menampilkan kemampuan teknis dan keahlian mereka dalam merancang serta mengimplementasikan sistem energi terbarukan yang efisien dan ramah lingkungan.

Proyek ini juga berpotensi menjadi model yang dapat diadopsi oleh perusahaan lain yang tertarik

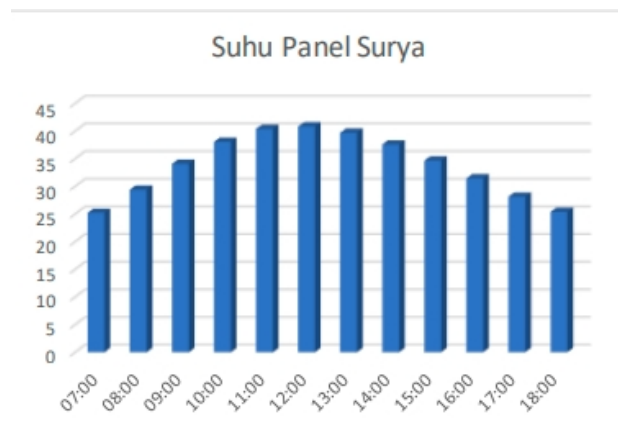
Jenis	Kuantitas	Efisiensi
<i>Soiling</i>	3%	97%
<i>Shading</i>	0%	100%
<i>Mismatch</i>	2%	98%
<i>Wiring DC</i>	1,29%	98,71%
<i>Wiring AC</i>	0,5%	99,5%
<i>Nameplate</i>	0%	100%
<i>Availability</i>	3%	97%
<i>inverter</i>	1%	99%
<i>ηFRD</i>		89,7%

mengembangkan sumber energi terbarukan, terutama di lokasi dengan keterbatasan lahan. Dengan keberhasilan proyek ini, PT KCE dapat memperkuat posisi mereka sebagai pemimpin dalam industri energi terbarukan, sekaligus membuka peluang untuk menawarkan jasa konsultasi dan instalasi PLTS Terapung kepada klien eksternal.

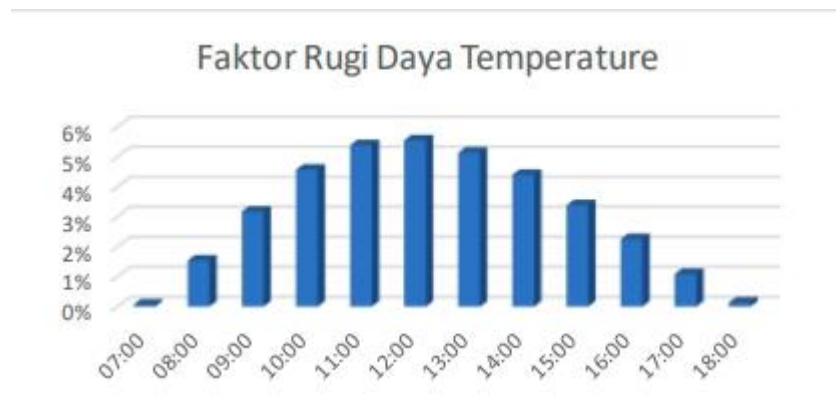
Proyek ini, dengan desain yang disesuaikan dan implementasi yang efektif, memberikan bukti nyata bahwa sistem PLTS Terapung dapat diadaptasi untuk memenuhi kebutuhan spesifik berbagai jenis lingkungan, sekaligus memberikan kontribusi signifikan terhadap pengurangan emisi karbon dan keberlanjutan energi. Dengan demikian, proyek ini tidak hanya memperkuat operasional PT KCE tetapi juga berkontribusi pada upaya nasional dan global dalam mempromosikan penggunaan energi terbarukan. Berikut merupakan hasil dari kuantitas faktor rugi daya seperti pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4. 5 Kualitas faktor rugi daya

Berdasarkan kepada tabel 4.5 diatas bahwa hasil pengukuran dari kualitas faktor rugi daya menunjukkan hasil yang sangat baik. Dengan kuantitas soiling sebesar 3% dan memiliki efisiensi 97%, shading 0% dan efisiensi nya 100% sudah sangat menunjukkan bahwa sistem PLTS Terapung pada kolam PT Krakatau Chandra Energi ini sangat layak digunakan. Suhu panel surya saat beroperasi dipengaruhi oleh iradiasi matahari. Suhu panel surya dapat dihitung dengan persamaan (2.1) dan hasil perhitungan suhu dapat kita lihat pada Gambar 4.7 di bawah ini.

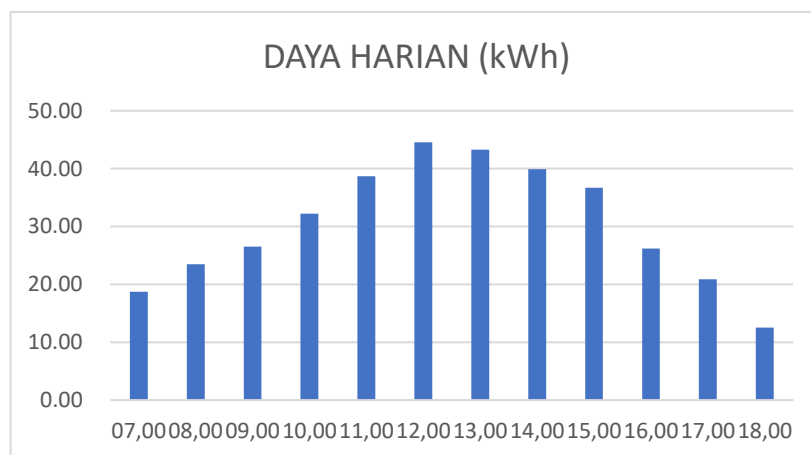


Gambar 4. 12 Suhu panel surya



Gambar 4. 13 faktor rugi daya suhu

Dari hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.7 di atas bahwa suhu tertinggi berada pada saat jam 12.00 WIB dimana memiliki suhu sebesar 40,82°C. Karena tingginya suhu tersebut dapat berpengaruh terhadap tingginya faktor rugi daya yang terjadi. Pada saat jam 12.00 WIB faktor rugi daya akibat suhu mencapai angka 5,5%. Suhu dari panel surya maka akan semakin rendah faktor rugi daya yang dihasilkan nya, maka semakin tinggi daya yang dihasilkan oleh panel surya. Daya yang dapat dihasilkan oleh sistem ini tergambar pada Gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4. 14 daya harian yang dihasilkan

Berdasarkan kepada grafik hasil perhitungan daya, dapat kita ketahui bahwa daya tertinggi dihasilkan oleh panel surya yang terdapat pada pukul 12.00. Hal ini

dipengaruhi langsung oleh GTI, dikarenakan GTI pada pukul 12.00 merupakan GTI dengan nilai tertinggi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.9, setelah menghitung daya yang dihasilkan, maka selanjutnya dilakukan perhitungan energi yang dapat dihasilkan sistem pada setiap bulanya. Hasil dari perhitungan energi dapat dilihat pada Gambar 4.10, bahwa energi yang dihasilkan tiap bulan sejalan dengan besarnya daya pada Gambar 4.9. Panel surya yang digunakan pada perancangan kali ini memiliki lifetime selama 25 tahun.

Analisa performa yang telah dihitung, kinerja dari sistem PLTS terapung dihitung untuk mengetahui sebuah sistem, layak secara teknis. Sebuah sistem pembangkit dinyatakan layak secara teknis jika memenuhi kondisi seperti efisiensi factor rugi daya diatas 13%, *capacity factor* berada dalam rentang 8-26%, dan *performance ratio* berada dalam rentang nilai 70-90%. Setelah sistem dinyatakan layak, maka akan dilanjutkan dengan analisis ekonomi sehingga dapat mengetahui biaya investasi dalam perancangan PLTS terapung pada kolam PT Krakatau Chandra Energi.

#### **4.6. Analisis Perencanaan dan Aspek Ekonomi**

Analisis perencanaan ini pun pada PLTS terapung harus sangat mempertimbangkan beberapa resiko seperti teknologi, konstruksi, pengoperasian dan juga pemeliharaan serta rekam jejak pada semua kontraktor dan juga produsen masing-masing komponen. Pada fase awal atau tahap pengembangan, pemilik dalam hal ini PT KCE harus melakukan analisa terhadap biaya dan juga manfaat serta keuangan dan harus memastikan proyek tersebut memenuhi kriteria minimum investasi yang telah ditentukan. Selama tahap pengembangan konsep dan juga identifikasi lokasi, analisa yang dikerjakan harus cukup untuk mempertimbangkan apakah proyek tersebut layak untuk dilaksanakan.

Analisa terkait ekonomi yang dikerjakan adalah merupakan analisis ekonomi selama lifetime 25 tahun sistem. Biaya investasi total atau CAPEX yang



dihitung pada perancangan ini terdiri dari biaya komponen, biaya *balance of system*, biaya instalasi dan konstruksi, biaya pergantian komponen, dll. Beberapa biaya yang digunakan ditetapkan berdasarkan referensi dan juga *benchmark* yang ditentukan dan juga disesuaikan dengan kapasitas pembangkit yang akan dirancang. Hasil perhitungan keseluruhan besar biaya investasi total ditunjukkan pada Tabel 4.3 di bawah.

Tabel 4. 6 Total biaya investasi

Dalam memperhitungkan biaya investasi total tidak termasuk biaya transportasi yang dikarenakan perlunya data mengenai transportasi barang berskala besar. Biaya operasional dan pemeliharaan atau opex dihitung berdasarkan studi pustaka sehingga besar biaya yang digunakan ini diasumsikan 1% dari total investasi awal yang mencakup biaya pembersihan panel, perawatan dan juga pemeriksaan dari sistem. Selain biaya OPEX terdapat juga biaya *decomissioning* sebesar 1% dari investasi total. Nilai rerata suku bunga bank kredit umum berdasarkan data yang didapat dari Badan Pusat Statitiska (BPS pada Januari – Oktober 2023 sebesar 8,65.

<b>Komponen</b>	<b>Harga</b>
Material	656,646,988
Alat dan jasa	112,048,000
Total	768,694,988

Berdasarkan tabel diatas, diketahui biaya investasi total adalah sebesar Rp. 768,694,988 juta untuk PLTS Terapung. Biaya investasi PLTS Terapung ini bisa dikatakan sangatlah sebanding dengan energi yang dihasilkan, karena biaya yang dibutuhkan untuk PLTS di darat hamper mencapai 3x lipat biaya PLTS Terapung.

#### 4.7. Perbandingan Penelitian

Pada perancangan PLTS Terapung yang lain seperti yang tertera pada subbab 2.1 terdapat beberapa perbedaan pada proses penelitian yang dilakukan. Maka dilakukan lah perbandingan dengan penelitian yang saya lakukan. Terdapat beberapa aspek yang diperbandingkan seperti lahan yang digunakan, lokasi, kapasitas, performa, dll. Berikut merupakan hasl perbandingan yang dilakukan seperti pada tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4. 7 Perbandingan penelitian

Parameter	Zidan (2023)	Rizki (2021)	Chico Hermanu dkk (2019)	Marco Rosa – Clot dkk (2017)
Lahan yang digunakan	Kolam PT Krakatau Chandra Energi	Danau Alami (Maninjau)	Waduk (Widas)	Waduk (Bolivar)
Lokasi	Cilegon, Banten	Sumatera Barat	Jawa tengah	Australia
Kapasitas daya terpasang	58 Kwp	50 MWp	1MWp	42,4 MWp
<i>Lifetime</i>	25 Tahun	25 Tahun	20 Tahun	N/A

Daya Panel	470 Wp	540 Wp	300 Wp	880 kWp
Jumlah Panel	144	92.600	3.569	54
Tilt	8	10	12	25
Analisis efek pendingin natural	Tidak	Tidak	Ya	Ya
String panel	124	220	45	N/A
Efisiensi inverter	99%	99%	N/A	N/A
Biaya Investasi	768 juta	518 Milyar	28,9 Milyar	1,6 Triliyun

Dalam rangka memahami potensi dan kinerja PLTS Terapung secara lebih komprehensif, dilakukan perbandingan mendalam dengan sistem energi terbarukan lainnya, termasuk PLTS darat dan atap. Hasil analisis menunjukkan bahwa dibandingkan dengan alternatif konvensional, PLTS Terapung menonjol dalam beberapa aspek kunci. Selain memberikan efisiensi penggunaan lahan yang lebih baik dengan memanfaatkan permukaan air yang luas, PLTS Terapung juga menawarkan keunggulan dalam produktivitas energi, terutama dalam kondisi cuaca yang bervariasi. Selain itu, dengan mengurangi tekanan terhadap lahan daratan yang terbatas, PLTS Terapung dapat menjadi pilihan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Namun demikian, penilaian yang komprehensif perlu mempertimbangkan faktor-faktor seperti biaya, keberlanjutan operasional, dan dampak lingkungan secara keseluruhan untuk memastikan bahwa implementasi PLTS Terapung memberikan solusi energi yang optimal dalam konteks spesifik lokasi pemasangan.