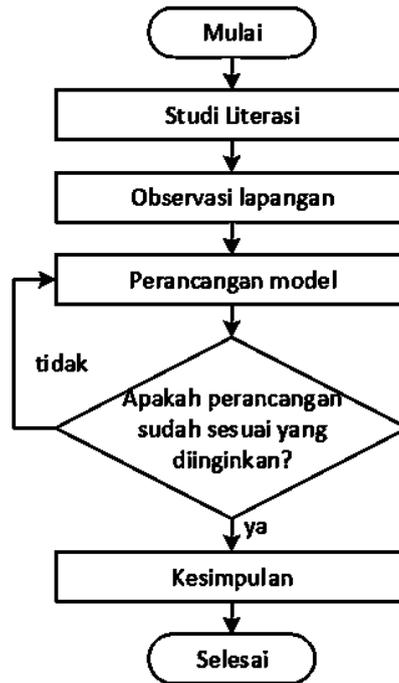


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Berdasarkan gambar 3.1 terdapat beberapa tahap diagram alur dalam penelitian. Tahapan tersebut diantaranya Observasi Lapangan, Perancangan Model dan Kesimpulan. Berikut penjelasan setiap langkah dari *flowchart* penelitian yaitu:

a. Studi Literatur dimulai dari pengumpulan referensi sebagai dasar teori yang bersumber dari buku, jurnal ilmiah, internet dan informasi terkait PLTS dan *Software Helioscope* untuk menambah pemahaman sebagai referensi penulis sebagai kelanjutan penelitian. Terdapat beberapa penelitian yang mendukung dalam pembuatan tugas akhir terkait pemodelan PLTS *On Grid* di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya, diantaranya:

1. Karya Ganda Hartawan Sihotang dengan penelitian yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Di Hotel Kini Pontianak” memaparkan bahwa PLTS Rooftop dengan bentuk atap lengkung di Hotel Kini Pontianak dapat membangkitkan PLTS dengan kapasitas total 119,857946 kWh serta energi konversi sebesar 43.748,15 kWh/tahun. Total investasi awal sebesar Rp 1.076.367.000. Dengan harga energi per kWh Rp 1.467,28 /kWh.

2. Karya Moh. Miftahul Adhim Mustakim dengan penelitian yang berjudul “Analisis Kelayakan Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *On Grid* Pada Gedung Perkantoran Polres Takalar” memaparkan bahwa PLTS yang beliau rancang dapat menyuplai daya sebesar 35% dari penggunaan rata-rata harian gedung dengan nilai konsumsi energi listrik sebesar 504,853kWh. Perancangan tersebut menggunakan software *Helioscope* sebagai simulasi dan membutuhkan 92 panel surya yang terpasang dengan merek yang dipakai yakni Longi LR4- 72HPH-450M 450 Wp, satu buah *AC Combiner Box* yang berisi peralatan proteksi pendukung PLTS dan Inverter SUN2000-20KTL-M0 sebanyak 2 buah kapasitas 20 kW. Biaya investasi awal sistem PLTS sebesar Rp.

288.768.219,00 dengan analisa kelayakan menunjukan nilai NPV sebesar Rp. 2.531.924,92, nilai RR yaitu 9,9 %, nilai BCR yaitu 1,009 dan waktu pengembalian investasi terjadi pada tahun ke-9 dalam masa umur proyek.

3. Karya Muhammad Nur Azis Romadhoni dengan penelitian yang berjudul “Perencanaan Pembangunan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On grid* Pada Atap Gedung (*Roof Top*) Berkapasitas 10 kWp Di Gedung Inspektorat Daerah Kota Samarinda” memaparkan bahwa dalam merancang PLTS menggunakan aplikasi *Helioscope* didapatkan hasil kapasitas panel surya sebesar 10 kWp dengan menggunakan modul surya jenis *monocrystalline merk* Trina Solar. Dengan masing-masing modul surya berkapasitas 320 Wp sebanyak 32 buah, inverter ABB 10kW 1 buah dengan *performa ratio* 93%, dengan biaya investasi awal sebesar Rp. 140.140.000 dan periode pengembaliannya selama 8 tahun dalam masa umur proyek.

- b. Observasi lapangan dilakukan secara langsung dengan melihat kondisi di lapangan untuk mempelajari keadaan di lapangan mengenai pelaksanaan penelitian, seperti mewawancarai salah satu pegawai Stadion Wiradadaha terkait persyaratan untuk penelitian di tempat tersebut, informasi data yang dibutuhkan untuk keberlangsungan penelitian ada atau tidak, lingkungan sekitar Stadion Wiradadaha Tasikmalaya apakah ada penghalang/*shading* seperti pohon, tiang dan sebagainya yang akan mempengaruhi penempatan dan energi yang dihasilkan panel surya. Untuk kelancaran penyusunan penelitian tugas akhir. Terdapat beberapa data yang diperlukan, antara lain:

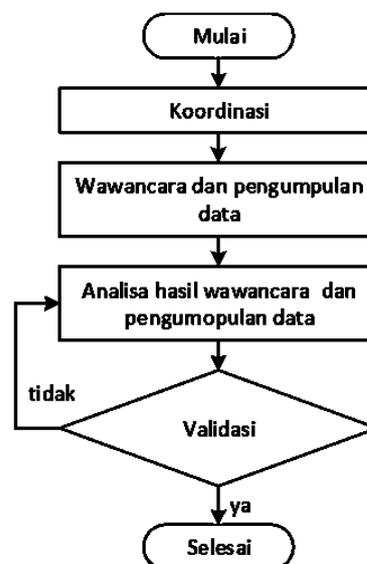
1. Data konsumsi energi listrik di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya dalam rentang waktu 1 tahun.
2. Data luas bangunan Stadion Wiradadaha Tasikmalaya dan bentuk aktual bangunan, khususnya atap stadion.
3. Data Meteorologi Stadion Wiradadaha Tasikmalaya.
4. Data faktor ekonomi perancangan sistem PLTS, seperti harga komponen pembuatan sistem PLTS dan tarif PLN pada saat ini.

b. Perancangan Model, menggunakan Simulasi *Software Helioscope* sebagai tahap perancangan sistem PLTS dengan memasukan data yang berpedoman pada tahap kelima, hasil pengumpulan data. Simulasi *Software Helioscope* adalah *web-based simulation* atau simulasi berbasis web untuk membantu para insinyur atau desainer dalam melakukan perencanaan atau mendesain PLTS .Dalam mendesain PLTS *rooftop* di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya terdapat data masukan pada simulasi *Helioscope* yang harus dipenuhi. Setelah semua data yang dimasukan , tahap selanjutnya adalah data yang sudah dimasukan apakah sudah sesuai atau belum serta pengecekan kembali data yang telah di input apakah sudah benar atau salah, seperti desain PLTS *rooftop* di *Helioscope* , masukan data teknologi & orientasi modul surya, inverter, ukuran string, jenis racking,serta desain aktual peletakan surya sesuai dengan kebutuhan objek penelitian, sehingga dapat ditentukan optimalisasi model. Hasil penggunaan *software Helioscope*.yakni perhitungan *Inverter Load Ratio*, *Performance Ratio*, nilai *Total Solar Resource Fraction*, nilai kWh/kWp, serta nilai pemenuhan kebutuhan beban oleh energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS *rooftop*. Sedangkan, beberapa simulasi lainnya

seperti rugi rugi akibat pengkabelan, ketidakcocokan modul atau *mismatch*, rugi-rugi akibat refleksi dan *efek shading* didapatkan dari perkiraan sesuai datasheet yang digunakan, selain itu telah memuat laporan nilai-nilai efek shading, pengkabelan, efisiensi komponen, ketidakcocokan modul, serta rekomendasi untuk peletakan susunan modul panel surya dan konfigurasiya berdasarkan desain yang telah dibuat. Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTS *rooftop* selanjutnya dikomparasi dengan jumlah konsumsi energi listrik tahunan di Stadion Wiradadaha yang bersumber dari listrik PLN, sehingga didapatkan persentase energi listrik yang mampu disuplai oleh PLTS *rooftop*. Selain itu, total simulasi rugi-rugi, nilai rasio kinerja, dan nilai *Total Solar Resource Factor* juga disajikan sebagai data pendukung untuk memperkuat perancangan.

c. Kesimpulan, mengacu pada analisis yang telah dilakukan maka terkait perancangan sistem PLTS di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya.

3.2 Tahapan Observasi Lapangan



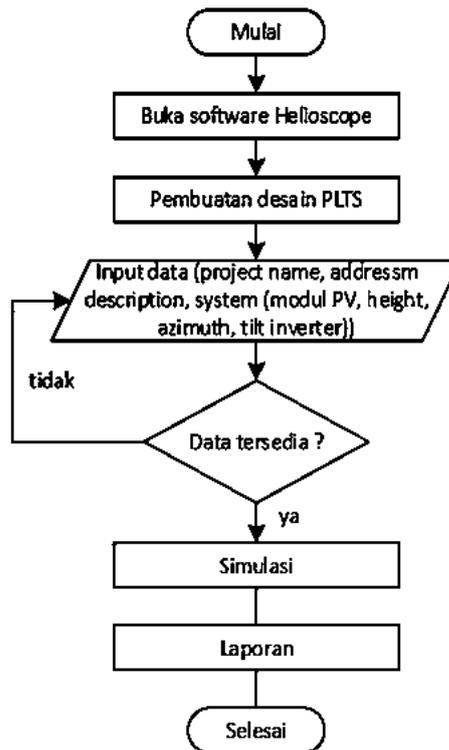
Gambar 3. 2 Tahapan Observasi Lapangan

Berdasarkan gambar 3.2 terdapat beberapa tahapan Observasi Lapangan yaitu

koordinasi, wawancara dan pengumpulan data, analisis hasil wawancara dan pengumpulan data, validasi data dan selesai. Detail pengambilan data di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya meliputi :

1. Data konsumsi energi listrik di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya dalam rentang waktu 1 tahun setelah itu data diolah sesuai kebutuhan penelitian. Data konsumsi energi listrik bisa dilihat dari pembayaran rekening listrik Stadion Wiradadaha Tasikmalaya perbulannya dibagi harga listrik per kWh.
2. Data luas bangunan Stadion Wiradadaha Tasikmalaya dan bentuk aktual bangunan, khususnya atap stadion, luasan atap dan arah kedatangan matahari sehingga didapatkan jumlah modul surya yang optimal terhadap segmentasi luasan atap.
3. Data Meteorologi Stadion Wiradadaha Tasikmalaya, diantaranya letak geografis, data potensi energi sesuai koordinat yang telah ditentukan seperti data untuk potensi radiasi matahari yang nanti akan menjadi data masukan di *Software Helioscope*.
4. Data faktor ekonomi seperti daftar harga jual komponen pembuatan PLTS seperti ukuran string, jenis racking dan orientasi modul surya, serta rasio DC/AC atau rasio dari kapasitas *photovoltaic array* terhadap kapasitas inverter terpasang yang akan berpengaruh terhadap *clipping loss* dan tarif PLN pada saat ini.

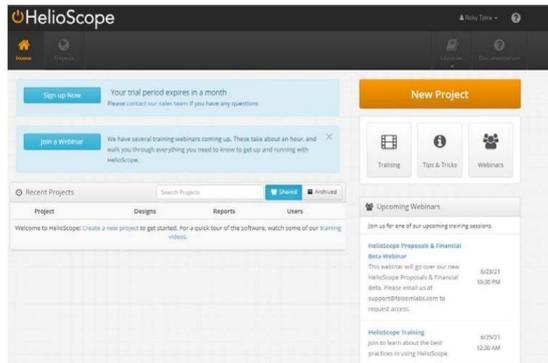
3.3 Flowchart Simulasi Software Helioscope



Gambar 3. 3 Flowchart Simulasi Software Helioscope

Berdasarkan gambar 3.3 terdapat beberapa data masukan pada Helioscope yang menjadi dasar simulasi adalah titik koordinat lokasi PLTS *rooftop* yang akan dipasang, pemilihan teknologi modul surya dan jenisnya, serta pemilihan jenis inverter. Pada simulasi penelitian ini juga dilakukan desain gambar PLTS *rooftop*, pemilihan ukuran string, pemilihan jenis racking dan orientasi modul surya, serta rasio DC/AC atau rasio dari kapasitas *photovoltaic array* terhadap kapasitas inverter terpasang yang akan berpengaruh terhadap *clipping loss*. Peletakan modul surya pada atap Stadion Wiradadaha mempertimbangkan luasan atap dan arah kedatangan matahari sehingga didapatkan jumlah modul surya yang optimal terhadap segmentasi luasan atap. Berikut langkah-langkah perancangan menggunakan Helioscope:

- a. Membuka *software* Helioscope di web <https://www.helioscope.com>
- b. Sebelum memulai simulasi Helioscope, perlu sign-up trial version untuk mendapatkan fitur yang diberikan oleh web Helioscope.
- c. Setelah melakukan sign-up, klik “*New Project*” untuk memulai seperti ditunjukkan pada gambar 3.4 dibawah ini.



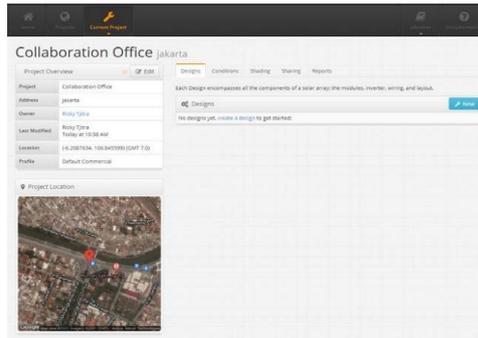
Gambar 3. 4 Halaman utama web Helioscope
(Sumber: www.helioscope.com)

- d. Tulis nama proyek, alamat, dan keterangan pada pop-up di tampilan “*New Project*” seperti yang ditunjukkan gambar 3.5 dibawah ini.



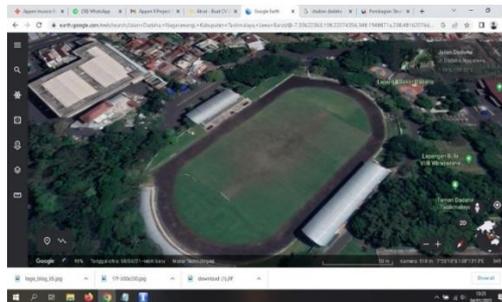
Gambar 3. 5 Tampilan Pop-up di New Project
(Sumber: www.helioscope.com)

- e. Klik tombol “*Create Design*” untuk membuat rancangan model baru. Seperti yang ditunjukkan gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3. 6 Halaman Current Project Helioscope (Sumber: www.helioscope.com)

- f. Langkah selanjutnya yakni buat segmen tiap atap bangunan dengan menekan tombol “New” pada field segment. Kemudian pilih aturan tiap segmen untuk menentukan ketinggian bangunan, kemiringan atap, jarak antar panel, dan sebagainya. Seperti tampilan gambar 3.7 dibawah ini.



Gambar 3. 7 Tampilan lokasi Stadion Wiradadaha Tasikmalaya di Helioscope (Sumber: www.helioscope.com)

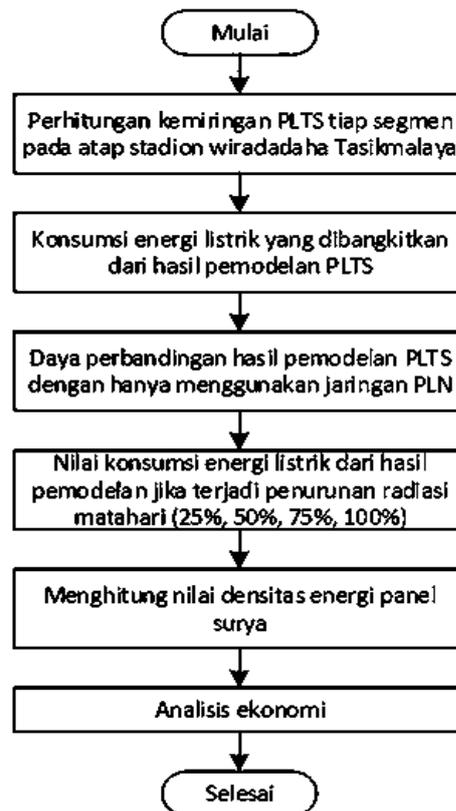
- g. Setelah selesai mengatur tiap segmen yang dibuat, tekan tombol “Save & Exit” untuk menyimpan dan keluar dari halaman “Create Design” Sesuai pada gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3. 8 Tampilan pilihan perancangan PLTS di Helioscope (Sumber: www.helioscope.com)

- h. Setelah itu kembali ke halaman utama *helioscope* tekan tombol “*Reports*” dan tombol “*Simulate*” untuk memulai simulasi energi yang dihasilkan oleh tiap *segment* yang dibuat. Saat simulasi berjalan, dapat menunjukkan laporan lengkap berupa daya keluaran kWh/kWp, rasio performa dan energi pembangkitan total. Hasil simulasi dapat mengetahui potensi energi tahunan yang diperoleh oleh perencanaan PLTS di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya, daya energi yang diserap mulai yang terendah maupun tertinggi, dan rugi-rugi daya yang terjadi. Analisa dilakukan dengan indikator yang sudah didapat. Analisa dilakukan dengan melihat indikator dari hasil simulasi yang sudah dilakukan seperti sudut orientasi dan kemiringan modul berpengaruh terhadap daya keluaran dari panel, jenis panel dan inverter yang digunakan dan rugi-rugi daya yang didapat.
- i. Pembuatan laporan, tahapan ini merupakan tahap terakhir yang dilakukan yakni membuat laporan yang berisikan bentuk perancangan PLTS, komponen-komponen yang digunakan, jenis-jenis komponen, hasil daya keluaran, hasil daya yang diserap panel surya, dan rugi-rugi daya.

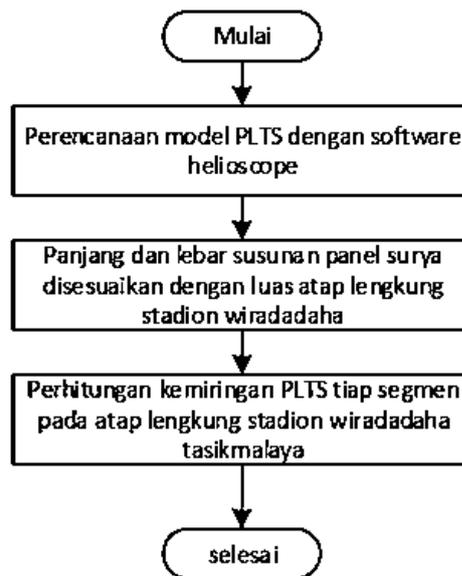
3.4 Flowchart Analisis Hasil



Gambar 3. 9 Flowchart Analisis Hasil

Setelah dilakukan perancangan model dan simulasi terkait pemodelan PLTS atap lengkung di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya menggunakan *Helioscope*, tahap selanjutnya mengacu pada gambar 3.9 yakni Flowchart analisis hasil uji, penjelasan detail terkait tahapan analisis hasil, antara lain:

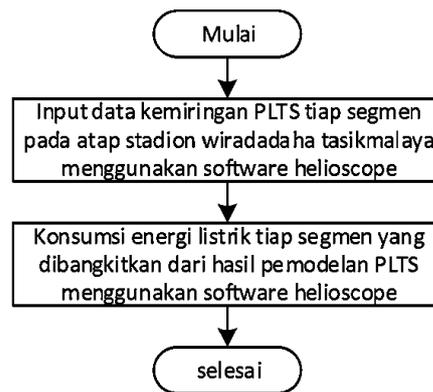
- a. Perhitungan kemiringan PLTS tiap segmen pada atap Stadion Wiradadaha Tasikmalaya, dilakukan dengan tujuan mengetahui berapa derajat kemiringan PLTS yang disimpan tiap segmen di atap Stadion Wiradadaha Tasikmalaya. Adapun tahapan perhitungan kemiringan panel sesuai gambar 3.10 sebagai berikut:



Gambar 3. 10 Tahapan perhitungan derajat PLTS tiap segmen

Berdasarkan gambar 3.10 perhitungan kemiringan panel dilakukan dengan cara mencari hasil nilai sudut juring yang dibentuk lengkungan Stadion Wiradadaha Tasikmalata, dimana cara mencari sudut tiap titik nya adalah $\frac{a}{b} \pi \times \frac{\text{Sudut Juring}}{\pi}$, untuk jarak dan pembagian tiap sudut nya disesuaikan dengan luas atap lengkung tribun penonton Stadion Wiradadaha Tasikmalaya dengan perencanaan pemodelan sistem PLTS.

b. Analisis Konsumsi Energi Listrik yang dibangkitkan dari hasil pemodelan PLTS, dengan analisis ini dapat diketahui berapa daya yang diserap oleh PLTS setiap jam, hari, bulan, dan tahun. Analisis untuk konsumsi energi yang dibangkitkan PLTS secara detail (per jam, per hari dan per bulan) yang menyesuaikan dengan komponen dari hasil simulasi menggunakan *software Helioscope*.



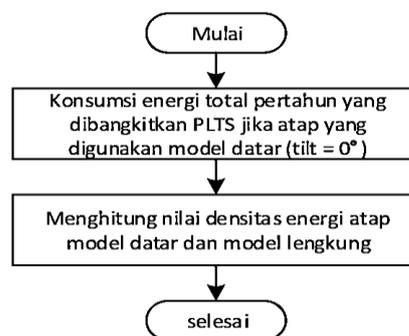
Gambar 3. 11 Tahapan analisis konsumsi energi

Sesuai pada gambar 3.11 terdapat langkah yang harus dilakukan untuk mendapat nilai konsumsi energi yang dibangkitkan PLTS sesuai dengan pemodelan di Helioscope. Setelah mendapat data kemiringan PLTS tiap segmennya, selanjutnya simulasi pemodelan PLTS tiap segmen di *software helioscope* dengan komponen yang sama dengan nilai *tilt* atau kemiringan panel yang berbeda. Setelah mendapat hasil konsumsi energi yang dibangkitkan PLTS tiap tahunnya, selanjutnya di totalkan keseluruhan energi PLTS yang dibangkitkan. Serta dapat nilai konsumsi energi yang dibangkitkan oleh PLTS secara *real-time* baik setiap jam, hari, atau bulan.

c. Membandingkan konsumsi energi listrik hasil pemodelan dengan konsumsi energi listrik Stadion Wiradadaha yang hanya disupply PLN saja. Konsumsi energi listrik ini didapat dengan data rekening listrik Stadion Wiradadaha selama setahun dari bulan Februari 2022 hingga Januari 2023. Bagaimana nilai efisiensi dengan memakai dan tidak memakai PLTS.

d. Perhitungan nilai konsumsi energi listrik dari hasil pemodelan jika terjadi penurunan radiasi matahari, dikarenakan radiasi matahari setiap tahunnya tidak menentu atau berubah-ubah, sehingga tidak terpacu dari data potensi matahari yang sudah di sediakan dari situs resmi *Global Solar Atlas* dan situs resmi NASA . Nilai persentase yang akan diperhitungkan adalah penurunan radiasi matahari sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100%. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan nilai konsumsi energi listrik yang dihasilkan dari simulasi pemodelan dengan persen dari penurunan radiasi matahari (25%, 50%, 75% dan 100%).

e. Menghitung nilai densitas panel surya



Gambar 3. 12 Tahapan perhitungan nilai densitas panel surya

Sesuai pada gambar 3.12, dimana nilai densitas panel surya didapat dari hasil pembagian antara nilai energi yang dihasilkan selama satu tahun dibagi dengan luas area yang dipakai oleh panel surya, serta analisis pengaruh lengkungan terhadap densitas energi yang dihasilkan dengan cara analisis perbandingan nilai densitas energi yang dihasilkan dari atap model lengkung dan atap model datar di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya, apakah densitas yang dihasilkan dari lengkungan atap lebih baik atau tidak jika dibanding dengan atap model datar (kemiringan panel ($tilt = 0^\circ$)).

f. Analisis Ekonomi dilakukan untuk mengetahui estimasi biaya yang dikeluarkan untuk perencanaan PLTS atap lengkung *on grid* di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya, mulai dari perhitungan harga komponen perancangan PLTS, perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan, serta perhitungan pemulihan modal.



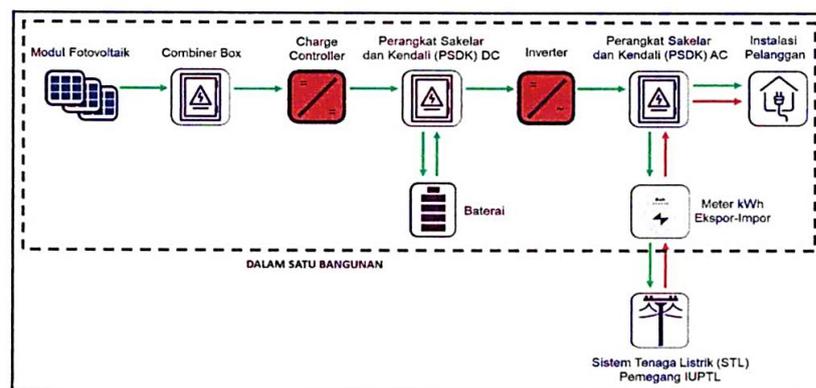
Gambar 3. 13 Tahapan analisis ekonomi

Berdasarkan gambar 3.13 terdapat beberapa tahapan dalam analisis ekonomi pemodelan PLTS atap lengkung di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya, antara lain:

1. Biaya Investasi Awal, perhitungan semua komponen PLTS yang digunakan dengan list biaya saat ini.
2. Biaya Operasional dan Pemeliharaan, pada umumnya nya harga untuk BOP diperhitungkan 1% dari total investasi awal. Harga BOP diperhitungkan per tahun.

3. Biaya Siklus Hidup, perencanaan biaya ini untuk PLTS sampai 25 tahun kedepan. Umumnya umur PLTS dapat beroperasi sampai 25 tahun.
 4. Biaya Energi PLTS, perhitungan harga rata-rata per kWh energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS selama *lifetime* (perhitungan selama masa pakai PLTS = 25 tahun) agar sebuah proyek energi mencapai titik impas.
 5. *Payback Periode*, waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian biaya investasi atau balik modal. Perhitungan ini didapat dengan membagi biaya investasi awal dengan pendapatan bersih selama 1 tahun (Nilai kWh pertahun x Biaya energi PLTS)
- g. Selesai, semua tahap sudah dilakukan maka seluruh proses pada tahap analisis hasil uji sudah selesai.

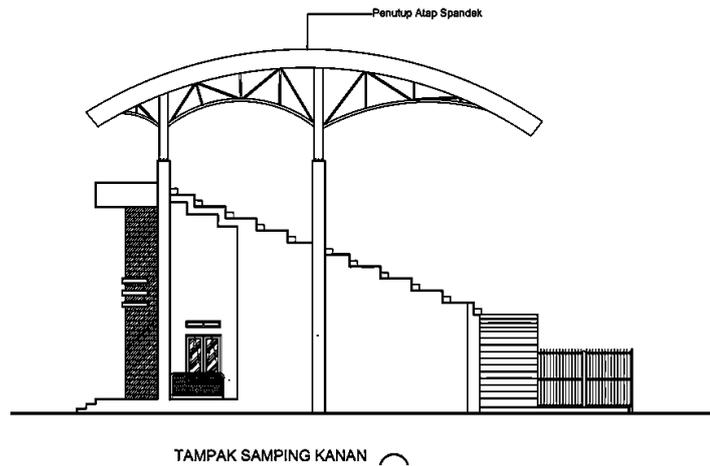
3.5 Blok Diagram PLTS On Grid



Gambar 3. 14 Blok Diagram PLTS On Grid dengan Backup Baterai (BPPT Outlook (2021)).

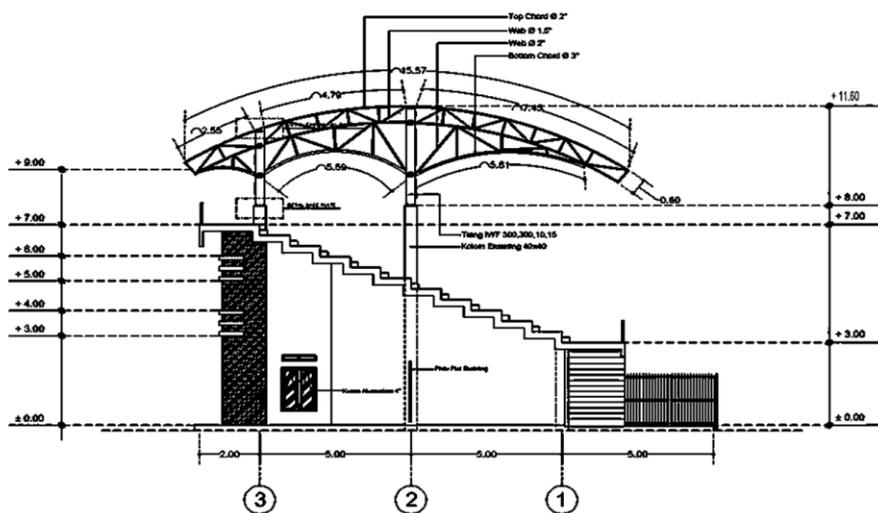
Penelitian yang dilakukan sesuai gambar 3.14 menggunakan sistem PLTS *On Grid* dengan *backup* baterai sehingga dapat berfungsi sebagai *On Grid* dan *Off grid* pada saat PLN mati dan panel surya tidak cukup memenuhi kebutuhan energi dapat menggunakan baterai sebagai sumber utama..

3.6 Lengkungan Atap Stadion Wiradadaha Tasikmalaya



Gambar 3. 15 Struktur lengkungan stadion tampak samping kanan (UPTD Dadaha, 2019).

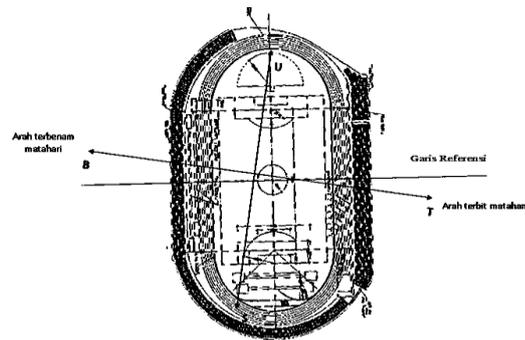
Pada gambar 3.15 merupakan data struktur lengkungan atap Stadion Wiradadaha Tasikmalaya tampak samping kanan. Data ini diambil dari data denah proyek yang dimiliki Stadion Wiradadaha Tasikmalaya.



Gambar 3. 16 Ukuran Lengkungan Atap Stadion Wiradadaha Tasikmalaya (UPTD Dadaha, 2019).

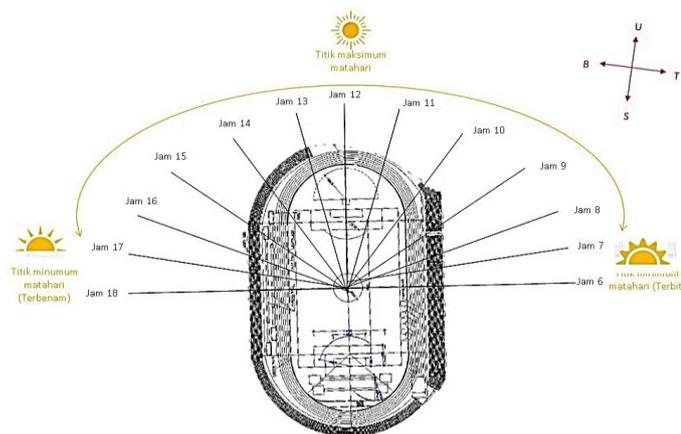
Berdasarkan gambar 3.16 terdapat ukuran dari atap lengkung Stadion Wiradadaha Tasikmalaya dengan lebar lengkungan sebesar 15,57 meter dengan ketinggian dari atap hingga menuju tanah sebesar 11,60 meter.

3.7 Hubungan kemiringan sudut matahari dengan panel surya



Gambar 3. 17 Arah terbit dan tenggelam matahari di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya (Sumber: www.suncalc.org)

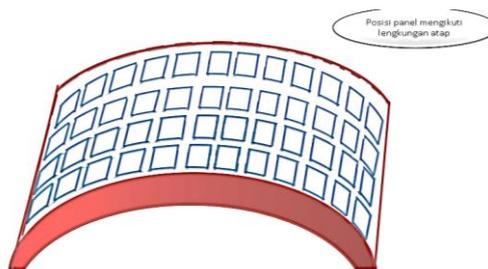
Pada gambar 3.17 terdapat arah terbit dan tenggelam nya matahari di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya. Arah pergerakan datangnya matahari sesuai dengan jalur lengkungan dari atap Stadion Wiradadaha Tasikmalaya. Hal ini tentu sangat berpotensi dalam penyerapan energi panel surya maksimal.



Gambar 3. 18 Ilustrasi sudut datang matahari tampak atas Stadion Wiradadaha Tasikmalaya. (Sumber: www.suncalc.org)

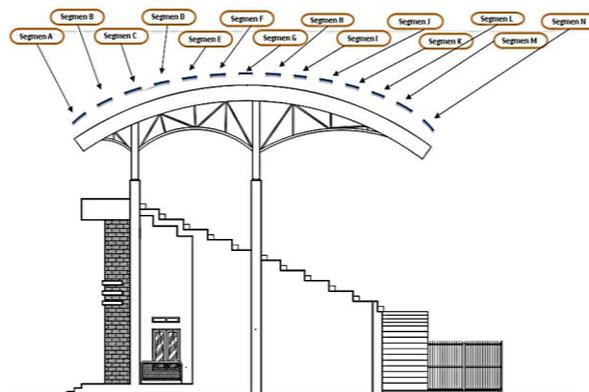
Berdasarkan gambar 3.18 terdapat Ilustrasi sudut datang matahari tampak atas Stadion Wiradadaha Tasikmalaya. Berikut penjelasan perhitungan sudut datang matahari perjam nya yakni bumi sekali berotasi membutuhkan waktu 24 jam dan

setiap tempat di permukaan bumi telah berputar sebesar 360° bujur. Maka permukaan bumi terdapat 24 jam waktu lokal. Penetapan waktu dimulai dari garis bujur 0° , yaitu kota *Greenwich* di London. Garis bujur timur waktunya lebih awal atau ditambahkan 1 jam setiap kelipatan 15° sedangkan garis bujur barat waktunya lebih lambat atau dikurangi 1 jam setiap kelipatan 15° . Sudut tiap jam matahari menghadap pada bumi/panel surya dengan menggunakan sudut *latitude* dan *longitude*, dan sudut kemiringan atap gedung Stadion Wiradadaha Tasikmalaya.



Gambar 3. 19 Ilustrasi posisi penyimpanan PLTS pada lengkungan atap (Dokumen Pribadi,2021).

Posisi panel surya disimpan menyesuaikan dengan lengkungan atap Stadion Wiradadaha Tasikmalaya sesuai gambar 3.19, dengan jarak tiap panel yang disesuaikan, disamaratakan sehingga presisi dan penyerapan energi panel surya dapat maksimal.



Gambar 3. 20 Ilustrasi penyimpanan panel surya pada lengkungan atap tampak atas di Stadion (Dokumen Pribadi,2021).

Berdasarkan gambar 3.20 merupakan gambar ilustrasi pemodelan PLTS atap pada Stadion Wiradadaha Tasikmalaya, dalam menentukan kemiringan panel surya maka diperlukan perhitungan kemiringan panel surya yang disimpan tiap segmen nya, terbagi menjadi beberapa segmen yang perlu diperhitungkan kemiringan panel nya, yakni segmen A, segmen B, segmen C, dan segmen D.



Gambar 3. 21 Ilustrasi penyimpanan panel surya pada atap datar tampak atas di Stadion (Dokumen Pribadi,2021).

Dalam menguji kelayakan lengkungan atap dalam pemodelan PLTS tentunya dibutuhkan perbandingan apakah nilai konsumsi energi yang dibangkitkan pemodelan PLTS lengkung lebih baik atau tidak dalam menyerap energi. Berdasarkan gambar 3.21 atap dengan model datar menjadi suatu nilai perbandingan untuk pemodean atap lengkung dengan $tilt\ angel = 0^{\circ}$ dengan membandingkan nilai densitas energi model atap datar dengan model atap lengkung di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya.