



Jurnal Politeknik Caltex Riau

<https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/elementer/>

| e- ISSN : 2460-5263 (Online) | p- ISSN : 2443-4163 (Print) |

Analisis Dan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Kebutuhan Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning

Hamzah Eteruddin¹, Josua Sitompul², Masnur Putra Halilintar³

¹Universitas Lancang Kuning, Program Studi Teknik Elektro, email: hamzah@unilak.ac.id

²Universitas Lancang Kuning, Program Studi Teknik Elektro, email: sitompuljosua16@gmail.com

³Universitas Lancang Kuning, Program Studi Teknik Elektro, email: masnur@unilak.ac.id

[1] Abstrak

Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning merupakan pelanggan PT. PLN, dengan daya terpasang 66.000 VA, dimana konsumsi energi listrik yang dibutuhkan sangat besar untuk menunjang kegiatan dosen, karyawan dan mahasiswa dalam menjalani perkuliahan maupun pelayanan kepada mahasiswa. Berdasarkan hasil pengukuran saat beban puncak pada fakultas Teknik sebesar 39.8 kW. Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning dalam hal ini harus mengeluarkan biaya ekstra untuk pembayaran tagihan konsumsi energi listrik kepada PT. PLN. Penelitian ini bertujuan untuk untuk mengurangi biaya yang diakibatkan konsumsi energi pada fakultas Teknik, penelitian ini menawarkan solusi dengan perancangan pembangkit listrik tenaga surya Rooftop on-grid system, dengan menganalisis aspek teknis dan ekonomi. Dari hasil perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya menghasilkan 47150.99 kWh setiap tahunnya dengan kapasitas PLTS 39.6 kWp. Biaya invertase awal yang dikeluarkan sebesar Rp 701,275,608.00, dengan pemasukan pertahun sebesar Rp 71,859,217.71. Dengan nilai NPV bernilai positif yaitu sebesar Rp 184,302,726.36, dan Simple Payback (SP) selama 16.2 tahun selama umur proyek 25 tahun. Berdasarkan produksi energi listrik yang dihasilkan, Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning dapat menghemat biaya penggunaan sumber energi listrik PLN dengan jumlah rata-rata Rp 42,435,889.45 /tahun atau Rp 3,536,324.12 /bulan.

Kata kunci: hotovoltaic, Rooftop, on-grid system

[2] Abstract

The Faculty of Engineering at Lancang Kuning University is a client of PT. PLN, with an installed power of 66,000 VA, where electrical energy consumption is quite high to support the activities of lecturers, staff, and students during lectures and student services. Based on the measurement results when the peak load at the Faculty of Engineering is 39.8 kW, the Faculty of Engineering has a peak load of 39.8 kW. In this instance, the Lancang Kuning University Faculty of Engineering must pay additional fees to PT. PLN for the payment of energy consumption bills. This study intends to lower the expenses associated with the Faculty of Engineering's energy usage; it proposes a solution by building a rooftop solar power plant on-grid system and examining its technical and economic implications. Based on the design of the solar power plant system, it generates 47150.99 kWh annually at a PLTS capacity of 39.6 kWp. Initial investment

expenses was Rp. 701,275,608, with yearly income of Rp. 71,859,217.71. With an NPV of Rp 184,302,726.36 and a Simple Payback (SP) of 16.2 years during the project's 25-year lifespan. Based on the generation of electrical energy, the Faculty of Engineering at Lancang Kuning University may save an average of Rp. 42,435,889.45 / year or Rp. 3,536,324.12 / month on the cost of utilising PLN's electrical energy sources.

Keywords: Photovoltaic, Rooftop, on-grid system

1. Pendahuluan

Pada zaman moderen ini tenaga listrik sangat dibutuhkan untuk menunjang segala aktifitas yang dilakukan sehari-hari, hampir semua aktifitas membutuhkan tenaga listrik. Energi listrik tergolong dalam suatu permasalahan yang selalu dihadapi seluruh negara-negara yang berkembang. Energi listrik tergolong dalam suatu kebutuhan primer bagi manusia. Pertumbuhan jumlah penduduk yang sangat pesat menyebabkan pemakaian sumber energi listrik terus mengalami peningkatan. Krisis akan ketersediaan sumber energi fosil menjadi suatu kekhawatiran bagi seluruh negara [1]–[3].

Indonesia salah satu negara yang sedang berkembang, permasalahan akan ketersediaan energi listrik selalu dihadapi. PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara) adalah penyedia energi listrik di Indonesia. Berdasarkan undang-undang No.15 tahun 1985, pemerintah memberikan wewenang sepenuhnya kepada PT. PLN guna meningkatkan kemampuan untuk dapat memenuhi kebutuhan konsumsi energi listrik secara merata [3]. Sebagian besar sumber energi penghasil listrik di Indonesia mengandalkan dari ketersediaan energi fosil seperti batubara, gas alam dan minyak bumi, dengan menipisnya ketersediaan energi tersebut pemanfaatan sumber energi alternatif harus ditingkatkan. Kekhawatiran akan berkurangnya ketersediaan sumber energi fosil yang semakin lama semakin menipis menjadi suatu dorongan terhadap bangkitnya pemberdayaan penggunaan energi terbarukan [1], [2], [4].

Dengan ketersediaan yang cukup melimpah sumber energi listrik yang terbarukan merupakan energi alternatif yang perlu dikembangkan. Telah banyak yang dilakukan pemerintah agar penggunaan energi listrik mulai berpindah kepada sumber yang terbarukan, seperti energi matahari, energi angin, energi air dan sebagainya. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu sumber energi alternatif. Pada zaman modern yang penuh dengan perkembangan teknologi, solar cell adalah salah satu pembangkit listrik alternatif di masa mendatang [5]–[7]. Sumber cahaya matahari merupakan bahan baku utama solar cell, yang akan di konversikan menjadi sumber energi listrik melalui media solar cell.

Konsumsi akan energi listrik saat ini sangat tinggi, baik untuk perindustrian, sosial, perkantoran, pusat perdagangan, pusat pendidikan maupun masyarakat umum dan lain sebagainya. Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning merupakan pelanggan PT. PLN, dengan daya terpasang 66.000 VA, dimana konsumsi energi listrik yang dibutuhkan sangat besar untuk menunjang kegiatan dosen, karyawan dan mahasiswa dalam kegiatan perkuliahan maupun pelayanan kepada mahasiswa. Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning dalam hal ini harus mengeluarkan biaya yang sangat besar untuk pembayaran tagihan konsumsi energi listrik kepada PT. PLN. Berdasarkan latar belakang diatas menjadi inisiatif penulis untuk melakukan Analisis dan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Kebutuhan Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning.

2. Metode Penelitian

Modul Photovoltaic (PV) sering juga disebut solar cell atau sel surya, karena sumber energi berasal dari cahaya matahari yang dikonversikan menjadi energi listrik. Industri energi surya telah

berkembang terus menerus hanya dalam dua dekade dan saat ini memasarkan lebih dari 2 miliar Euro setiap tahun dalam produk. Photovoltaic adalah perkawinan dari dua kata Yunani 'Photo', yang artinya cahaya, dan 'voltaic', diambil dari nama Alessandro Volta, seorang polopor dalam pengkajian mengenai listrik. Sehingga photovoltaic dapat berarti listrik-cahaya yang berarti listrik. Energi listrik memegang peran besar oleh manusia karena setiap aktivitas sehari-hari sangat membutuhkan energi listrik untuk kebutuhan pribadi, komersial dan juga industri. Energi listrik adalah energi yang dihasilkan oleh muatan listrik sehingga menyebabkan medan listrik statis.

Dalam perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya perlu dilakukan kalkulasi kebutuhan kapasitas PV berdasarkan beban pemakai. Untuk menghitung jumlah modul PV yang dibutuhkan [8]–[10].

$$N_{PV} = \frac{E_{L,m}}{P_{PV}} \quad (1)$$

Keterangan :

NPV = Number of photovoltaic generators

EL,m = Energy required by the load

PPV = Power of photovoltaic

2.1 Inverter

Perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya grid-connected jenis inverter dan modul PV yang dipilih harus diperhitungkan. Untuk mendapatkan daya keluaran (output) yang optimal pada PV array harus disesuaikan dengan inverter. Langkah-langkah berikut ini digunakan untuk menentukan ukuran array [11]–[13].

a. Menghitung jumlah PV terhadap power rating inverter.

Ketika mencocokkan kumpulan PV ke inverter perhitungan daya dilakukan untuk menemukan jumlah maksimum modul diperbolehkan dalam sistem, dengan inverter dan modul yang dipilih. Untuk mengetahui jumlah PV terhadap power rating inverter [8], [9].

$$N_{PV} = \frac{P_{max\,inverters}}{P_{PV}} \quad (2)$$

Keterangan :

NPV = Number of photovoltaic generators

Emax inverters = Maximum power inverter

PPV = Power of photovoltaic

b. Menghitung jumlah modul dalam string.

Modul PV mempunyai tegangan rendah di cuaca hangat. Kumpulan modul harus dirancang sehingga tegangan modul pada suhu operasi tertinggi tidak turun di bawah tegangan MPP minimum pada inverter. Jumlah maksimum modul dihitung dengan suhu terendah ketika tegangan VOC modul berada pada titik tertinggi. Perhitungan untuk VOC tidak diukur untuk modul PV selama musim dingin atau musim panas, nilai STC karena itu digunakan bersama dengan faktor Tolerance 5% untuk menghitung tegangan yang lebih tinggi. Untuk menghitung tegangan maximum [8].

$$V_{max} = V_{mpp} \times 0.95 \quad (3)$$

Jumlah maksimum modul dihitung Persamaan 2.4 dengan membagi tegangan inverter dengan Voc modul [8].

$$N_{PV} = \frac{V_{max}}{V_{oc}} \quad (4)$$

Keterangan :

V_{max} = Maximum admissible input voltage inverters

V_{mpp} = Voltage at maximum power point

V_{OC} = Open circuit voltage

2.2 Analisis Finansial

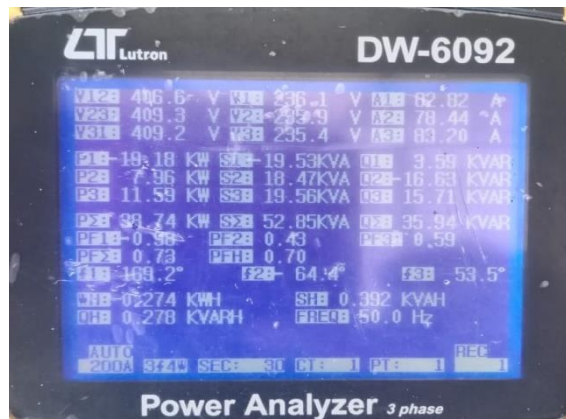
Aspek biaya dalam perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya yaitu dengan perhitungan Life Cycle Cost (LCC) yang mana terdiri dari perhitungan biaya investasi awal, biaya operasional dan biaya perawatan [14], [15]. Diantaranya adalah Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) [16], Life Cycle Cost Analysis (LCCA) [17], [18]. Sementara Cash Flow Analysis yang terdiri dari Cash Flow Benefit ($CFB = \sum_{t=0}^n Cost$), dan Cash Flow Cost ($CFC = \sum_{j=0}^n invest$) [17], [19]. Sedangkan untuk menentukan layak atau tidaknya perlu dilakukan analisis terhadap Net Present Value ($NPV = \sum_{j=0}^n CFB - CFC$) dan Simple Payback ($k = \frac{C}{S}$) [20]. Dimana CFB = Cash Flow Benefit, XFC = Cash Flow Cost, k= Periode pengembalian dana, C= Biaya modal awal bersih, S= Uang masuk

3. Hasil dan Pembahasan

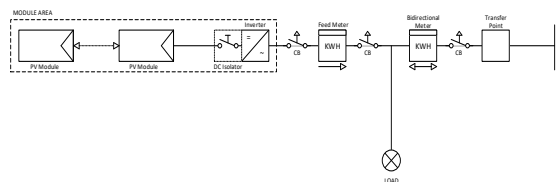
Penelitian dilakukan pada Gedung Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning sebagaimana terlihat pada Gambar 3. Pada Gedung ini terdapat tiga jurusan yaitu Arsitektur, Teknik Sipil dan Teknik Elektro, yang telah menghasilkan lebih dari 1300 alumni yang bekerja pada berbagai dinas instansi baik negeri maupun swasta. Sumber energi listrik yang diterima dari PT. PLN dengan daya terpasang 66.000 VA dengan beban puncak hasil pengukuran pada tanggal 25 Oktober 2020 sebesar 39,8 kW sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Sementara desain single line diagram (SLD) adalah seperti Gambar 5. Berdasarkan data dari google earth, lokasi penelitian berada pada titik kordinat 0.5774 Lintang Utara dan 101.423401 Bujur Timur.



Gambar 3 Lokasi Penelitian



Gambar 4 Hasil Pengukuran Beban 25 Oktober 2020



Gambar 5 Single Line Diagram Desain PLTS

Penggunaan sumber energi listrik untuk kebutuhan Fakultas Teknik berdasarkan hasil pengukuran seperti pada Gambar 4 saat beban puncak sebesar 39.8 kW = 39,800 W, maka jumlah modul PV yang dibutuhkan untuk pembangunan sistem pembangkit listrik tenaga surya dapat diketahui. Maka jumlah modul yang dibutuhkan

$$N_{PV} = \frac{E_{L,m}}{P_{PV}} = \frac{39,800}{330} = 120.60 \text{ Modul}$$

Dari hasil perhitungan diketahui jumlah modul PV untuk memenuhi kebutuhan penggunaan energi listrik pada Fakultas Teknik sebanyak 120.60 modul.

Pada penelitian ini jenis *inverter* yang digunakan adalah PVI-10.0-TL-OUTD 11.00 kVA yang diproduksi oleh perusahaan ABB dengan efisiensi 97%. Untuk spesifikasi inverter yang digunakan berdasarkan brosur distributor seperti pada Tabel 3.1.

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah modul PV yang dibutuhkan sebanyak 120.60 modul PV. Dengan penganan *inverter* PVI-10.0-TL-OUTD sangatlah tidak mungkin dapan menampung keseluruhan modul yang telah di rencanakan. Jika tegangan modul PV melebihi tegangan input maksimum yang diizinkan oleh *inverter*, hal ini akan mengakibatkan kerusakan pada *inverter*. Maka perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui jumlah maksimal modul PV yang dapat digunakan pada *inverter*.

Dalam menentukan jumlah modul PV berdasarkan *power rating inverter* maka harus dilakukan perhitungan. *Inverter* yang digunakan adalah PVI-10.0-TL-OUTD dengan *DC Power Rating* sebesar 10.2 kW. Untuk mengetahui jumlah maksimum modul PV pada *inverter*.

$$N_{PV} = \frac{P_{max\,inverters}}{P_{PV}} = \frac{110,000}{330} = 33.33$$

Dari hasil perhitungan diketahui jumlah maksimum modul PV yang bisa dihubungkan dengan *Inverter*, berdasarkan *power rating inverter* sebanyak 33.33 modul. Maka dapat disimpulkan pemakai *inverter* pada desain system pembangkit listrik tenaga surya untuk kebutuhan Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning untuk menampung 120.60 modul PV memerlukan 4 buah *Inverter*.

3.1 Menghitung Jumlah Modul Dalam String

Inverter PVI-10.0-TL-OUTD memiliki 2 *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Untuk mengetahui berapa jumlah *string* disetiap MPPT maka perlu dilakukan perhitungan. Untuk jumlah kapasitas modul PV dihitung dengan menggunakan factor keamanan tegangan V_{OC} modul pada MPPT sebesar 5%. Pada *inverter* PVI-10.0-TL-OUTD tegangan maksimum MPPT sebesar 750 V. Maka nilai tegangan yang digunakan dapat diketahui menggunakan Persamaan 2.3.

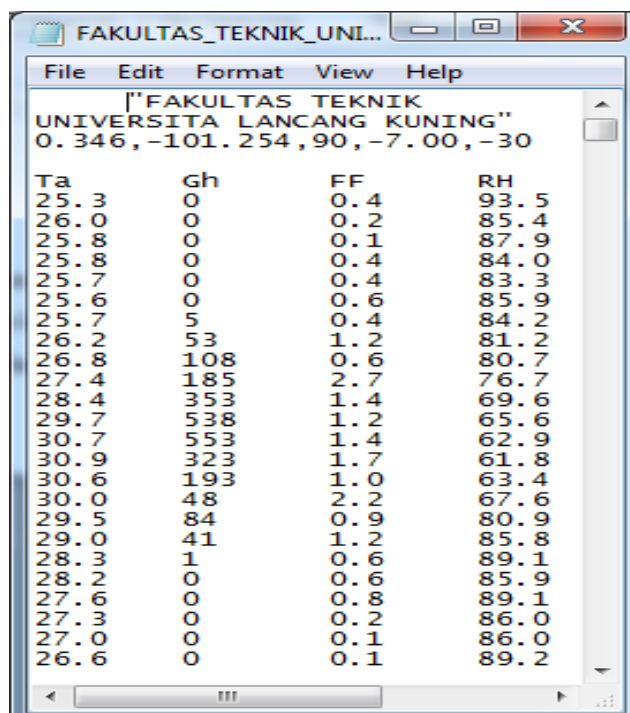
$$V_{max} = V_{MPPT} \times 0,95 = 750 \text{ V} \times 0,95 = 712,5 \text{ V}$$

jumlah maksimum modul dihitung dengan membagi tegangan maksimum yang telah dikurangi 5% dari factor keamanan tegangan V_{oc} modul pada MPPT. Untuk mengetahui jumlah maksimum yang dapat digunakan MPPT dalam *string*.

$$NPV = \frac{V_{Max}}{V_{OC}} = \frac{712,5V}{43,9V} = 16,23 \text{ Modul}$$

3.2 Menghitung Produksi Energi Listrik

Dari hasil simulasi menggunakan aplikasi *Meteonorm* nilai temperatur sekitar (T_a), nilai radiasi global (G_h), kecepatan angin (FF) dan kelembaban udara (RH) dengan 8000 lebih baris data yang memuat data perjam selama periode satu tahun. Gambar 7 merupakan data dari aplikasi *Meteonorm* yang berupa *notepad*.



Ta	Gh	FF	RH
25.3	0	0.4	93.5
26.0	0	0.2	85.4
25.8	0	0.1	87.9
25.8	0	0.4	84.0
25.7	0	0.4	83.3
25.6	0	0.6	85.9
25.7	5	0.4	84.2
26.2	53	1.2	81.2
26.8	108	0.6	80.7
27.4	185	2.7	76.7
28.4	353	1.4	69.6
29.7	538	1.2	65.6
30.7	553	1.4	62.9
30.9	323	1.7	61.8
30.6	193	1.0	63.4
30.0	48	2.2	67.6
29.5	84	0.9	80.9
29.0	41	1.2	85.8
28.3	1	0.6	89.1
28.2	0	0.6	85.9
27.6	0	0.8	89.1
27.3	0	0.2	86.0
27.0	0	0.1	86.0
26.6	0	0.1	89.2

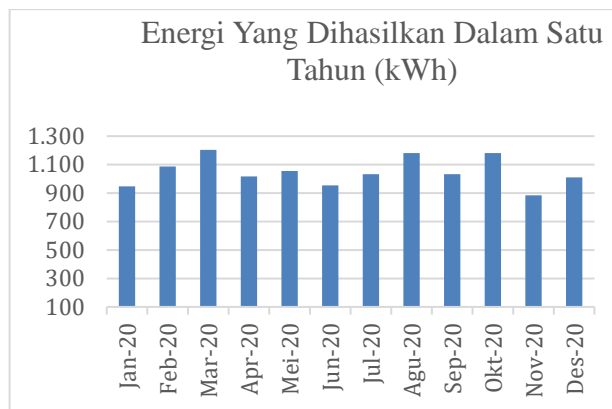
Gambar 7 Hasil Program Data *Meteonorm*

Tabel 1 Global Radiation Monthly

Month	Ta	Gh	FF	RH
	°C	kWh/m ²	m/s	
Jan-20	26.1	121	1.3	85.3
Feb-20	27.5	137	1.4	81.3
Mar-20	28.1	154	1.2	83.6
Apr-20	27.9	130	1.0	85.3
May-20	28.2	134	1.1	85.1
Jun-20	27.4	122	1.4	85.0
Jul-20	27.1	132	1.4	84.0
Aug-20	27.8	151	1.4	81.5
Sep-20	26.9	132	1.3	85.4
Oct-20	27.4	151	1.1	83.5
Nov-20	26.8	113	1.1	87.5
Dec-20	27.0	128	1.5	84.4

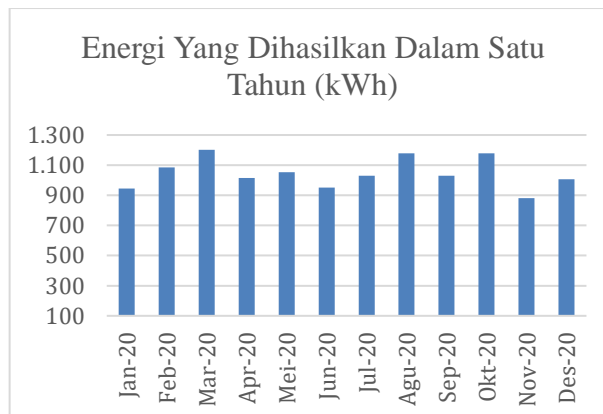
3.3 Kalkulasi Hasil Produksi Energi Listrik

a. Gedung 1 A Orientasi Timur



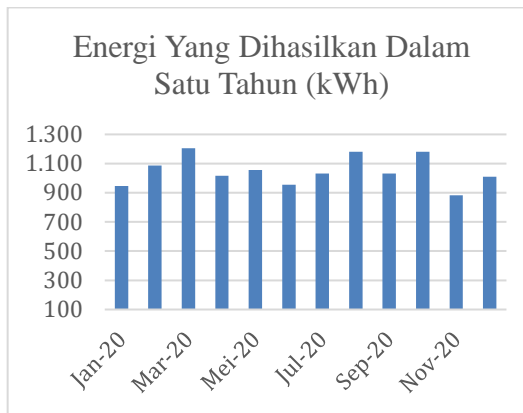
Gambar 8 Gedung 1 A Orientasi Timur

b. Gedung 1 B Orientasi Barat



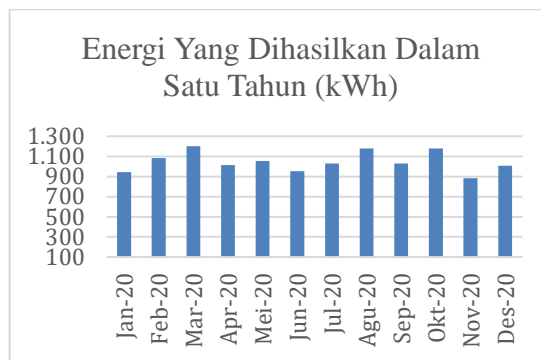
Gambar 9 Gedung 1 B Orientasi Barat

c. Gedung 2 A Orientasi Timur



Gambar 10 Gedung 2 A Orientasi Timur

d. Gedung 2 B Orientasi Barat



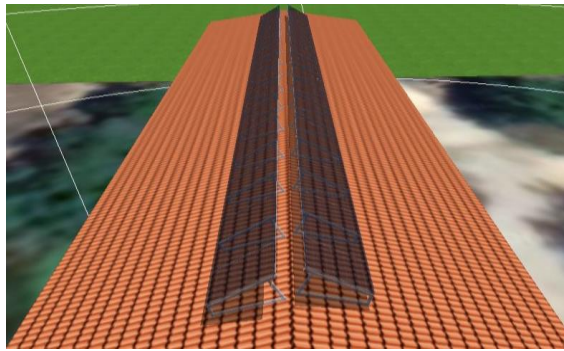
Gambar 11 Gedung 2 B Orientasi Barat

3.4 Peletakan Modul PV

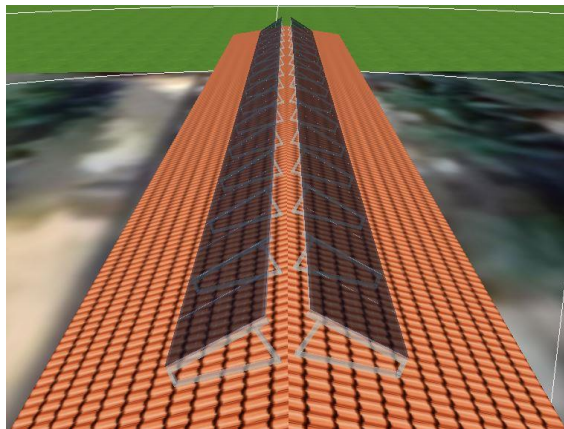
4.



Gambar 12 Peletakan Modul PV



Gambar 13 Modul Mounting Gedung 1



Gambar 14 Modul Mounting Gedung 2

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dan simulasi pembangkit listrik tenaga surya untuk kebutuhan Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning, adapun tapan analisis yang dilakukan yaitu analisis ekonomi dan analisis teknis. Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pembahasan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Kapasitas daya PV pada perencanaan ini sebesar sebesar 39.6 kWp, menggunakan 120 modul PV dengan kapasitas permodul 330Wp. Untuk penggunaan inverter berjumlah 4 unit.
2. Inverter yang digunakan adalah PVI-10.0-TL-OUTD. Inverter tersebut memiliki 2 *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), kapasitas modul dalam *string* pada MPPT adalah 15 modul dengan dihubung seri, setiap inverter menggunakan 30 modul PV dengan kapasitas daya 9900 Wp.
3. Hasil simulasi untuk sistem pembangkit listrik tenaga surya *On-Grid System*, produksi listrik yang dihasilkan selama umur sistem 25 tahun sebesar 1,178,774.70 kWh dengan rata-rata 47150.99 kWh/tahun.
4. Hasil analisis ekonomi, investasi pada sistem sebesar Rp 701,275,608.00, dengan pemasukan pertahun sebesar Rp 71,859,217.71. Penjualan listrik hasil produksi PLTS menghasilkan nilai NPV bernilai positif yaitu sebesar Rp 184,302,726.36, dan *Simple Payback* (SP) selama 16.2 tahun selama umur proyek 25 tahun.
5. Berdasarkan produksi energi listrik yang dihasilkan, Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning dapat menghemat biaya penggunaan sumber energi listrik PLN dengan jumlah rata-rata Rp 42,435,889.45 /tahun atau Rp 3,536,324.12 /bulan.

4.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka dapat diajukan beberapa saran agar penelitian ini bermanfaat dan dapat dilakukan penelitian lebih lanjut di masa yang akan datang.

Beberapa saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Disarankan dalam perancangan PLTS. Lakukan analisis mendalam terhadap potensi dari lokasi tempat pemasangan PLTS. Pastikan terlebih dahulu tingkat radiasi yang terpapar ke modul PV cukup memadai.
2. Pastikan spesifikasi komponen-komponen PLTS yang digunakan sudah sesuai dengan kebutuhan. Karena menggunakan komponen dengan spesifikasi dibawah rating. Akan menurunkan waktu pakai peralatan. Sebaliknya, untuk spesifikasi diatas rating berdampak pada nilai ekonomis PLTS.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. D. Riva *et al.*, *Riau Regional Energy Outlook 2019*. Jakarta: Kalaka, 2021.
- [2] N. E. C. (DEN), "Outlook Energy Indonesia 2019," Jakarta, 2019.
- [3] Menteri ESDM RI, *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030*. Indonesia, 2021.
- [4] Y. Z. Arief, S. S. A. Sa-Or, N. Mubarakah, M. H. I. Saad, and H. Eteruddin, "Model of Grid-Connected PV System in Sarawak, Malaysia Rural Area," in *2020 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, 2020, pp. 250–259.
- [5] H. Eteruddin, D. Setiawan, Atmam, and B. Nasution, "Solar home system with diversified roofing construction," *Univers. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 5, pp. 351–358, 2019.
- [6] H. Eteruddin, D. Setiawan, and Y. Z. Arief, "Effects of The Temperature on The Output Voltage of Mono-Crystalline and Poly-Crystalline Solar Panels," *Sinergi*, vol. 24, no. 1, pp. 73–80, 2020.
- [7] H. Eteruddin, D. Setiawan, and A. Atmam, "Web Based Raspberry Monitoring System Solar Energy Power Plant," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 469, no. 1, 2020.
- [8] D. Rekioua and E. Matagne, *Optimization of Photovoltaic Power Systems, Modelization, Simulation and Control*. London: Springer, 2012.
- [9] J. C. Solano, L. Olivieri, and E. Caamaño-Martín, "Assessing the potential of PV hybrid systems to cover HVAC loads in a grid-connected residential building through intelligent control," *Appl. Energy*, vol. 206, pp. 249–266, 2017.
- [10] A. A. Elbaset and M. S. Hassan, *Design and power quality improvement of photovoltaic power system*. Cham: Springer International Publishing, 2016.
- [11] Global Sustainable Energy Solutions, *Grid Connected PV Systems Design and Installation*. GSES, 2013.

- [12] M. A. Omar and M. M. Mahmoud, "Improvement Approach for Matching PV-array and Inverter of Grid Connected PV Systems Verified by a Case Study," *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 10, no. 4, pp. 687–697, Nov. 2021.
- [13] A. Sangwongwanich, Y. Yang, D. Sera, F. Blaabjerg, and D. Zhou, "On the Impacts of PV Array Sizing on the Inverter Reliability and Lifetime," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 54, no. 4, pp. 3656–3667, 2018.
- [14] A. Gandiar, Junaidi, and A. Hendro, "Analisis Penentuan Tarif Harga Listrik PLTS Layak untuk Pulau Kabung Bengkayang Kalimantan Barat," *Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2015.
- [15] R. Hendarti, "Life Cycle Cost Comparison Study of PV and Concrete Rooftop in Jakarta," *Int. J. Photoenergy*, vol. 2018, p. 9514260, 2018.
- [16] J. Kelly and S. Male, *Value Management in Design and Construction : The Economic Management of Project*, 1st ed. London: Routledge, 1992.
- [17] T. S. Ong and C. H. Thum, "Net Present Value and Payback Period for Building Integrated Photovoltaic Projects in Malaysia," *Int. J. Acad. Res. Bus. Soc. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 2222–6990, 2013.
- [18] N. Ranganath and D. Sarkar, "Life Cycle Costing Analysis of Solar Photo Voltaic Generation System in Indian Scenario," *Int. J. Sustain. Eng.*, vol. 14, no. 6, pp. 1698–1713, Nov. 2021.
- [19] T. D. H. Jury, *Cash Flow Analysis and Forecasting*. West Sussex: John Wiley & Sons, 2012.
- [20] M. Giatman, *Ekonomi Teknik*, 1st ed. Jakarta: Raja Grafindo Persada, 2006.