

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Penelitian terhadap perencanaan *floating photovoltaic system* 58 kWp sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sudah cukup banyak yang melakukan penelitian serupa. Landasan penelitian yang sebelumnya termasuk jenis penelitian dan teori yang digunakan menjadikan acuan untuk dilakukannya dalam pengerjaan dan penyelesaian *final project* ini. Berikut merupakan adalah referensi yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian yang akan dilakukan, yaitu sebagai berikut:

Hasil penelitian yang berkaitan mengenai simulasi PLTS terapung untuk perencanaan kebutuhan daya membuktikan bahwa cuaca mempengaruhi PLTS sehingga menyebabkan terjadinya penurunan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Metode penelitian ini menggunakan data aktualnya dan menggunakan *software* PLX-DAQ untuk menampilkan grafik dan membaca pengukuran secara *real time*. Kelemahan penelitian ini yaitu tidak menggunakan perhitungan manual dan tidak membahas bagaimana solusi untuk mengatasi hal tersebut [3].

Hasil penelitian yang berkaitan mengenai model adaptasi penggunaan teknologi baru Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terapung di Indonesia membuktikan bahwa PLTS terapung merupakan sebuah alternatif bagi negara yang ingin menerapkan *renewable energy*. Temperatur yang tinggi dapat mengakibatkan penurunan efisiensi dan umur dari sel surya, didapatkan hasil nilai kenaikan efisiensi sebesar 4,53% dengan temperatur 45,71°C sedangkan pada PV terapung yang dilengkapi dengan pendingin *thermosiphon* mengalami kenaikan efisiensi sebesar 7,09% dengan temperatur 42,10°C. Metode penelitian ini hanya menggunakan satu data aktual saja untuk setiap jenis PV. Kelemahan penelitian ini yaitu tidak membandingkan antara data yang didapatkan untuk setiap jenis PV nya [4].

Hasil penelitian yang berkaitan mengenai pengaruh bayangan pada *output* daya panel surya membuktikan bahwa terjadi penurunan tegangan yang signifikan pada saat bayangan berada diterapkan pada 60%, PV masih dapat mengeluarkan arus meskipun relatif kecil. Metode penelitian ini menggunakan beberapa data aktual untuk setiap percobaannya. Kelemahan penelitian ini yaitu tidak memberikan solusi untuk mengurangi terjadinya bayangan pada PV [5].

Hasil penelitian yang berkaitan mengenai radiasi matahari terhadap panel surya membuktikan bahwa semakin cerah matahari dan selama tidak tertutup awan nilai intensitas matahari semakin besar nilai intensitasnya. Perubahan nilai semakin kecil terjadi jam 16.00 WIB yaitu intensitasnya 1026 W/m dan untuk tegangannya 18,71 V dan arus 1,82 A. Hal tersebut dikarenakan pada waktu tersebut rata-rata cuaca sangat cerah, dan matahari tidak tertutup awan. Metode penelitian ini menggunakan beberapa data aktual untuk setiap percobaannya [6].

Hasil penelitian yang berkaitan mengenai rancangan dasar pembangkit listrik tenaga surya terapung membuktikan bahwa hasil rancangan PLTS terapung di Danau Maninjau memiliki kapasitas sebesar 50MWp dengan luas 669.027, menggunakan 92.600 panel surya *monofacial*, 15 *inverter*, dan 216.989 *floater*. Energi yang dihasilkan rata rata pertahun sebesar 67,97 GWh. Kelayakan teknis dari sistem dari efisiensi sebesar 17,2%, *performance ratio* sebesar 84%, dan *capacity factor* sebesar 16%. Metode penelitian ini menggunakan beberapa data aktual untuk setiap percobaannya. Kelemahan penelitian ini yaitu diasumsikan nilai efisiensi *inverter* konstan [3].

2.2. Energi Surya

Kebutuhan energi global telah meningkat secara signifikan belakangan ini, terutama dengan kemunculan negara-negara industri besar. Data menunjukkan bahwa konsumsi energi terus bertambah sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan

populasi. Keterbatasan sumber energi fosil mendorong perlunya pengembangan energi terbarukan dan upaya penghematan energi[3].

Energi terbarukan mengacu pada energi non-fosil yang bersumber dari alam dan dapat diperbarui. Jika dikelola dengan tepat, sumber daya ini dapat berkelanjutan. Di Indonesia, pemanfaatan energi terbarukan dapat dibagi menjadi tiga kategori, dengan kategori pertama mencakup energi yang telah dikembangkan secara komersial, seperti biomassa, panas bumi, dan tenaga air[3].

Potensi energi surya di seluruh wilayah daratan Indonesia, yang memiliki luas 2 juta km², diperkirakan mencapai 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp terdistribusi. Saat ini, Indonesia baru memanfaatkan sekitar 10 MWp, sehingga masih terbuka peluang besar untuk membangun lebih banyak Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di berbagai wilayah Indonesia guna meningkatkan produksi listrik[3].

2.3. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

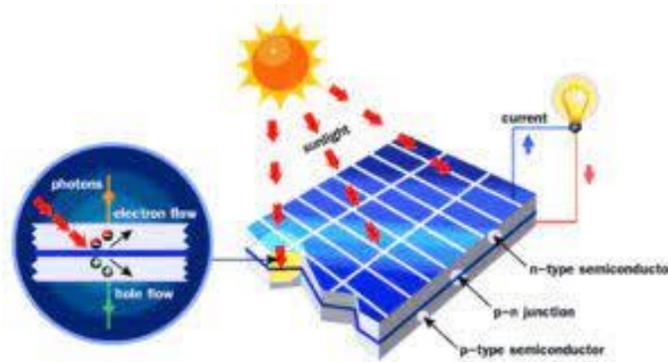
Sel surya terdiri dari sambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (p-n junction semiconductor) yang jika terkena sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron sehingga kelebihan muatan negatif (n= negatif), sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole sehingga kelebihan muatan positif (p= positif). Sejumlah modul umumnya terdiri dari 36 sel surya atau 33 sel dan 72 sel. Modul-modul ini kemudian dirangkai menjadi panel surya dan jika panel surya ini dihubungkan secara baris dan kolom disebut dengan array. Pengoperasian maksimum panel surya sangat bergantung pada temperatur, insolation, kecepatan angin, keadaan atmosfer dan peletakan panel surya[7].

Energi Baru Terbarukan yang sangat melimpah di Indonesia sendiri salah satunya adalah energy surya. Pemanfaatan energy surya sendiri dilakukan dengan cara mengubah radiasi matahari yang dipancarkan menjadi energi listrik menggunakan modul panel surya yang kemudian disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)[8]. PLTS sendiri juga sering disebut dengan *solar energy* atau *Solar photovoltaic* yang adalah salah satu energy terbarukan yang ramah lingkungan karena dalam mengkonversi energinya tidak ada limbah yang dihasilkan yang kemudian berdampak mencemari lingkungan.

Mengingat Indonesia sendiri terletak pada garis khatulistiwa yang menyebabkan energi yang bersumber dari panas matahari memiliki potensi yang sangat besar untuk bisa dikembangkan lebih banyak lagi sebagai salah satu dari beberapa energy alternative yang sangat potensial untuk kemudian dimanfaatkan menggunakan pembangkit listrik tenaga surya[8]. PLTS dalam pemasangannya dapat dilakukan dengan memanfaatkan berbagai macam tempat yang terkena banyak paparan sinar matahari, salah satunya adalah dengan metode *floating*. PLTS memiliki sistem komponen utama agar dapat mendukung dalam pengoperasiannya Antara lain, modul surya, *inverter*, *Solar Charge Controller (SCC)*, dan *battery*. Ketika sedang beroperasi agar dapat menghasilkan performa yang maksimal terdapat beberapa factor yang harus diperhatikan faktor pendukungnya, yaitu faktor cuaca, faktor lingkungan, faktor temperatur PV modul, dan juga faktor intensitas cahaya matahari[9].

Dalam proses menghasilkan energi listrik, panel surya bekerja dengan menggunakan prinsip *PN Junction*. Cahaya matahari terdiri dari foton-foton yang terkandung berbagai jenis muatan energi yang bergantung pada perbedaan dari panjang gelombang cahayanya. *Foton* yang mengenai permukaan sel surya dan juga radiasi matahari terserap oleh diode *PN Junction* yang kemudian dapat menghasilkan *Electron Hole Pair (EHP)*. Dengan demikian, maka pembangkitan tegangan (*efek*

photovoltaic) dapat terbentuk yang diakibatkan oleh perbedaan potensial yang terjadi sepanjang *PN Junction* selama cahaya dari matahari menyinari panel surya yang mengakibatkan terdapat kenaikan muatan positif yang terjadi pada sisi P dan juga kenaikan muatan negative pada sisi N[9].



Gambar 2.1 Efek Photovoltaic

2.3.1. Parameter Yang Mempengaruhi Produksi Energi PLTS

Keberhasilan dari produksi energi listrik yang diperoleh dari PLTS tidak terlepas dari beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja dari pembangkitan dan hasil dari produksinya. Agar dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal dari panel surya, perlu diperhatikan beberapa faktor pendukung sebagai berikut.

1. Iradiasi

Iradiasi merupakan besar intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya. Semakin tinggi iradiasi yang diterima maka arus yang dihasilkan akan semakin meningkat, sebaliknya jika iradiasi menurun maka arus yang dihasilkan juga menurun.

2. Luas area modul

Besarnya arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya dipengaruhi oleh luas dari area modul panel surya. Secara teori, luas dari permukaan solar panel akan berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan dan jumlah dari solar panel yang dirangkai seri didalam modul berbanding lurus dengan tegangan yang dihasilkan.

Oleh karena itu, jika solar panel dirangkai dengan jumlah yang relative sama tetapi dengan ukuran sel yang berbeda, memiliki asumsi bahwasanya iradiasi matahari yang diterima tetap sama dan tegangan yang dihasilkan pun sama tetapi arus yang dihasilkan berbeda.

3. Jenis silicon yang digunakan

Untuk dapat mengetahui perbedaan efisiensi dari jenis-jenis panel surya yang berdasar kepada silikonya dapat diketahui dengan cara membandingkan luas permukaan panel surya yang memiliki besar relative sama maka panel surya yang memiliki efisiensi paling tinggi adalah jenis *monocrystalline silicon*.

4. Temperatur panel surya

Temperatur yang terdapat pada panel surya sangat berpengaruh terhadap optimalisasi kinerja dari panel surya dalam memproduksi energi Listrik. Hal ini dapat terjadi karena ketika temperatur pada modul surya meningkat, arus yang dihasilkan tidak akan terjadi perubahan, akan tetapi tegangan yang dihasilkan akan terjadi penurunan yang menyebabkan performa panel surya akan mengalami penurunan.

5. *Shading* (bayangan)

Energi yang di produksi dari panel surya dipengaruhi oleh bayangan yang menutupi permukaan panel. Bayangan terjadi akibat adanya bayangan dari asap, daun yang jatuh, pepohonan atau panel surya yang ada di sekitarnya yang menutupi satu sama lain. Panel surya yang terkena bayangan akan menjadi beban pasif dan berhenti untuk menghasilkan listrik, sehingga sel tersebut akan memblokir arus yang dihasilkan oleh panel yang lain yang dihubungkan secara seri dan berpengaruh terhadap produksi dan juga dapat berakibat merusak modul yang diakibatkan dari kalor yang berlebihan.

6. Kecepatan angin

Salah satu hal yang dapat mempengaruhi kinerja dari modul surya adalah kecepatan angin yang ada disekitar lokasi panel surya dipasang. Hal tersebut akan

menjadi sumber pendingin alami yang dapat menurunkan temperatur yang terdapat pada panel yang menyebabkan tegangan yang dihasilkan menjadi lebih besar dan kemudian akan mempengaruhi produksi dari energinya[10].

2.3.2. Menghitung Potensi Energi Yang Dibangkitkan PLTS

Dalam menentukan potensi energi yang dihasilkan digunakan sebagai bahan acuan untuk dapat mengetahui seberapa besar peluang yang diperoleh jika menggunakan PLTS. Untuk dapat mengetahui seberapa besar energi yang dapat di produksi oleh PLTS dapat menggunakan persamaan 2.2 di bawah.

$$P = S \times F \times \eta$$

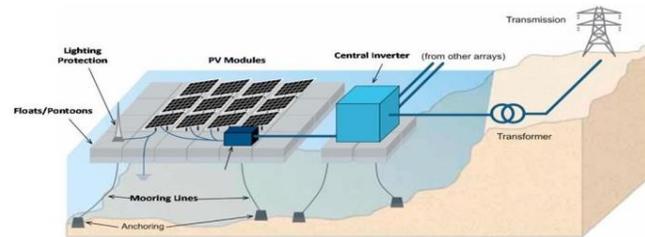
(2.2)

Berdasarkan persamaan 2.2 di atas untuk dapat menghitung potensi energi yang dibangkitkan PLTS (P) yaitu dengan cara total irradiansi yang diserap panel surya (F) dikalikan dengan luas area PV yang terpasang (S) kemudian dikalikan lagi dengan efisiensi dari modul surya tersebut (η)[10].

2.4. Floating Solar Photovoltaic

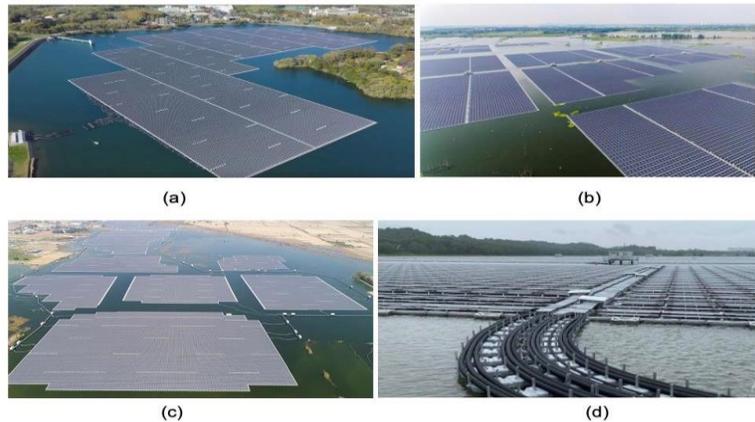
PLTS terapung adalah sistem modul surya skala besar yang dipasang terapung di permukaan perairan, baik pada danau, waduk, dam, danau irigasi, area pengelolaan air buangan ataupun lepas pantai. Beberapa PLTS terapung dengan kapasitas terbesar di dunia telah sukses dibangun dan beroperasi di berbagai negara. Instalasi PLTS terapung memiliki beberapa keuntungan, antara lain dapat memaksimalkan pemanfaatan lahan, unggul dalam perpindahan panas karena berada di media air, dan relatif lebih mudah dan cepat dalam instalasinya karena tidak membutuhkan alat berat (tanpa pekerjaan sipil). Pada prinsipnya, sistem PLTS terapung tidak jauh berbeda dengan sistem PLTS *ground-mounted*, dan komponen pada sistem ini antara lain terdiri dari modul surya, *floaters/platform* apung, *solar*

charge controller, inverter, dan penyangga modul PV. Segala komponen terkait pada teknologi floating photovoltaic system tertera pada gambar 2.2 dibawah ini[2].



Gambar 2. 2 Contoh layout PLTS terapung dan komponen-komponen penyusun

Pada dasarnya, sistem PLTS terapung tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan sistem PLTS yang dipasang di tanah. Sistem PLTS terapung terdiri dari beberapa komponen utama, seperti modul surya, *platform* apung, sistem penambat, *inverter*, stasiun kondisi daya terletak di daratan atau di atas air, pengkabelan, infrastruktur jaringan interkoneksi, fasilitas pendukung, pusat meteorologi yang sejajar dengan PLTS terapung, pemantauan jarak jauh, dan sistem pengumpulan data teknologi PLTS terapung dianggap layak secara komersial karena sejumlah proyek skala besar telah berhasil diimplementasikan. Namun, pengembangan PLTS terapung dianggap lebih menantang dibandingkan dengan PLTS daratan, karena adanya catatan kinerja yang terbatas, ketidakpastian terkait biaya, dan dampak lingkungan yang mungkin timbul belum jelas. Aspek teknis dalam perancangan, pembangunan, dan operasionalisasi PLTS terapung lebih kompleks, terutama dalam hal keamanan sistem kelistrikan, serta sistem penambatan dan penahanan[4].



Gambar 2. 3 (a) PLTS Terapung 320 MW di Zhejiang-China, (b) PLTS Terapung 150 MW di Huainan-China, (c) PLTS Terapung 70 MW di Anhui-China (d) PLTS Terapung 60 MW di Tengeh-Singapore

2.5. Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pengoperasian maksimum panel surya sendiri sangat bergantung kepada 2 faktor antara lain ambient air temperature dan juga radiasi solar matahari. Penjelasan dari kedua factor pada pengoperasian pembangkit listrik tenaga surya adalah sebagai berikut.

- a. *Ambient air temperature* panel surya sendiri dapat dioperasikan secara maksimal apabila temperature sel tetap terjaga normal pada suhu 25 derajat celcius, kenaikan temperature lebih tinggi dari temperature normal pada panel surya akan dapat melemahkan tegangan. Kenaikan suhu pada panel surya sekitar 1 derajat celcius dari suhu normal akan mengurangi 0,5% total tenaga yang dihasilkan.
- b. Cuaca mempengaruhi suhu pada lingkungan. Menurut data dari BMKG ketika cuaca cerah pada siang hari sekitar pukul 10.00 – 14.00 WIB suhu

disekitar lingkungan berada pada kisaran 30 – 34 derajat celcius. Pada saat cuaca mendung pada siang hari sekitar pukul 10.00 – 14.00 WIB suhu di lingkungan ada pada kisaran antara 28 – 30 derajat celcius. Jika cuaca pada keadaan buruk atau hujan suhu yang terdapat di lingkungan relative lebih rendah dan berada pada kisaran 26 – 29 derajat celcius pada pukul 10.00 – 14.00 WIB.

- c. Radiasi matahari di bumi dan di berbagai lokasi bervariasi dan bergantung pada keadaan spektrum solar yang terpancar. *Insolation* solar matahari akan berpengaruh pada arus dan sedikit berpengaruh terhadap tegangan[11].

2.6. Perencanaan *Floating Solar Photovoltaic*

FSPV adalah sebuah ide terbaru dalam produksi energi baru terbarukan tanpa adanya penambahan beban pada sumber daya air dan juga tanah. FSPV sendiri memiliki temperature ambien yang lebih rendah sebagai efek pendingin air karena pemasangannya dilakukan mengapung di atas air, akibatnya efisiensi dari panel surya terapung sendiri adalah sebesar 11% lebih tinggi dibanding dengan pembangkit listrik tenaga surya yang dipasang di tanah[12].

2.6.1. Perancangan Teknologi *Floating Photovoltaic*

Perancangan teknologi dari photovoltaic terapung sendiri memiliki beberapa langkah antara lain komponen tambahan, konstruksi floater, menghitung kapasitas PLTS, perhitungan daya dan juga perhitungan jumlah dari panel surya yang akan digunakan. Untuk penjelasan dari langkah-langkah perancangan teknologi floating PV adalah sebagai berikut.

Langkah pertama dalam perancangan *floating PV* adalah menyiapkan komponen utama yang digunakan pada system *floating PV*. Berikut merupakan beberapa komponen-komponen utama pada PLTS terapung antara lain:

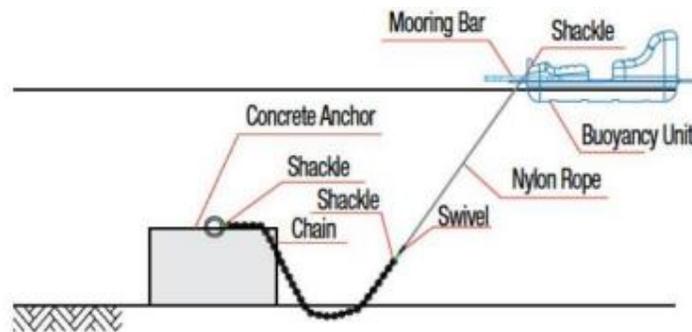
- a. Poonton/struktur pengapung, merupakan alat pelampung yang memiliki daya apung yang cukup untuk mengapung dengan sendirinya maupun dengan beban. Komponen ini dirancang untuk menampung jumlah panel yang disesuaikan dengan kombinasi parallel dan seri dengan disesuaikan kebutuhan dan juga ketersediaan dari ruang.
- b. *Mooring system* / system penambatan merupakan system tambatan yang dipasang permanen pada struktur pengapung. Sistem penambatan sendiri berfungsi sebagai pencegah Gerakan bebas struktur diatas permukaan air.
- c. Panel solar. Adalah sebuah modul panel surya yang hanya bias menghasilkan jumlah daya terbatas, pada umumnya instalasi terdiri dari beberapa modul yang dipasang. Jenis modul *monocrystalline* merupakan jenis modul yang paling banyak digunakan pada *floating photovoltaic system*.
- d. Kabel. Pada proses perancangan *floating solar system* kabel bawah air menjadi bagian yang penting untuk mentransmisikan energi listrik melalui bawah air, sehingga membutuhkan kabel yang tahan terhadap air[13].

2.6.2. Sistem Penjangkaran

Skema sistem penjangkaran dari floating PV sendiri terbagi menjadi dua jenis yaitu tipe struktur dan juga tipe *all in one buoyancy*. Terdapat perbedaan diantara keduanya yaitu terlihat pada struktur pengapung yang di aplikasikan. Tipe struktur sendiri memanfaatkan kerangka logam yang tahan dari karat sebagai penyangga atau dudukan untuk modul surya dan modul apung nya sendiri menggunakan tangka yang dalamnya diisi dengan *Styrofoam* sebagai langkahantisipasi apabila tangka terdapat kebocoran. Tipe struktur sendiri mampu mengakomodasi kedalaman hingga 60 m[12]. tipe *all in one buoyancy* memanfaatkan *platform buoyancy* yang sudah diintegrasikan dengan dudukan dari

modul PV. Tipe ini juga lebih mudah dalam proses pemasangan dan juga perawatannya[14]. Tipe ini dapat mengakomodasi kedalaman perairan hingga 20 m. struktur penjangkaran menggunakan tipe ini sendiri terdiri atas:

1. Modul pengampung utama yang digunakan sebagaiudukan modul surya.
2. Modul apung sekunder untuk dapat memfasilitasi proses perawatan.
3. Rel pemandu yang berfungsi sebagai pengunci posisi dari modul PV.
4. Titik penyambung dan juga pengunci sebagai penghubung modul apung yang satu dengan yang lainnya[14].



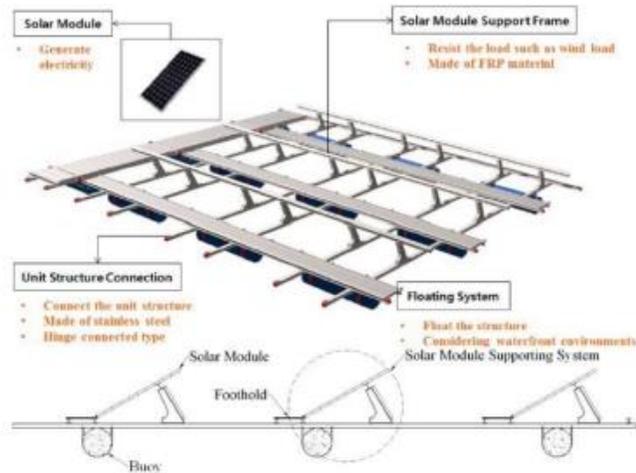
Gambar 2. 4 konfigurasi sistem penjangkaran

Berdasarkan kepada gambar 2.4 diatas, komponen konstruksi sistem penjangkaran sendiri terdiri dari beberapa bagian yang anatara lain adalah sebagai berikut:

1. Jangkar beton
2. Rantai tahan karat
3. Lengan ayun
4. Tali jerat nylon
5. Shackle
6. Mooring bar

Struktur dari setiap unit pengampung terdiri dari panel surya, sistem structural sendiri sebagai penopang untuk modul PV yang terdiri atas beberapa komponen

penyusun dari struktur utama, sistem apung, dan perangkat penghubung[15]. Seperti yang digambarkan pada gambar 2.8 berikut.



Gambar 2. 5 Desain Struktur Unit Apung

Komponen penyusun struktur solar *floating* dikategorikan menjadi komponen vertical, komponen penopang, dan juga komponen penyambung, komponen pijakan serta komponen utama. Semua komponen pada struktur dihubungkan menggunakan baut dari *stainless steel*[15].

2.6.3. Perhitungan Perancangan *Floating Photovoltaic System*

Dalam proses perhitungan perancangan *Floating Photovoltaic System* sendiri memiliki beberapa tahapan. Mulai dari perhitungan potensi energi dari modul surya, perhitungan densitas energi matahari dan keluaran panel surya, Perhitungan jumlah rangkaian modul surya, perhitungan area array, dan perhitungan losses. Berikut merupakan beberapa tahapan yang harus dikerjakan dalam proses perancangan *floating photovoltaic system*[16].

1. Perhitungan potensi energi dari modul surya.

Perhitungan yang pertama ini dilakukan dengan menghitung jumlah modul panel surya yang akan digunakan, hal tersebut dapat kita hitung menggunakan persamaan 2.6 seperti di bawah ini.

$$\text{jumlah panel surya} = \frac{\text{kapasitas pembangkit yang direncanakan}}{P_{mpp}(\text{panel surya})}$$

(2.6)

Berdasarkan persamaan 2.6 diatas untuk dapat menghitung jumlah panel surya yang akan digunakan adalah dengan cara kapasitas yang akan direncanakan dibagi dengan $P_{mpp}(\text{panel surya})$. Selanjutnya adalah perhitungan inverter yang akan digunakan dengan menggunakan persamaan 2.7 seperti di bawah ini.

$$\text{jumlah inverter} = \frac{\text{kapasitas yang direncanakan}}{P_{maxDCinverter}}$$

(2.7)

Berdasarkan kepada persamaan 2.7 untuk dapat mengetahui berapa jumlah inverter yang digunakan dengan cara kapasitas yang direncanakan dibagi dengan daya DC maksimum input inverter ($P_{maxDCinverter}$). Daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTS yang diperuntukan untuk dapat memenuhi kebutuhan energi dapat dihitung menggunakan persamaan-persamaan berikut[16].

2. Perhitungan densitas energi matahari dan keluaran panel surya

Densitas energi pada matahari sendiri merupakan perbandingan antara rata-rata daya dengan luas dari proyeksi tempat instalasi sistem pembangkit listrik tenaga surya. Untuk dapat mengetahui densitas energi matahari yang dapat dihasilkan maka kita menggunakan persamaan 2.8 berikut.

$$\rho = \frac{E}{S} = \frac{\text{Rata-rata daya}}{\text{Luas Lahan}}$$

(2.8)

Berdasarkan kepada persamaan 2.8 diatas untuk dapat menghitung densitas energi matahari (ρ) maka rata-rata daya yang digunakan (E) dibagi dengan luas lahan

yang akan di install (S)[17]. Adapun untuk dapat menghitung daya keluaran yang dihasilkan oleh modul surya, kita menggunakan persamaan 2.9 seperti dibawah ini.

$$P_{pv} = f_{pv} y_{pv} PSH$$

(2.9)

Dimana untuk menghitung daya keluaran panel surya (P_{pv}) adalah dengan cara P_v derating factor yang memiliki nilai 0,7-0,85 (f_{pv}) dikalikan dengan daya PV array (y_{pv}) dan dikalikan kembali dengan *peak sun hour* (PSH).

3. Perhitungan jumlah rangkaian modul surya

Penyesuaian jumlah arus pada output dari modul surya yang mengarah pada input inverter harus dirangkai seri agar dapat memperoleh arus yang besar dan dirangkai secara parallel agar mendapatkan tegangan yang besar. Untuk dapat menghitung langkah tersebut maka digunakan lah persamaan 2.10, 2.11, dan 2.12 sebagai berikut.

a. Rangkaian Seri

Untuk dapat menghitung rangkaian seri agar dapat memperoleh arus yang besar maka menggunakan persamaan 2.10, dan juga 2.11 dibawah ini.

$$Min. modul per Array = \frac{V_{DC Max}}{V_{oc}}$$

(2.10)

$$Min. modul per Array = \frac{V_{DC Min}}{V_{mpp}}$$

(2.11)

b. Rangkaian Paralel

Untuk dapat menghitung rangkaian parallel supaya dapat memperoleh tegangan yang besar maka digunakan persamaan 2.12 di bawah ini.

$$Min. modul paralel per array = \frac{I_{DC Min}}{V_{sc}}$$

(2.12)

Berdasarkan persamaan 2.10, 2.11, dan 2.12 diatas terdapat berbagai cara untuk dapat menghitung jumlah rangkaian dari panel surya mulai dari menggunakan rangkaian seri dan juga parallel. Untuk dapat menghitung rangkaian seri terdapat dua persamaan yang dapat digunakan, persamaan yang pertama adalah untuk mencari minimum modul per array nya dengan cara tegangan maksimum DC di inverter ($V_{DC Max}$) dibagi dengan tegangan open circuit pada modul surya (V_{oc}). Untuk dapat mengetahui maksimal modul per array nya adalah dengan cara tegangan minimum DC di inverter ($V_{DC Min}$) dibagi dengan tegangan mpp yang terdapat pada panel surya (V_{mpp}). Kemudian ketika rangkaian parallel untuk dapat mencari minimal modul parallel per array dilakukan dengan cara arus minimum pada DC di inverter dibagi dengan tegangan yang timbul pada modul surya (V_{sc})[17].

2.7. Aspek Ekonomi

Dalam perancangan *Floating photovoltaic system* dibutuhkan Analisa pada sector ekonomi yang kemudian meliputi biaya investasi total, biaya operasional dan juga biaya pemeliharaan, kemudian juga memperhitungkan biaya siklus dari pengoperasian PLTS tersebut. *Capital expenditure* (CAPEX) adalah istilah yang umum digunakan sebagai biaya investasi awal yang dikeluarkan untuk memperbaiki, membeli, juga memelihara asset pada jangka yang Panjang sebagai kelangsungan usaha ataupun biasa disebut dengan investasi total. Biaya CAPEX terdiri atas biaya perangkat mekanis seperti panel surya, inverter dan komponen lainnya, kemudian biaya instalasi, biaya BoS (*balance of system*), biaya konstruksi, biaya tidak langsung, biaya pemiliki, dan yang terakhir adalah biaya lahan. Biaya BoS terdiri atas biaya seperangkat alat kelistrikan seperti transformator, pemasangan kabel, *control equipment, switching*, peralatan proteksi, dan peralatan kelistrikan yang lain. Sementara ada juga yang disebut dengan biaya operasional atau biasa disebut dengan OPEX (*operasional expenditure*). OPEX sendiri merupakan biaya pengeluaran yang

dikeluarkan untuk memenuhi kebutuhan baik kebutuhan operasional, pemeliharaan dan juga mencakup biaya pekerjaan dan juga asuransi. OPEX sendiri biasanya bernilai 1-2% dari biaya total investasi awal[18].

Dalam perancangan PLTS terdapat biaya untuk menghitung siklus pemakaian yang disebut juga dengan *lifecycle cost* (LCC), LCC sendiri adalah biaya total yang dikeluarkan selama PLTS tersebut beroperasi yang di dalamnya meliputi CAPEX, OPEX, dan juga biaya *decommissioning*. Agar dapat menentukan biaya LCC, biaya OPEX pertahun hingga *lifetime* PLTS terapung dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.13 dan 2.14. CRF digunakan sebagai pengkonversi semua biaya siklus yang menjadi rangkaian biaya pertahun yang diperoleh dari persamaan 2.15[19].

$$M_{0m} = M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2.13)$$

Berdasarkan persamaan 2.13 untuk dapat menghitung nilai biaya OPEX setiap tahun (M_{0m}) yaitu dengan cara biaya pokok (M) dikali dengan hasil dari pembagian antara konstanta ditambah nilai suku bunga bank (i) dipangkat tahun ke berapa kemudian dikurangi dengan konstanta (1) per satu tahun kemudian dibagi dengan nilai suku bunga (i) dikali dengan hasil konstanta (1) dijumlah dengan nilai suku bunga (i) dipangkatkan dengan nilai tahun ke berapa. Kemudian untuk dapat menghitung nilai dari biaya siklus hidup sistem PV tersebut digunakan persamaan 2.14 di bawah ini.

$$LCC = C + M_{0M} + D_{CM} \quad (2.14)$$

Berdasarkan persamaan 2.14 di atas untuk menghitung biaya siklus hidup dari sistem PV (LCC) yaitu dengan cara menjumlahkan investasi total/CAPEX (C) dengan nilai dari biaya OPEX (M_{0M}) dan dijumlahkan kembali dengan biaya untuk *decomisioning* (DCM). Adapun untuk dapat menghitung berapa nilai dari factor

pemulihan yang bisa dicapai paska pembangunan proyek sistem *floating photovoltaic* adalah dengan menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.15)$$

Berdasarkan persamaan 2.15 di atas bahwasanya untuk dapat mengetahui faktor pemulihan (*CRF*) yaitu dengan cara membagi hasil dari nilai suku bunga bank (*i*) dikali dengan hasil dari konstanta (1) dijumlahkan dengan nilai suku bunga bank (*i*) di pangkat tahun beberapa (*n*) dengan hasil dari konstanta (1) dijumlahkan dengan nilai suku bunga bank (*i*) dipangkatkan tahun ke berapa dan dikurang dengan konstanta (1)[18].