

Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta

Maitilah, Ikrima Alfi.

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Informasi dan Elektro
Universitas Teknologi Yogyakarta
Jl. Ringroad Utara Jombor Sleman Yogyakarta
E-mail : maitilah31@gmail.com*

ABSTRAK

Pada kehidupan yang semakin berkembang, listrik sudah menjadi hal yang penting untuk menunjang aktivitas kehidupan sehari-hari. Tahun 2015 jumlah penduduk Yogyakarta $\pm 3.720.912$ jiwa dan akan selalu meningkat seiring berjalannya waktu. Peningkatan jumlah penduduk memicu meningkatnya jumlah bangunan dan kebutuhan listrik. Akibat dari peningkatan jumlah listrik mengakibatkan gangguan serta pemadaman bergilir di daerah D.I. Yogyakarta, sehingga, penggunaan energi alternatif atau energi terbarukan merupakan salah satu hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi jumlah penggunaan listrik menggunakan bahan bakar fosil. Sistem PLTS merupakan energi terbarukan yang dapat dikembangkan. Pada penelitian ini dilakukan simulasi dan perhitungan ekonomis untuk PLTS dengan metode Hybrid yaitu PLTS yang terkoneksi dengan jaringan PLN, serta menganalisis perhitungan ekonomi dengan metode perhitungan ROI (Return of Investment). Dari hasil perhitungan dengan menginvestasikan IDR 332.932.000,- maka dapat membuat sebuah PLTS Hybrid dengan menggunakan 27 buah panel surya, 4 buah solar charge controller 60 A, 51 buah baterai VRLA 12 V 200 Ah, dan 1 buah inverter 10 kW, serta rangkaian hybrid yang tersusun dari 2 MCB, 2 kontaktor, 2 timer, dan 1 buah relay AC/DC termasuk kedalam sistem untuk mengkoneksikan PLTS dengan jaringan PLN. Berdasarkan analisis ekonomi Net Value Present (NPV), Profitability Index (PI), dan Payback Period (PP) dari ketiganya menyatakan bahwa PLTS yang telah dirancang layak untuk diterapkan.

Kata Kunci : PLTS, Hybrid, Net Present Value, Profitability Index, Payback Period

1. PENDAHULUAN

Pada kehidupan yang semakin berkembang, listrik sudah menjadi hal yang penting untuk menunjang aktivitas kehidupan sehari-hari. Sebagian besar masyarakat yang hidup di perkotaan sudah ditunjang dengan keberadaan listrik. Terutama di daerah D.I. Yogyakarta yang merupakan kawasan padat penduduk. Menurut, Badan Pusat Statistik Provinsi D.I. Yogyakarta tahun 2015 jumlah penduduknya $\pm 3.720.912$ jiwa dan itu akan meningkat seiring berjalannya waktu. Peningkatan jumlah penduduk tersebut menyebabkan meningkatnya jumlah bangunan di Yogyakarta yang akan membuat kebutuhan listrik juga akan meningkat. Masalah kelistrikan timbul dikarenakan kebutuhan listrik yang meningkat pesat dibandingkan kemampuan dari PT. PLN untuk memenuhi pasokan listrik yang dibutuhkan yang mengakibatkan terjadinya gangguan dan pemadaman bergilir untuk daerah Yogyakarta dan sekitarnya. Energi matahari merupakan salah satu dari penghasil energi alternatif dan hasil data BMKG didapatkan bahwa curah hujan yang terjadi untuk daerah Yogyakarta hanya terdapat 5% selama 5 tahun terakhir yang berarti 95% cuaca di Yogyakarta adalah cerah.

Dari dasar pemikiran diatas saya melakukan penelitian tentang perancangan pembangkit listrik tenaga surya yang terintegrasi dengan jalur PLN.

Sehingga, Perancangan PLTS *hybrid* merupakan salah solusi mengatasi permasalahan diatas. Dengan tujuan mengetahui cara kerja dari PLTS *hybrid* yang dipasang pada Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta. Dan dapat menghitung biaya pembangunan dari PLTS *hybrid* serta output yang dihasilkan dan menganalisis keuntungan jika output tersebut dijual ke pihak PLN.

2. LANDASAN TEORI

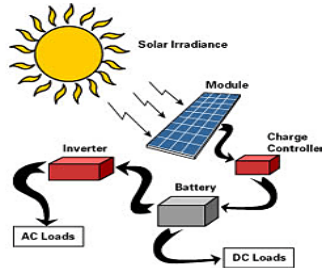
2.1. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

Suatu pembangkit energi listrik yang memanfaatkan energi dari cahaya matahari menuju ke sel surya dapat mengubah suatu radiasi cahaya foton matahari menjadi energi listrik adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) (Anggara, 2014). Unjuk kerja PLTS sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor lingkungan, faktor temperature PV modul, faktor kondisi cuaca lingkungan dan faktor Intensitas cahaya matahari[3].



Gambar 1. Sel Surya yang sudah dipasang ke dalam panel surya

Sel surya terdiri dari beberapa lapisan tipis suatu bahan semikonduktor silikon (Si) murni, dan bahan semikonduktor lainnya. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk menghasilkan energi listrik yaitu membutuhkan listrik DC yang dihasilkan oleh cahaya matahari, selanjutnya terhubung dengan inverter untuk diubah menjadi listrik AC.



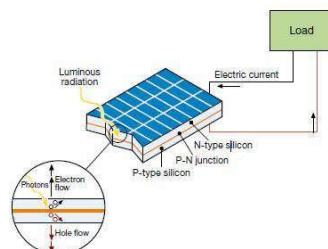
Gambar 2. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

(sumber :

<https://tenagamatahari.wordpress.com/beranda/konsep-kerja-sistem-plts/>)

2.2. Prinsip Kerja Sel Surya (Photovoltaic)

Terjadinya Mekanisme konversi energi cahaya dikarenakan adanya suatu elektron bebas yang berpindahan menuju ke atom. Untuk menghasilkan elektroda bebas maka dipilihlah material semikonduktor yang digunakan pada Sel surya. Padatan logam yang elektron valensinya ditentukan berdasarkan konduktifitas elektriknya merupakan material semikonduktor.



Gambar 3 Susunan Lapisan Solar Cell

(Sumber: ABB QT Vol. 10 P. 8)

Untuk di Indonesia umumnya energi surya yang dapat diserap dan dikonversi kedalam energi listrik berlangsung selama 5 jam, karena itu untuk menghitung berapa kebutuhan modul surya adalah dengan cara membagi angka kebutuhan daya tersebut dengan 5.

$$\text{Kebutuhan Panel Surya} = \frac{ET}{5h}$$

Keterangan :

ET : Energi Total

5h : 5 hours / 5 jam (efektifitas penyerapan sinar matahari).

Sedangkan, jumlah panel surya yang dibutuhkan digunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Panel Surya} = \frac{\text{Kebutuhan Panel Surya}}{\text{Daya Panel Surya yg Digunakan}}$$

2.3. Komponen Komponen Sistem PLTS

a. Sel Surya(Photovoltaics)

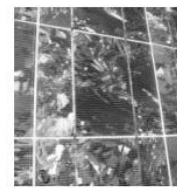
Sel surya merupakan komponen penting dalam konversi energi cahaya matahari menjadi energi

listrik yang pada umumnya dibuat dari bahan semikonduktor seperti *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Tiap jenis sel surya mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Tipe *monocrystalline* mempunyai efisiensi yang sangat tinggi sekitar 16-17 % bahkan ada yang memiliki efisiensi hingga 20%. Tipe *polycrystalline* mempunyai efisiensi yang lebih rendah dan dimensi yang lebih besar jika dibandingkan dengan tipe *monocrystalline*. Akan tetapi tipe ini dapat menghasilkan energi listrik dalam keadaan cuaca berawan dan mempunyai harga yang lebih murah sehingga banyak dipakai di pasaran (Muhammad Fahmi Hakim, 2017).



(a) *monocrystalline*



(b) *polycrystalline*

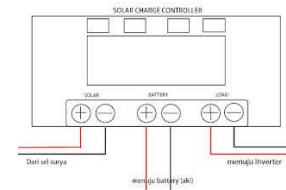
Gambar 4. Panel surya tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline*

(Sumber: Jetri, Volume 11, Nomor 2, Februari 2014, Halaman 61 - 78, ISSN 1412-0372)

b. Solar Charge Controller

Solar Charge Controller (SSC) merupakan salah satu komponen PLTS yang berguna untuk setting arus listrik (*current regulator*) yang masuk dari panel PV maupun arus beban keluar/digunakan dan berfungsi untuk melindungi baterai dari pengisian yang berlebihan (*over charge*), dan dari panel surya ke baterai dapat di atur tegangan serta arusnya sesuai kebutuhan.

Solar charge controller (SCC) yang dapat mendeteksi kapasitas baterai merupakan SCC yang baik untuk digunakan. Jika suatu baterai sudah terisi penuh, maka arus yang mengisi otomatis dari panel surya akan berhenti. Melalui monitor level tegangan baterai pada SCC dapat mendeteksi hal tersebut.



Gambar 5. Posisi solar charge controller dalam sistem

(Sumber: <https://www.kelistrikanku.com/2017/01/cara-memasangkan-panel-surya-PLTS.html>)

Untuk menghitung SCC (*Solar Charge Controller*), maka yang perlu kalian perhatikan ialah karakteristik dan spesifikasi dari solar panel yang kalian gunakan. Hal utama yang perlu kalian perhatikan ialah I_{sc} (*Short Circuit Current*) nilainya akan dikalikan dengan jumlah panel, sehingga hasilnya merupakan nilai minimal dari *Solar Charge Controller* yang diperlukan.

$$\text{Daya SCC} = \text{Jumlah Panel} \times I_{sc}$$

Keterangan :

I_{sc} : *Short Circuit Current* (terdapat pada spesifikasi panel surya).

Untuk mendapatkan jumlah dari SCC (*Solar Charge Controller*) yang digunakan hasil dari perhitungan diatas dibagikan dengan jumlah maksimal input dari *Solar Charge Controller*.

c. Baterai

Untuk menghitung kebutuhan kapasitas baterai yang diperlukan untuk mensuplai beban yang dibutuhkan ialah dengan mengalikan total daya yang digunakan dengan hari otonom, atau hari-hari dimana matahari tidak muncul dikarenakan cuaca mendung, sehingga PV sistem tidak bisa mengkonversi daya matahari adalah selama 3 hari, karenanya kebutuhan daya per hari harus dikalikan dengan 3. Dan juga yang perlu diperhatikan selain hari otonom ialah DoD (*Deep of Discharge*), efisiensi bateraidan tegangan yang digunakan.

$$\text{Kapasitas Battery} = \frac{\text{Total Daya} \times 3}{\text{DoD} \times 0.6 \times V}$$

Keterangan :

DoD = *Deep of Discharge* pada baterai 85%

0.6 = Efisiensi baterai

V = Tegangan yang digunakan baterai

d. Inverter

Inverter adalah suatu komponen PLTS yang memiliki sistem kontrol dapat merubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan solar modul menjadi listrik arus bolak-balik (AC) dan juga sebagai pengkondisi tenaga listrik (*power condition*), nantinya kualitas daya listrik yang dari inverter menuju beban atau jaringan listrik akan diatur berapa daya yang dikeluarkan dalam kebutuhan tersebut.

YIY®



Gambar 6. Pure Sine Wave Solar Inverter YIY 10000W

2.4. MCB (*Mini Circuit Breaker*)

MCB adalah *Mini Circuit Breaker* yang memiliki fungsi sebagai pengaman arus lebih. MCB ini memproteksi arus lebih yang disebabkan terjadinya beban lebih dan arus lebih karena adanya hubungan pendek. Dengan demikian prinsip dasar bekerjanya yaitu untuk pemutusan hubungan yang disebabkan beban lebih dengan relai arus lebih seketika digunakan elektromagnet.

Prinsip kerja MCB berdasarkan pada pemuaiian atau pemutusan dua jenis logam yang koefisien jenisnya berbeda. Kedua jenis logam tersebut dilas jadi satu keping (bimetal) dan dihubungkan dengan kawat arus. Jika arus yang melalui bimetal tersebut melebihi arus nominal yang diperkenankan maka bimetal tersebut akan melengkung dan memutuskan aliran listrik.



Gambar 7. Mini Circuit Breaker

2.5. Relay

Relay merupakan komponen listrik yang bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik untuk menyambung atau memutuskan hubungan suatu jalur listrik. Umumnya, di dalam satu relay terdapat dua kontak, *normally close* (NC) dan *normally open* (NO). Kedua kontak tersebut berhubungan dengan common. Maksud dari tipe *normally close* adalah kontak antara common dengan NC tersambung ketika relay tidak dialiri listrik. Sedangkan pada *normally open*, kontak antara common dan NO tidak tersambung ketika relay tidak dialiri arus (Owen Bishop, 2004).

Pada prinsip dasar cara kerjanya, relay dapat bekerja karena adanya medan magnet yang digunakan untuk menggerakkan saklar. Saat kumparan diberikan tegangan sebesar tegangan kerja relay maka akan timbul medan magnet pada kumparan karena adanya arus yang mengalir pada lilitan kawat. Kumparan yang bersifat elektromagnetik ini kemudian akan menarik saklar dari kontak NC ke kontak NO. Jika tegangan pada kumparan dimatikan maka medan magnet pada kumparan akan hilang sehingga pegas akan menarik saklar kontak NC (Frank D. Pertuzella, 1996).



Gambar 8. Relay

2.6. Kontaktor

Kontaktor adalah jenis saklar yang bekerja secara magnetik yaitu kontak bekerja apabila kumparan diberi energi dengan memanfaatkan energi listrik menjadi elektromagnetik. Kontaktor hanya bekerja dengan mengubah NO (*normaly open*) menjadi NC (*normaly close*) atau sebaliknya dari NC menjadi NO dengan memanfaatkan gaya tarik elektromagnetik. Pada *The National Manufacture Assosiation* (NEMA) mendefinisikan kontaktor magnetis sebagai alat yang digerakan secara magnetis untuk menyambung dan membuka rangkaian daya listrik.



Gambar 9. Kontaktor

Prinsip kerja Sebuah kontaktor terdiri dari koil, beberapa kontak *Normally Open* (NO) dan beberapa *Normally Close* (NC). Pada saat satu kontaktor normal, NO akan membuka dan pada saat kontaktor bekerja, NO akan menutup. Sedangkan kontak NC sebaliknya yaitu ketika dalam keadaan normal kontak NC akan menutup dan dalam keadaan bekerja kontak NC akan membuka.

2.7. Timer

TDR (*Time Delay Relay*)/Timer adalah suatu piranti yang menggunakan elektromagnet untuk mengoperasikan seperangkat kontak saklar sering disebut juga relay timer atau relay penunda batas waktu banyak digunakan dalam instalasi motor terutama instalasi yang membutuhkan pengaturan waktu secara otomatis. Fungsi dari sebuah timer adalah sebagai pengatur waktu bagi peralatan yang dikendalikannya. Timer ini dimaksudkan untuk mengatur waktu hidup atau mati dari kontaktor atau untuk merubah sistem bintang ke segitiga dalam delay waktu tertentu. Dan juga, timer dapat dibedakan dari cara kerjanya yaitu timer yang bekerja menggunakan induksi motor dan menggunakan rangkaian elektronik.



Gambar 10. Timer

2.8. Aspek Biaya

a. Biaya Investasi PLTS

Biaya investasi awal PLTS *Hybrid* pada Gedung asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta mencakup biaya-biaya seperti : biaya umum, biaya pekerjaan mekanikal dan elektrikal. Biaya-biaya tersebut merupakan nilai kontrak untuk pembangunan PLTS Hybrid pada Gedung asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta.

b. Biaya Pemeliharaan dan Operasional PLTS

Diperhitungkan bahwa sebesar 1 - 2% dari total biaya investasi awalnya untuk suatu biaya pemeliharaan dan operasional per-tahun untuk PLTS, (Jais, 2012). Pada penelitian ini menurut sumber tersebut, akan ditetapkan sebesar 1% dari total investasi awal, besarnya suatu persentase tersebut untuk digunakan per-tahun yang mencakup biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan dan instalasi lalu untuk pekerjaan pembersihan panel surya. Selain hal tersebut presentase 1% juga didasarkan bahwa tenaga kerja di Indonesia lebih murah tingkat upahnya dibandingkan Negara maju yang tingkat upahnya lebih tinggi. Untuk mengetahui biaya

pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan maka dapat dilihat sebagai berikut [8]:

$$O\&M = 1\% \times S$$

Sedangkan, nilai pada saat ini dari biaya operasional dan pemeliharaan jika diasumsikan bahwa umur PLTS sebesar n dan tingkat suku Bunga sebesar i. Maka, rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$O\&Mp = O\&M \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Keterangan:

O&M : Hasil Biaya pemeliharaan dan operasional PLTS /tahun

O&Mp : Hasil Biaya pemeliharaan dan operasional PLTS /n

1% : Biaya pemeliharaan dan operasional per- tahun

S : Biaya Investasi Awal

n : Umur PLTS

i : Tingkat suku bunga

c. Biaya Siklus Hidup

Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*) merupakan suatu perkiraan berapa total biaya yang dibutuhkan dalam membeli komponen dan membangun sebuah PLTS, biaya yang dibutuhkan tersebut mencakup total biaya investasi awal, dan biaya pemeliharaan dan operasional sesuai dengan berapa lama waktu yang ditentukan (tahun) dan total investasi tersebut dapat kita ketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut [6]:

$$LCC (Life Cycle Cost) = S + O\&Mp$$

Keterangan :

LCC (*Life Cycle Cost*) : Total Investasi

S : Investasi Awal

d. Faktor Diskonto

Faktor diskonto (*Discount factor*) adalah faktor yang digunakan untuk menilai sekarang penerimaan-penerimaan di masa mendatang sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran pada masa sekarang. Adapun rumus faktor diskonto adalah sebagai berikut :

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n}$$

Keterangan :

DF = Faktor Diskonto

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur inverstasi)

e. Faktor Pemulihan Modal (*Capital Recovery Factor*)

Perhitungan biaya energi suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan PLTS. Faktor pemulihan modal diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

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

dengan n adalah periode (umur) proyek.

Sedangkan perumusan biaya energi sudah ditetapkan oleh Peraturan Menteri ESDM No.17 Tahun 2013 yang berisi tentang pembelian energi listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang dibeli oleh PLN, menjelaskan bahwa harga US\$ 30 sen/kWh.

2.9. Analisis Kelayakan Investasi

Kelayakan investasi PLTS ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Payback Period* (PP).

a. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas dasar faktor diskon (*discount factor*). Untuk menghitung *Net Present Value* (NPV) dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1-i)^t} - S$$

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut :

- 1) Investasi dinilai layak, apabila NPV bernilai positif (> 0).
- 2) Investasi dinilai tidak layak, apabila NPV bernilai negatif (< 0).

b. Profitability Index (PI)

Profitability Index merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Teknik ini juga sering disebut dengan model rasio manfaat biaya (*benefit cost ratio*). Teknik *Profitability Index* dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NCF_t - (1+i)^{-t}}{S}$$

Atau

$$PI = PV_{Penerimaan} : PV_{Pengeluaran}$$

Keterangan :

- NCF_t : Net Cash Flow periode tahun ke-1 sd ke- n
 S : Biaya Investasi Awal
 n : Umur PLTS
 i : Tingkat suku bunga

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut :

- 1) Investasi dinilai layak, apabila PI bernilai lebih besar dari satu (> 1).
- 2) Investasi dinilai tidak layak, apabila PI bernilai lebih kecil dari satu (< 1).

c. Discounted Payback Periode

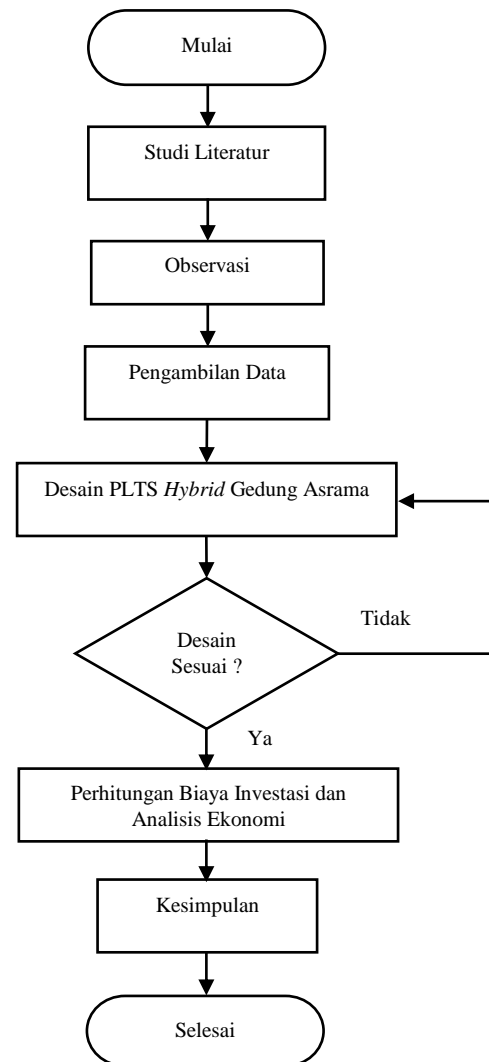
Penggunaan *payback period* dalam menghitung efektivitas investasi tetap memiliki batasan. *Payback period* tidak menghitung keuntungan yang didapatkan setelah *payback*

period serta memiliki keterbatasan dalam membandingkan dua proyek. Maka dalam hal ini untuk mengetahui ROI (*Return On Investment*) dapat dihitung dengan metode *PayBack Period* dengan rumus sebagai berikut [8]:

$$Payback\ Period = \frac{\text{Jumlah Investasi}}{\text{Aliran Kas Bersih}}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ini dilakukan berdasarkan beberapa tahap tertentu. Alur pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

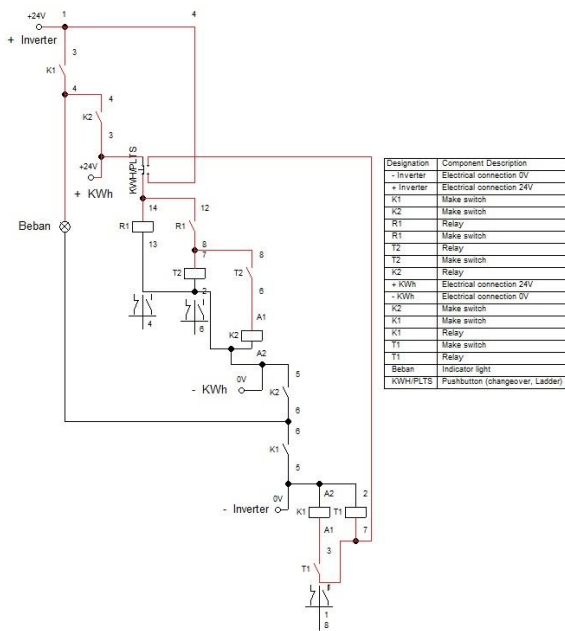


Gambar 11. Diagram Alir Penelitian

4. PERANCANGAN

4.1. Desain Rangkaian dari PLTS Hybrid

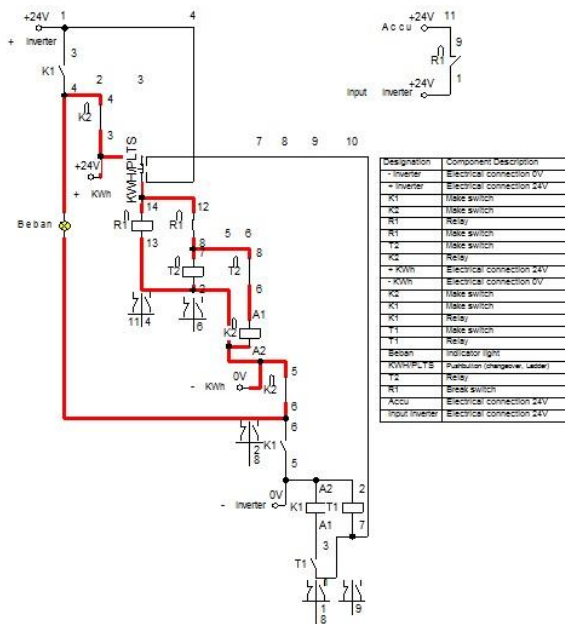
Adapun skema instalasi dari rangkaian yang akan digunakan untuk pemasangan pada Gedung Asrama Sa-Ija'an Yogyakarta adalah sebagai berikut:



Gambar 12. Skema Instalasi pada Gedung Asrama Sa-Ija'an Yogyakarta

Adapun prinsip kerja dari rangkaian rancang bangun pembangkit listrik tenaga surya ini adalah sebagai berikut:

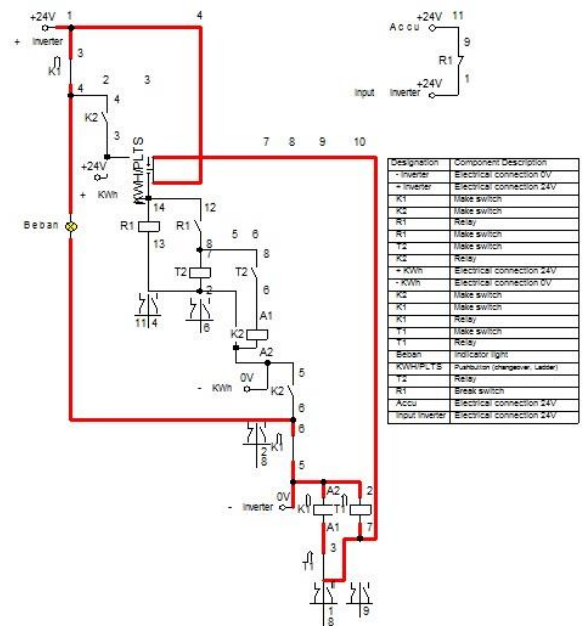
1. Pada saat PLN dalam keadaan menyala R1 bekerja, maka anak kontak R1 menutup(AC) dan membuka(DC). Kemudian arus mengalir ke T2 menyebabkan anak kontak T2 menjadi NC. Dan arus PLN akan diteruskan oleh K2 dan anak kontak K2 yang berubah dari NO menjadi NC. Sehingga lampu pada beban akan menyala.



Gambar 13. Rangkaian Arus Pada Jalur PLN

2. Pada saat PLN padam, maka R1, T2, dan K2 akan berhenti bekerja disebabkan karena tidak ada arus yang masuk dan anak akan kembali normal. Sehingga anak kontak R1 pada DC menutup menyebabkan inverter menyala dan menyuplai arus

listrik yang membuat K1 dan T1 bekerja. Karena, K1 dan T1 bekerja maka masing-masing anak kontak yang sebelumnya NO menjadi NC. Sehingga lampu pada beban akan menyala.



Gambar 14 Rangkaian Arus Pada Jalur PLTS

3. Rangkaian ini saling mengunci satu sama lain, sehingga tidak akan bekerja secara bersamaan walaupun dalam keadaan stand by.

5. ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis Biaya PLTS

5.1.1 Menghitung Beban Pada Gedung Asrama Sa-Ija'an Yogyakarta

Pada Gedung Asrama Sa-Ija'an terdapat beban daya yang harus di dicukupi oleh pembangkit listrik tenaga surya. Berikut ini adalah tabel beban dari Gedung Asrama Sa-Ija'an Yogyakarta.

Tabel 1. Tabel Penggunaan Beban pada Gd. Asrama Sa-Ija'an Yogyakarta

No.	Nama Benda	Jumlah	Watt	Waktu	Total Beban
1.	Lampu Lt. 1	18	3	12	648
2.	Kulkas	1	150	24	3600
3.	Pompa Air	1	572	3	1716
4.	Lampu Lt. 2	19	3	12	684
5.	TV LED	1	35	3	105
6.	Laptop	18	60	4	4320
7.	Kipas Angin	18	45	12	9720
Total Penggunaan Beban Dalam 1 Hari					20793

Jadi, total beban per hari yang harus dipenuhi oleh PLTS ialah sebesar 20793 Watt = 20,793 kWh /hari. Dikarenakan pada PV modul akan selalu ada daya yang hilang dan besarnya pun tergantung pada jenis dan kualitas dari modul tersebut sehingga total beban per hari dikalikan dengan 1,3. Maka

didapatkan total output yang harus di penuhi oleh PLTS.

$$20,793 \times 1,3 = 27,0309 \text{ kWh /hari}$$

5.1.2. Menghitung Kebutuhan Modul Surya

Di Indonesia umunya energi surya yang dapat diserap dan dikonversi ke dalam energi listrik berlangsung selama 5 jam, karena itu untuk menghitung beban kebutuhan modul surya adalah dengan cara membagi angka kebutuhan daya tersebut dengan 5 yang merupakan efektifitas penyerapan sinar matahari.

$$27,0309 \text{ kWh} = 27030,9 \text{ Watt} : 5 = 5406,18 \text{ Wp}$$

Misalnya panel surya yang akan digunakan berukuran 200 Wp, maka kebutuhan modul surya adalah dengan membagi nilai kebutuhan Wattpeak dengan daya dari panel surya tersebut.

$$5406,18 : 200 \text{ Wp} = 27,0309$$

Jadi, modul surya yang dibutuhkan dengan daya 200 Wp adalah sebanyak 27 modul surya. Apabila digunakan ukuran modul surya dengan ukuran daya yang berbeda maka, faktor pembagiannya menyesuaikan dengan besaran *wattpeak* dari modul surya.

5.1.3. Kebutuhan Baterai

Kebutuhan battery harus juga mempertimbangkan hari otonomi, atau hari-hari dimana matahari tidak terbit dikarenakan cuaca, biasanya diperhitungkan agar sistem tetap aktif walaupun cuaca mendung, sehingga PV system tidak bisa mengkonversi daya matahari adalah selama 3 hari, karenanya kebutuhan daya per hari harus dikalikan dengan 3. Disamping itu juga harus diperhatikan faktor efisiensi battery dan pada saat pemakaian battery tidak boleh dipakai sampai semua daya habis.

Baterai VRLA biasanya di desain dengan rentang usia desain dari 3 hingga 10 tahun. Baterai yang tahan lama umumnya lebih mahal karena bertambah ketebalan plat atau bahan yang lebih mahal. (PowerTHRU, 2019)

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Battery} &= (\text{Total Daya} \times 3) : (0,85 \times 0,6 \times 12) \\ &= (20793 \times 3) : (0,85 \times 0,6 \times 12) \\ &= 10192 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Apabila baterai yang digunakan berkapasitas 200 Ah 12 V, maka jumlah baterai yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$\text{Jumlah Baterai} = 10192 : 200 = 50,96$$

5.1.4. Menghitung Kebutuhan SCC

Untuk menghitung *Solar Charge Controller*, maka kita harus mengetahui dulu karakteristik dan spesifikasi dari solar panel yang digunakan. Berikut

ini tabel spesifikasi dari solar panel 200 Wp yang digunakan.

Tabel 2. Tabel Spesifikasi Panel Surya 200 Wp Polycrystalline

Spesifikasi	Keterangan
Max. Power (P _{Max})	200 Wp
Max. Power Voltage (V _{mp})	26.9 V
Max. Power Current (I _{mp})	7.43 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	32.3 V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.33 A
Nominal Operating Cell Temp. (NOCT)	45±2 °C
Max. System Voltage	1000 V
Max. Series Fuse	16 A
Weight	15.45 Kg
Dimension	1482 x 992 x 35 mm

Yang harus diperhatikan adalah angka I_{sc} (*Short Circuit Current*), nilainya dikalikan dengan jumlah panel surya, dan hasilnya merupakai nilai berapa nilai minimal dari *Solar Charge Controller* yang dibutuhkan.

$$\text{Daya SCC} = 27 \times 8.33 \text{ A} = 224.91 \text{ A} : 60 \text{ A} = 3.7$$

Dari perhitungan maka dibutuhkan *Solar Charge Controller* sebanyak 6 buah dengan minimal 60 A.

5.1.5. Biaya Investasi Awal PLTS

Yang termasuk ke dalam biaya investasi PLTS pada Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta adalah biaya komponen sistem PLTS. PLTS yang direncanakan pada Gd. Asrama Sa-Ija'an ialah sistem *Hybrid*. Dengan demikian, komponen yang melengkapi sistem PLTS ini terdiri dari panel surya, *solar charge controller*, baterai, inverter, kontaktor, relay, timer, MCB, dan box panel.

Tabel 3. Biaya Investasi PLTS Gd. Asrama Sa-Ija'an Yogyakarta

No.	Komponen	Jumlah	Harga Satuan	Total Harga
1.	Panel Surya	27	IDR 2,200,000,-	IDR 59,400,000,-
2.	<i>Solar Charge Controller</i>	4	IDR 6,750,000,-	IDR 27,000,000,-
3.	Baterai	51	IDR 4,412,000,-	IDR 225,012,000,-
4.	Inverter	1	IDR 20,000,000,-	IDR 20,000,000,-
5.	Kontaktur	2	IDR 100,000,-	IDR 200,000,-
6.	Timer	2	IDR 375,000,-	IDR 375,000,-
7.	Relay	1	IDR 35,000,-	IDR 35,000,-
8.	MCB	2	IDR 35,000,-	IDR 70,000,-
9.	Box Panel	1	IDR 840,000,-	IDR 840,000,-
Total Investasi Awal				IDR 332,932,000,-

5.1.6. Perhitungan Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Besar biaya operasional dan pemeliharaan PLTS pada Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Hal ini mengacu pada operasional dan pemeliharaan PLTS umumnya 1 – 2% dari total biaya investasi. Biaya operasional dan pemeliharaan sebesar 1% diambil dengan memperhitungkan sistem PLTS untuk Gedung Asrama Mahasiswa

yang terdiri dari komponen panel surya, *solar charge controller*, inverter, dan baterai sehingga memerlukan biaya yang relatif kecil.

Untuk itu, biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) tahunan PLTS Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta diperhitungkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} O\&M &= 1\% \times S \\ &= 1\% \times \text{IDR } 332,932,000,- \\ &= \text{IDR } 3,329,320,- \end{aligned}$$

Sedangkan nilai saat ini dari biaya operasional dan pemeliharaan jika diasumsikan bahwa umur PLTS adalah 10 tahun dan tingkat suku bunga sebesar 0.5%, sehingga diperhitungkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} O\&Mp &= O\&M \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \\ &= \text{IDR } 3,329,320 \cdot \frac{(1+0.005)^{10} - 1}{0.005(1+0.005)^{10}} \\ &= \text{IDR } 26,343,970.881,- \end{aligned}$$

5.1.7. Menghitung Biaya Siklus Hidup

Biaya siklus hidup adalah semua biaya yang dikeluarkan selama umur proyek yang dinilai sekarang. Dalam kasus ini, biaya siklus hidup adalah mencakup biaya investasi awal (S). dan biaya jangka panjang untuk operasional dan pemeliharaan (O&M_p).

Berdasarkan besar investasi awal dan biaya operasional dan pemeliharaan jangka panjang yang sudah di ketahui, maka untuk biaya siklus hidup PLTS Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} LCC \text{ (Life Cycle Cost)} &= S + O\&M_p \\ &= \text{IDR } 332,932,000,- + \text{IDR } \\ &26,343,970.881,- \\ &= \text{IDR } 359,275,970.881,- \end{aligned}$$

5.1.8. Menghitung Faktor Pemulihan Modal

Faktor pemulihan modal adalah faktor yang dipergunakan untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (S) menjadi serangkaian pembayaran atau biaya tahunan dengan jumlah yang sama. Berikut perhitungan untuk mengetahui factor pemulihan modal, dengan persamaan:

$$\begin{aligned} CRF &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\ CRF &= \frac{0.005(1+0.005)^{10}}{(1+0.005)^{10} - 1} \\ &= 0.102 \end{aligned}$$

5.2. Analisis Kelayakan Investasi PLTS Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an.

Analisis kelayakan investasi dilakukan untuk menentukan apakah suatu proyek layak untuk dijalankan atau tidak. Pada penelitian ini,

digunakan 3 metode perhitungan untuk menentukan kelayakan investasi dari sistem PLTS pada bangunan komersial ini. Metode tersebut adalah *Net Present Value (NPV)*, *Profitability Index (PI)*, dan *Payback Period*. Hasil perhitungan terhadap analisis kelayakan investasi penelitian ini adalah sebagai berikut.

5.2.1. Aspek Ekonomis

Untuk melihat kelayakan dari investasi proyek rancangan sistem PLTS, maka penting untuk melihat dari alur kas proyek. Setiap alur kas dibuat dengan proyeksi perhitungan pendapatan dan biaya yang terjadi selama 20 tahun (berdasarkan perkiraan umur komponen sistem PLTS) dengan penggunaan suku bunga 0,5 %.

Arus kas keluar yaitu biaya yang dikeluarkan untuk operasional dan pemeliharaan setiap tahunnya. Pada PLTS Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an, arus kas keluar untuk pemeliharaan dan operasional yaitu sebesar IDR 3,329,320,- / tahun. Sedangkan arus kas masuk PLTS diperhitungkan dengan mengalikan kWh produksi selama setahun dengan biaya energy per kWh. Perhitungan kas masuk PLTS dan kas keluar adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kas Keluar PLTS} &= O\&M \\ &= \text{IDR } 3,329,320,- / \text{thn} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kas Masuk PLTS} &= \text{kWh} \times \text{US\$ } 30 \text{ sen} \\ &= 9866 \text{ kWh} / \text{thn} \times \text{IDR } 4316.7,- \\ &= \text{IDR } 42,588,562,- / \text{tahun.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus Kas Bersih PLTS} &= \text{Kas Masuk} - \text{Kas Keluar} \\ &= \text{IDR } 42,588,562 - \text{IDR } 3,329,320 \\ &= \text{IDR } 39,259,242.00,- \end{aligned}$$

Keterangan :

US\$ 30 sen = IDR 4316.7,-

(Kurs Dollar (US\$) => Rupiah (IDR) pada tanggal 27 Mei 2019 adalah US\$ 1 = IDR 14,389,-)

Berikut adalah alur kas dari sistem PLTS yang direncanakan pada Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta.

Tabel 4. Pengolahan Alur Kas PLTS Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta

Tahun Ke-	Arus Kas Bersih	DF	NCF	Kumulatif NCF
1	IDR 39,259,242.00	0.999	IDR 39,219,982.76	IDR 39,219,982.00
2	IDR 39,259,242.00	0.998	IDR 39,180,723.52	IDR 78,400,705.52
3	IDR 39,259,242.00	0.997	IDR 39,141,464.27	IDR 117,542,169.79
4	IDR 39,259,242.00	0.996	IDR 39,102,205.03	IDR 156,644,374.82
5	IDR 39,259,242.00	0.995	IDR 39,062,945.79	IDR 195,707,320.61
6	IDR 39,259,242.00	0.994	IDR 39,023,686.55	IDR 234,731,007.16
7	IDR 39,259,242.00	0.993	IDR 38,984,427.31	IDR 273,715,434.47
8	IDR 39,259,242.00	0.992	IDR 38,945,168.06	IDR 312,660,602.53
9	IDR 39,259,242.00	0.991	IDR 38,905,908.82	IDR 351,566,511.35
10	IDR 39,259,242.00	0.990	IDR 38,866,649.58	IDR 390,433,160.93

5.2.2. Analisis Ekonomis Dengan Metode *Net Present Value (NPV)*

Analisis dengan metode *net present value (NPV)* menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas *factor diskonto (DF)*. Teknik ini menghitung selisih antara seluruh kas

bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Dengan total nilai sekarang arus kas bersih yang merupakan hasil perkalian antara arus kas bersih dengan faktor diskonto (DF) adalah sebesar IDR 390,433,160.93,- dan biaya investasi awal sebesar IDR 332,932,000,-

Perhitungan analisis kelayakan dengan metode ini yaitu:

$$\begin{aligned} NPV &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1-i)^t} - S \\ &= \text{IDR } 390,433,160.93 - \text{IDR } 332,932,000 \\ &= \text{IDR } 57,501,160.93,- \end{aligned}$$

Dengan NPV bernilai positif (NPV > 0), maka rancangan PLTS ini layak untuk diterapkan.

5.2.3. Analisis Ekonomis Dengan Metode Profitability Index (PI)

Metode ini membandingkan antara total kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Total nilai sekarang arus kas bersih yaitu sebesar IDR 390,433,160.93 dan biaya investasi awal sebesar IDR 332,932,000,-. Maka besar *profitability index* diperhitungkan dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} PI &= \text{PV Penerimaan} : \text{PV Pengeluaran} \\ &= \text{IDR } 390,433,160.93 : \text{IDR } 332,932,000 \\ &= 1.1727 \end{aligned}$$

5.2.4. Analisis Ekonomis Dengan Metode Discounted Payback Period (PP)

Dari tabel 5.4 diketahui bahwa pada tahun ke-8, total nilai arus kas bersih dinilai sekarang akan menyamai nilai investasi awal dengan membutuhkan sebesar IDR 20,271,397,-. Pada tahun ke-9, nilai sekarang arus kas bersih yaitu sebesar IDR 18,634,511.35,- sehingga pada tahun ke-8 bulan ke-3, total nilai arus kas bersih dinilai sekarang akan mampu menutupi biaya investasi awal.

Dalam jangka waktu 8 tahun 3 bulan, investasi awal dari PLTS sudah bisa tergantikan. Maka berdasarkan hal diatas PLTS Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta layak untuk diterapkan karena masa pengembalian modal investasi sesuai dengan umur proyek yaitu selama 10 tahun.

6. PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa didapatkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Design pada sistem rancangan Gedung Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta menggunakan sistem Hybrid dimana PLTS terkoneksi dengan jaringan PLN sehingga untuk membuat PLTS membutuhkan 27 buah panel surya, 4 buah solar charge controller 60 A, 51 buah baterai VRLA 12 V 200 Ah, dan 1 buah inverter 10 kW. Serta untuk membuat

rangkaian yang berfungsi untuk mengkoneksikan ke jaringan PLN dibutuhkan 2 buah MCB, 2 buah kontaktor, 2 buah timer, dan 1 buah relay AC/DC .

2. Biaya yang dibutuhkan untuk membangun sebuah sistem PLTS Hybrid pada Gedung Asrama Sa-Ija'an Yogyakarta adalah sebesar IDR 332,932,000,- . Jika dilihat dari nilai ekonomisnya maka PLTS ini layak untuk dibangun dikarenakan nilai NPV (*Net Present Value*) yang bernilai positif (NPV > 0) dan PI (*Profitability Index*) yang bernilai positif (PI > 1).
3. Output daya listrik pada PLTS Hybrid ini adalah sebesar 9866 kWh /tahun. Pada saat daya tersebut dijual kepada pihak PLN dengan mengacu Peraturan Menteri ESDM No. 17 Tahun 2013 yang berisi tentang pembelian energi listrik dari PLTS yang dibeli oleh PLN, menjelaskan bahwa harga US\$ 30 sen /kWh. Sehingga dengan umur proyek 10 tahun, maka pada tahun ke 8 bulan ke 3 investasi awal sudah bisa tergantikan dengan metode perhitungan *Discounted Payback Period* (PP).

6.2. Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan dalam tugas akhir ini ialah sebagai berikut :

1. Pembahasan lebih rinci mengenai aspek-aspek lainnya (contohnya aspek pasar, lingkungan, dan lainnya) yang bisa menjadikan rancangan sistem PLTS bisa menjadi sangat layak untuk diimplementasikan.
2. Pembahasan untuk melihat tingkat kelayakan dari implementasi sistem PLTS ditempat lain selain di Gd. Asrama Mahasiswa Sa-Ija'an Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al Fama, N. J., & Setiabudy, R. (2018). *Analisis Tekno Ekonomi Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid Pada Sistem Kelistrikan Biak Papua*. Seminar Nasional Teknologi (pp. 501-510). Jakarta: Universitas Indonesia.
- [2] Arfianto, F. (2018). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Diatap Parkiran Motor Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [3] Asy'ari, H., Jatmiko, & Angga. (2012). *Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- [4] Hasan, H. (2012). *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pulau Saugi*. Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK).
- [5] Naim, M., & Wardoyo, S. (2017). *Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS On Grid 1500 Watt dengan Back Up Battery di Desa Timampu Kecamatan Towuti*. *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 11-18.
- [6] Putra, V. S. (2015). *Analisa Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 15 Kw Di Dusun Asah Teben Desa Datar Karangasem*. Bali: Universitas Udayana.
- [7] R.K Akikur, R. H. (2013). "Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification." journal homepage: www.elsevier.com/locate/autcon.
- [8] S.G., R. C. (2016). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti*. Seminar Nasional Cendekiawan.
- [9] Wijaya, I. F. (2017). *Studi Kelayakan Penggunaan Sel Surya Dengan Sistem Off-Grid Pondok Pesantren Sidrotul Muntaha*. Surakarta: Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Surakarta.