

PERANCANGAN PLTS ATAP PADA GEDUNG KANTOR BUPATI TAPANULI UTARA DENGAN ARSITEKTUR RUMAH ADAT BATAK TOBA

Irwan Octopianus Silaban¹, I Nyoman Satya Kumara², I Nyoman Setiawan³

¹²³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email : octopianus@student.unud.ac.id¹, ins_kumara@yahoo.com²,
setiawan@unud.ac.id³

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah teknologi untuk mengubah tenaga cahaya matahari menjadi tenaga listrik. RUEN menyatakan potensi listrik surya di Indonesia diperkirakan sebesar 208 GW dan telah ditetapkan bahwa target kapasitas PLTS nasional pada tahun 2025 adalah sebesar 6,5 GW dan terus meningkat menjadi 45 GW pada tahun 2050. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mencapai target tersebut adalah dengan memanfaatkan gedung pemerintah sebagai tempat pemasangan PLTS. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui berapa potensi energi listrik yang dihasilkan pada PLTS atap kantor Bupati Tapanuli Utara yang memiliki kemiringan atap 52,7^o. Didapatkan bahwa PLTS kantor Bupati Tapanuli Utara berpotensi menghasilkan daya listrik 39,6 kWp. Simulasi HOMER menghasilkan data energi yang dihasilkan sistem PV sebesar 45.646 kWh dalam satu tahun dan memiliki peran mensuplai energi listrik hingga 52,9 %. Jadi total dari sistem PV dengan *Grid* energi listrik yang disuplai ke beban sebesar 86.233 kWh/tahun.

Kata kunci : PLTS, *Grid*, modul surya, *inverter*

ABSTRACT

Solar Power Plant (PLTS) is a technology to convert solar energy into electricity. RUEN states that the potential for solar electricity in Indonesia is estimated at 207.89 GW and it has been determined that the national PLTS capacity target in 2025 is 6.5 GW and continues to increase to 45 GW in 2050. One of the efforts that can be made to achieve this target is to use government buildings as a place to install PLTS. This study was conducted to find out how much potential electrical energy is generated on the rooftop PLTS of the North Tapanuli Regent's office which has a roof slope of 52.70. It was found that the PLTS of the North Tapanuli Regent's office has the potential to generate 39.6 kWp of electrical power. The simulation shows the energy data produced by the PV system is 45,646 kWh in one year and has a role in supplying electrical energy up to 52.9%. So the total of the PV system with Grid electrical energy supplied to the load is 86,233 kWh/year.

Key Words : PLTS, *Grid*, solar module, *inverter*

1. PENDAHULUAN

Potensi tenaga surya di Indonesia dalam RUEN diperkirakan mencapai 208 GW sehingga tenaga surya merupakan salah satu sumber energi penting dalam perkembangan energi di masa depan. RUEN menargetkan bahwa Indonesia akan membangun PLTS dengan kapasitas 6.500 MW tahun 2025 dan meningkat menjadi 45.000 MW pada tahun 2050. Sedangkan, pemanfaatan PLTS secara nasional sampai

tahun 2017 menurut Kementerian ESDM baru mencapai 80 MW [1].

Berdasarkan RUEN tahun 2017, Provinsi Sumatera Utara memiliki potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebesar 11.851 MW. Dimana target kapasitas PLTS yang terpasang mencapai 224,1 MW pada tahun 2025. Pemerintah provinsi Sumatera Utara juga sedang menyusun draf RUED-P sebagai dasar bagi pengembangan energi di Sumatera Utara. Berdasarkan draf RUED-P, untuk mencapai target tersebut, salah satu strategi

pemanfaatan Solar PV antara lain memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 30% dari luas atap untuk seluruh bangunan pemerintah daerah dan memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 25% dari luas atap bangunan rumah mewah, kompleks perumahan, apartemen, kompleks melalui izin mendirikan bangunan. Dalam RUED-P Sumut juga dijelaskan tentang potensi pemanfaatan PLTS di atap gedung kantor pemerintah Sumut. Total potensi dari ke-30 gedung kantor yang diukur ini sebesar 5.820,7 kWp dengan nilai rata-rata potensi dari 30 gedung tersebut adalah 194,02 kWp [2].

Kabupaten Tapanuli Utara adalah satu dari 25 kabupaten Utara yang pada BPS Taput 2017 memiliki jumlah penduduk 297,806 jiwa dan luas wilayah 3.793,71 km². Diharapkan kabupaten ini memiliki peran yang sangat besar dalam pembangunan PLTS *rooftop*. Melalui penelitian perancangan PLTS atap kantor Bupati ini, diharapkan dapat diketahui berapa besar energi yang dapat diproduksi PLTS yang dipasang di atap gedung kantor Tapanuli Utara serta persentase energi yang dapat disuplai oleh PLTS. Desain PLTS akan disimulasikan dengan *software* HelioScope untuk mengetahui *output* energi yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu Pemerintah Kabupaten Tapanuli Utara untuk memahami potensi daerah dalam ikut berkontribusi dalam pembangunan EBT dan khususnya PLTS *rooftop*.

2. KAJIAN PUSTAKA

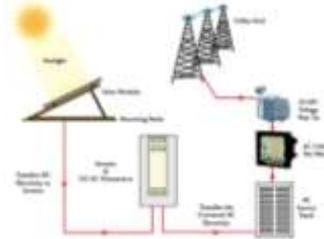
A. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sistem PLTS dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis. Berdasarkan aplikasi dan konfigurasi, menurut (*Florida Solar Energy Center, 2011*) secara umum PLTS dapat dibagi menjadi dua, yaitu sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (*on-grid PV system*) dan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (*off-grid PV system*) atau PLTS yang berdiri sendiri (*stand-alone*) [3]. PLTS *stand-alone* ini selain dapat beroperasi secara mandiri, juga dapat ditunjang oleh sumber daya lain seperti tenaga angin, generator set, maupun tenaga air serta tenaga mikrohidro yang disebut sebagai sistem PLTS *hybrid*. Berdasarkan lokasi pemasangannya,

sistem PLTS dapat dibagi menjadi dua yaitu sistem PLTS pola tersebar (*distributed PV system*) dan sistem PLTS pola terpusat (*centralized PV system*).

B. PLTS On-Grid

PLTS *On Grid* atau yang disebut sebagai *Grid Connected PV System* merupakan penerapan dari solusi *Green Energy* untuk penduduk perkotaan, industri, atau di daerah perkantoran sekalipun. Sistem PLTS ini menggunakan modul surya *photovoltaic module*, yang mana jaringan listrik ini menggunakan sistem transfer dengan jaringan PLN atau sumber AC.



Gambar 1. PLTS On-Grid [4]

Sebagaimana yang dimaksud *on grid*, maka sistem PLTS *On grid* tetap terhubung dengan jaringan listrik PLN agar mendapatkan listrik yang maksimal sesuai pengkondisian pada cuaca ataupun keperluan yang digunakan di dalam rumah itu sendiri. Pada waktu tertentu, seperti diwaktu siang yang rata-rata intensitas cahaya matahari sangat tinggi maka pada panel surya mendapatkan energi yang cukup baik dari sinar matahari, sehingga *photovoltaic array* akan mengkonversi panas dan sinar matahari pada waktu tertentu untuk menghasilkan energi listrik. Sehingga listrik yang dihasilkan oleh PV Array menjadi energi listrik DC yang mana listrik DC ini akan diubah dulu menjadi listrik AC dengan melalui alat yang bernama *Grid Inverter* untuk diubah menjadi AC sehingga dari listrik AC ini dapat digunakan untuk berbagai macam beban yang ada di rumah seperti kulkas, AC, dan peralatan elektronik lainnya. Apabila pada momentum tertentu PV Array menghasilkan energi yang berlebih maka sistem transfer energi dapat diterapkan di sistem *on grid* ini, menuju Listrik PLN, untuk dijual sesuai kesepakatan sistem transfer energi yang telah disepakati.

C. Komponen Sistem PLTS

1. Modul Surya

Modul surya adalah komponen utama dalam sistem *Photovoltaic* (PV) yang

mengubah sinar matahari menjadi listrik. Listrik yang dihasilkan adalah DC. Kapasitas daya modul surya diukur dalam satuan *Watt- peak* (Wp) yang merupakan spesifikasi modul surya yang menyatakan besarnya daya yang bisa dihasilkan oleh modul surya pada saat insolasi surya atau radiasi surya yang datang dan diterima sebesar 1000 W/m² dengan kondisi suhu lingkungan 25^o C. Daya dan arus listrik yang dihasilkan modul surya berubah-ubah bergantung pada besar intensitas radiasi surya yang diterima. Daya keluaran modul surya juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan, bayangan, sudut kemiringan instalasi, dan kebersihan permukaan panel surya.



Gambar 2. Modul Surya [5]

2. Inverter

Inverter merupakan peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan frekuensi 50/60 Hz. Pada PLTS, *inverter* satu *phase* biasanya digunakan untuk sistem dengan beban yang kecil sedangkan untuk *inverter* tiga *phase* digunakan untuk sistem dengan beban yang besar maupun sistem yang terhubung dengan jaringan PLN (*grid-connected*). Agar gelombang yang dihasilkan berbentuk sinusoidal, teknik yang digunakan adalah *pulse width modulation* (PWM). Teknik PWM ini memungkinkan suatu pengaturan untuk menghasilkan frekuensi yang baik sesuai dengan nilai rms dari bentuk gelombang keluaran

D. Perhitungan Inklinasi dan Orientasi Modul Surya

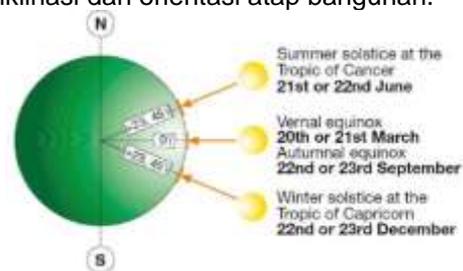
Efisiensi terbesar panel surya tercapai jika sudut datang sinar matahari selalu 90^o. Sesungguhnya datangnya sinar matahari bervariasi menurut garis lintang serta deklinasi matahari sepanjang tahun. Karena kemiringan sumbu rotasi bumi sekitar 23,45^o terhadap bidang orbit bumi

terhadap matahari, tempat terbit dan terbenamnya matahari selalu bervariasi setiap harinya. Matahari berada di posisi sudut 90^o terhadap permukaan bumi yaitu pada garis khatulistiwa. Untuk mengetahui ketinggian maksimum (dalam derajat) ketika matahari mencapai langit (α), secara mudah menggunakan persamaan berikut [6]:

$$\alpha = 90^{\circ} - \text{lat} + \delta \text{ (N hemisphere); } 90^{\circ} + \text{lat} - \delta \text{ (Shemisphere)} \quad (1)$$

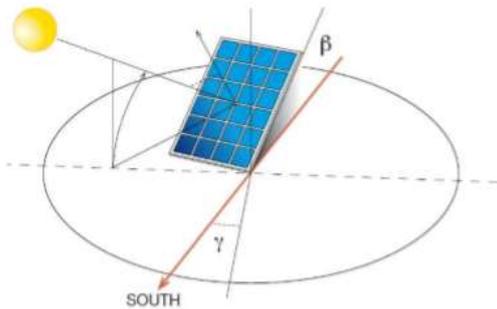
Dimana: Lat adalah garis lintang (*latitude*) lokasi instalasi panel surya terpasang (dalam satuan derajat)
 δ adalah sudut dari deklinasi matahari (23,45^o)

Orientasi panel surya bisa ditunjukkan dengan sudut *azimuth* (γ) penyimpangan terhadap arah Selatan (untuk lokasi di belahan bumi Utara) atau arah Utara (untuk lokasi di belahan bumi Selatan). *Azimuth* adalah besar sudut antara Utara magnetis (nol derajat) dengan titik atau sasaran dituju. Nilai sudut *azimuth* positif menunjukkan orientasi ke Barat, sedangkan nilai *azimuth* negatif menunjukkan orientasi ke Timur. Ketika panel dipasang pada atap bangunan, arah panel ditentukan oleh inklinasi dan orientasi atap bangunan.



Gambar 3. Gerak semu tahunan matahari [7]

Inklinasi dan orientasi sebuah modul surya juga berpengaruh terhadap hasil produksi energinya. Seperti yang diketahui jika sudut kemiringan tepat atau optimum maka daya *output* dari modul juga akan optimum sehingga sudut kemiringan modul juga mempengaruhi produksi dari sebuah PLTS.



Gambar 4 Inklinasi dan orientasi menentukan arah panel [8]

E. Menghitung Daya yang Dibangkitkan PLTS

Dari perhitungan *area array*, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (Watt Peak) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut : [9]

$$P(\text{Watt Peak}) = \text{Area array} \times \text{PSI} \times \eta_{pv} \quad (2)$$

Dimana :

P (Watt Peak) = Daya yang dibangkitkan PLTS

PSI = Peak Solar Insolation (1000w/m²)

η_{pv} = Efisiensi panel surya

Selanjutnya berdasarkan besar daya yang akan dibangkitkan, maka jumlah panel surya yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [9].

$$\text{Jumlah Panel Surya} = P(\text{Watt Peak}) : P_{mpp} \quad (3)$$

Dimana :

P (Watt Peak) = Daya yang dibangkitkan PLTS

P_{mpp} = Daya keluaran maksimum panel surya

F. Software HelioScope

Folsom Labs mengembangkan HelioScope untuk menyederhanakan proses perancangan, rekayasa, dan penjualan *array* surya. Dalam HelioScope memiliki desain 3D untuk memastikan ketepatan pada gambar sehingga mengetahui adanya perubahan dalam mendesain. HelioScope selain mendesain dari modul suryanya, HelioScope juga mampu mendesain dari mekanikal, elektrikal sehingga mempermudah pengguna *software* HelioScope mampu mengetahui rancangan pembangkit listrik tenaga surya secara detail.



Gambar 5. Tampilan Software HelioScope [10]

G. Software HOMER

HOMER adalah singkatan dari the *hybrid optimisation model for electric renewables*. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *stand-alone* maupun *grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, *photovoltaic*, mikrohidro, biomassa, generator (diesel/bensin), *microturbine*, *fuel-cell*, baterai, dan penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun termal [11].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui desain PLTS Atap kantor Bupati Tapanuli Utara. Penelitian ini menggunakan simulator HelioScope dan HOMER.



Gambar 6. Diagram Alir (Flowchart) Alur Analisis

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara

Gedung kantor Bupati Tapanuli Utara merupakan pusat kegiatan pemerintahan kabupaten Tapanuli Utara. Gedung kantor Bupati terletak di Jl. Letjen Suprpto No.1, Kec. Tarutung, Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara. Secara geografis kantor Bupati Tapanuli Utara berada di belahan bumi bagian Utara dan memiliki titik koordinat 2.02 LU, 98.96 BT. Gedung

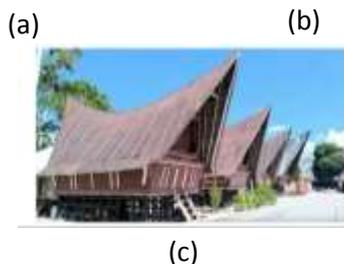
kantor Bupati memiliki luas bangunan sebesar 1422 m² dengan luas tanah 2990 m².



Gambar 7. Gambaran atap kantor Bupati Tapanuli Utara

B. Rumah Adat Batak Toba

Bentuk atap kantor Bupati Tapanuli Utara memiliki bentuk khas yaitu menyerupai bentuk rumah adat Batak Toba. Bentuk atap rumah Batak Toba melengkung dan menajam pada ujung atap/bubungan atap dan memiliki kemiringan 45^o-55^o seperti pada Gambar (c) dibawah. Gambar 8 merupakan tampilan rumah adat Batak Toba. Konstruksi atap bagian depan memiliki struktur atap yang lebih tinggi [12].

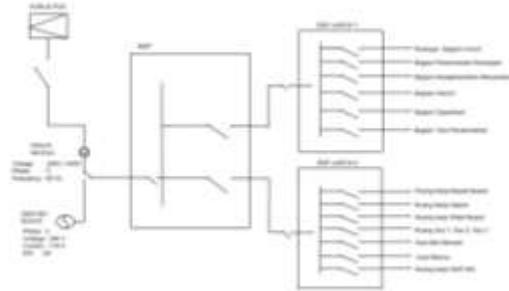


Gambar 8. Bentuk-bentuk rumah adat Batak Toba (a) tampak depan, (b) tampak belakang, (c) tampak samping

C. Kondisi Kelistrikan Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara

Kebutuhan energi listrik di kantor Bupati Tapanuli Utara disuplai dari trafo utama Gardu Induk (GI) Tarutung melalui penyulang kantor Bupati. Daya listrik di gedung kantor Bupati Tapanuli Utara disuplai dari Trafo dengan kapasitas 160 kVA yang terhubung dengan MDP (*Main*

Distribution Panel) dan terhubung dengan SDP lantai 1 dan SDP lantai 2.



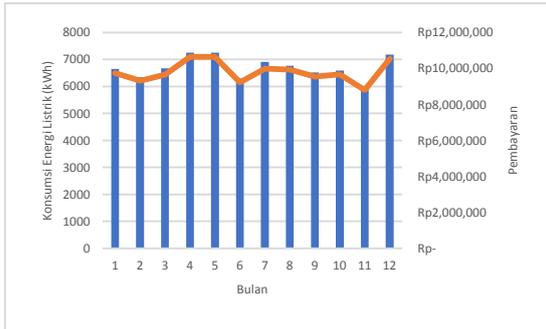
Gambar 9. Skematik sistem kelistrikan gedung kantor Bupati Tapanuli Utara

D. Profil Konsumsi Energi Listrik dan Rekening Pembayaran Listrik Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara

Gedung kantor Bupati Tapanuli Utara memiliki daya listrik gedung sebesar 41.500 VA. Data rekening pembayaran listrik di gedung kantor Bupati Tapanuli Utara bersumber dari PT PLN UP3 Sibolga yang didapat dari bulan Januari sampai bulan Desember dengan nomor ID Pelanggan 123140008647 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data konsumsi energi listrik dan rekening pembayaran listrik gedung kantor Bupati Tapanuli Utara 2019

No	Bulan Pemakaian	Pemakaian KWH	Pembayaran Listrik Rp
1	Januari	6.643	9.747.141
2	Februari	6.343	9.306.957
3	Maret	6.673	9.644.431
4	April	7.254	10.643.649
5	Mei	7.249	10.636.313
6	Juni	6.288	9.226.257
7	Juli	6.905	9.981.906
8	Agustus	6.768	9.930.551
9	September	6.517	9.552.264
10	Oktober	6.592	9.672.310
11	November	5.992	8.791.942
12	Desember	7.180	10.535.070
Total		80.404	117.638.791

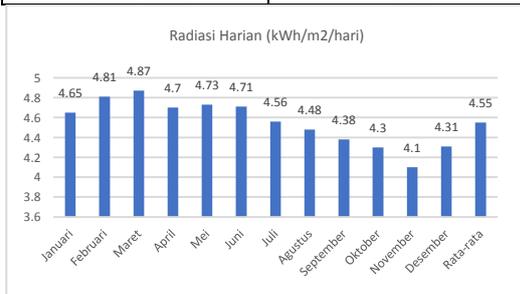


Gambar 10. Grafik konsumsi energi dan pembayaran di kantor Bupati

E. Irradiasi Matahari di Gedung kantor Bupati Tapanuli Utara

Tabel 2. Rata-rata bulanan Solar Global Horizontal Irradiance (GHI) 2013

Bulan	Radiasi Harian (kWh/m2/hari)
Januari	4.65
Februari	4.81
Maret	4.87
April	4.70
Mei	4.73
Juni	4.71
Juli	4.56
Agustus	4.48
September	4.38
Oktober	4.30
November	4.10
Desember	4.31
Rata-rata	4.55



Gambar 11. Rata-rata bulanan solar Global Horizontal Irradiance (GHI) 2013

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa rata-rata irradiasi matahari daerah Tapanuli Utara sebesar 4,55. Dimana irradiasi terbesar terdapat di bulan Maret sebesar 4,87 karena bulan ini merupakan musim kemarau dan irradiasi terendah pada bulan November sebesar 4,10 di musim hujan.

F. Pemilihan Panel Surya untuk PLTS Atap Gedung Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara

Modul surya dipilih berdasarkan asumsi karena modul surya yang digunakan memiliki kapasitas yang tinggi, memiliki efisiensi yang tinggi, mempunyai harga yang murah sehingga dapat dijangkau, dan pembelian modul suryanya lokasinya ada di Indonesia sehingga efisien biaya pengiriman. Berdasarkan kriteria diatas maka dipilih modul surya Sky Energy ST72M330 karena memenuhi syarat dengan luas permukaan modul surya yang tidak terlalu besar dengan lebar modul surya sebesar 0,99 m, panjang modul surya sebesar 1,96 m, dan tebal modul surya sebesar 0,045 m maka luas permukaan modul surya Sky Energy ST72M330 sebesar 2,98 m .



Gambar 12. Modul surya Sky Energy ST72M330 [13]

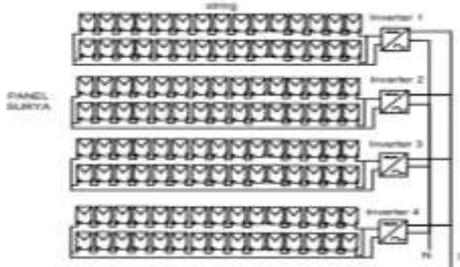
G. Perancangan PLTS Atap Gedung kantor Bupati Tapanuli Utara Menggunakan HelioScope

Berdasarkan Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia tahun 2020 bahwa bangunan yang berada di wilayah Utara khatulistiwa sebaiknya mengarahkan panel surya ke arah Selatan Jadi atap yang akan menghasilkan energi lebih maksimal adalah atap yang menghadap Selatan karena akan lebih banyak mendapatkan sinar matahari. Terlebih lagi karena atap gedung yang mencapai 52,7°. Diketahui bahwa atap yang menghadap selatan memiliki luas sebesar 330,4m² dan bangunan menghadap ke arah Timur. Maka perancangan akan dilakukan pada atap yang menghadap Selatan yaitu field Segment 2 seperti Gambar 13 dibawah dengan jumlah modul 120 dan kapasitas yang terpasang sebesar 39,6 kWp [14].



Gambar 13. Field segment 2

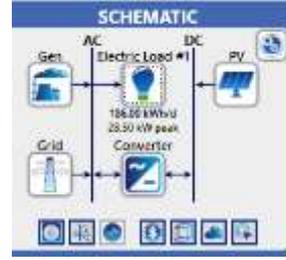
Berdasarkan hasil perhitungan diketahui untuk konfigurasi rangkaian seri *parallel* modul surya untuk atap gedung kantor Bupati Tapanuli Utara adalah pada *Inverter* 1 sejumlah 30 unit modul surya dirangkai secara seri sebanyak 2 rangkaian. Kemudian diparalelkan di dalam *Combiner Box* begitu juga dengan konfigurasi untuk inverter 2, 3, dan 4. Sehingga jumlah panel surya yang bisa terpasang yaitu sebanyak 120 panel dengan kapasitas terpasang menjadi 39,6 kWp. Blok diagram dari konfigurasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Blok diagram inverter dan modul surya PLTS dengan kapasitas 39,6 kWp

H. Potensi Energi Listrik PLTS Atap di Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara

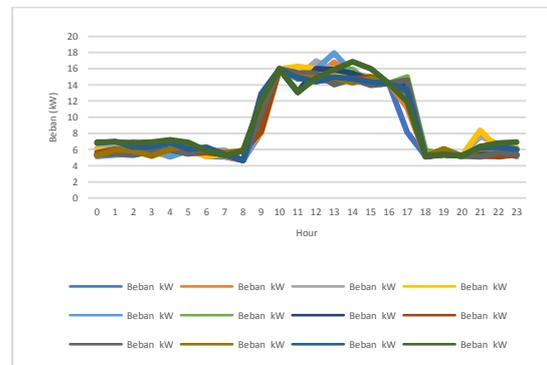
Potensi produksi energi PLTS atap di gedung kantor Bupati Tapanuli Utara disimulasikan menggunakan aplikasi HOMER *free trial version*. Setiap komponen pada perancangan PLTS atap di gedung kantor Bupati Tapanuli Utara yang disimulasikan dengan HOMER akan disesuaikan dengan spesifikasinya. Gambar 15 berikut adalah desain skematik pada aplikasi HOMER untuk PLTS Atap di gedung kantor Bupati Tapanuli Utara.



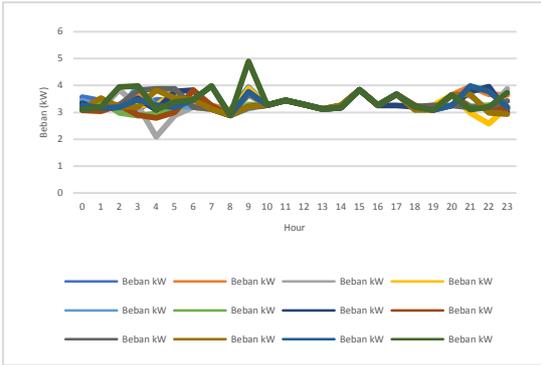
Gambar 15. Desain skematik PLTS atap gedung kantor bupati Tapanuli Utara

1. Beban listrik gedung kantor Bupati Tapanuli Utara pada HOMER *pro trial version*

Profil beban listrik gedung kantor Bupati Tapanuli Utara dapat dilihat untuk beban *weekdays* pada Gambar 16 dan beban pada *weekend* dapat dilihat pada Gambar 17. Dikarenakan tidak adanya data AMR untuk kantor Bupati Tapanuli Utara, sehingga data dibawah diperoleh berdasarkan asumsi peneliti dengan menggunakan beberapa sampel daya tiap jam di beberapa hari dalam satu minggu. Data diukur langsung ke kantor Bupati dengan melihat berapa beban yang terpakai dalam satu jam. Sampel yang diambil kemudian dijadikan perbandingan dengan data profil rata-rata beban *weekdays* dan *weekend* kantor lain [15] [16].



Gambar 16. Grafik profil perkiraan rata-rata beban listrik *weekdays* kantor Bupati Tapanuli Utara 2020



Gambar 17. Grafik profil perkiraan rata-rata beban listrik *weekend* kantor Bupati Tapanuli Utara 2020



Gambar 18. Tampilan beban listrik gedung kantor Bupati Tapanuli Utara

Gambar 18 menunjukkan layout untuk beban kantor Bupati tapanuli Utara. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa beban listrik per satu jam nya memiliki rata-rata 28,5 kW, sedangkan rata-rata beban dalam seharinya 175,72 kWh/hari.

2. Panel Surya dan *Inverter* gedung kantor Bupati Tapanuli Utara pada Homer *free trial*

Jenis panel surya yang direncanakan dalam Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di gedung kantor Bupati Tapanuli Utara menggunakan panel surya Sky Energy ST72M330.



Gambar 19. Tampilan layout komponen PV pada HOMER

Dan dari hasil desain yang disimulasikan menggunakan HeliScope mendapatkan sebanyak 120 modul dengan kapasitas 39,6 kWp. Dari hasil HeliScope di *import* ke HOMER. Dengan *capital* untuk modul surya Sky Energy ST72M330 sebesar \$ 32,418 (Rp471.200.000) berdasarkan referensi harga di Sky Energy 2021.



Gambar 20. Tampilan *layout Inverter* pada HOMER

Inverter yang digunakan adalah jenis *Grid Tie Inverter* yang digunakan dalam sistem PLTS OnGrid tipe ABB PVI-10.0-TL-OUTD – 10000 Watt. Jumlah *inverter* yang digunakan sebanyak 4 buah dengan jumlah kapasitas 10 kW. Pemilihan *inverter* jenis ini dengan pertimbangan karena spesifikasi dari *inverter* ini dapat terhubung dengan jaringan listrik PLN, sehingga dapat menentukan kapan harus mengambil listrik dari PLN dan kapan memasok listrik hasil PLTS ke jaringan PLN [17].

I. Hasil Optimasi HOMER Sistem PV-Grid

HOMER melakukan simulasi dan optimasi konfigurasi pembangkit berdasarkan variabel nilai yang diinginkan, kemudian mengurutkan hasil konfigurasi berdasarkan nilai NPC (*Net Present Cost*) yang terendah terhadap konfigurasi sistem. Hasil konfigurasi sistem yang optimal ditentukan oleh besarnya NPC (*Net Present Cost*) terkecil, karena NPC adalah biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu.

Optimize						
Left-Double Click on a particular system						
Architecture						
PV-MPPT (kW)	Gen (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)
39.6	37.0	999.999	40.0	CC	\$0.116	\$127,846

Gambar 21. Hasil optimasi Homer

Konfigurasi ini dipilih karena memiliki nilai NPC yang paling rendah, hal ini dapat dilihat pada Gambar 21, di mana total NPC sebesar \$127,846 (Rp584.046) dan selain itu juga memiliki nilai COE yang terkecil, yaitu sebesar \$0.116/kWh (Rp1690)

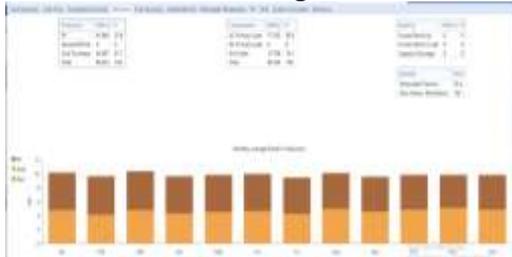
1. Power output PLTS

Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS selama setahun sebesar 45,646 kWh.

Tabel 3. Paramater keluaran PLTS

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	39,6	kW
Mean Output	5.21	kW
Mean Output	125	kWh/d
Capacity Factor	13.2	%
Total Production	45,646	kWh/yr

2. Produksi energi listrik PV-Grid



Gambar 22. Rata-rata produksi energi listrik pada sistem

Berdasarkan simulasi yang dilakukan pada HOMER energi listrik yang dihasilkan PLTS gedung kantor Bupati Tapanuli Utara dapat mencapai 45,646 kWh per tahunnya, dan memiliki peran mensuplai energi listrik hingga 52,9 %. Total energi listrik yang dihasilkan oleh sistem panel surya dan *grid* pertahun sebesar 86,233 kWh. Konsumsi energi listrik gedung kantor Bupati Tapanuli Utara (beban listrik AC) dapat mencapai 71.552 kWh per tahun.. Kelebihan listrik (*excess electricity*) adalah selisih total produksi energi listrik selama satu tahun yang dihasilkan oleh sistem dan total beban yang disuplai. Jadi, kelebihan listrik (*excess electricity*) yang terdapat pada sistem ini adalah sebesar 0 kWh/tahun atau 0 %. *Renewable Fraction* adalah persentase jumlah energi terbarukan pada sistem. Jadi, *Renewable Fraction* pada sistem sebesar 53,6%.

3. Energi yang dihasilkan sistem Grid

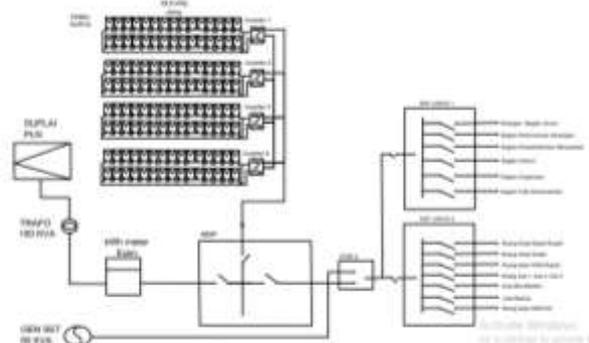
Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge (\$)	Demand Charge (\$)
January	3,537	1,218	2,320	24	\$279.39	\$0
February	2,776	1,209	1,566	23	\$197.76	\$0
March	3,556	1,325	2,231	21	\$266.16	\$0
April	3,092	1,130	1,962	24	\$234.61	\$0
May	3,338	1,252	2,086	20	\$251.14	\$0
June	3,327	1,073	2,255	26	\$261.94	\$0
July	3,159	1,107	2,052	20	\$242.87	\$0
August	3,691	1,019	2,672	25	\$301.83	\$0
September	3,294	1,076	2,217	22	\$256.33	\$0
October	3,574	1,013	2,561	21	\$290.50	\$0
November	3,664	1,174	2,490	24	\$288.94	\$0
December	3,579	1,172	2,407	24	\$280.57	\$0
Annual	40,587	13,768	26,819	26	\$3,150.03	\$0

Gambar 23. Hasil simulasi Grid

Gambar 23 hasil simulasi dari HOMER di atas menunjukkan angka energi yang dibeli (*energy purchased*), energi yang terjual (*energy sold*), *net purchases*, *peak demand*, *energy charge* dan *demand charge*. Dapat dilihat pada kolom *energy purchased* bernilai 40.587 kWh, *energy sold* bernilai 13.768 kWh dan energi bersih yang dibeli sebesar 26.819 kWh. Sedangkan pada kolom *energy charge* terlihat harga yang harus dibayarkan setiap bulannya dan total per tahunnya adalah \$3150,03 (Rp. 43.874.826,4) hal ini sesuai dengan harga *Operating Cost* pada hasil optimasi *grid*-beban.

J. Skematik Sistem Kelistrikan Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara Setelah Terpasang PLTS

Desain dari hasil simulasi menggunakan HelioScope pada PLTS Atap gedung kantor Bupati Tapanuli Utara pemasangan modul surya dipasang dibagian atap menghadap utara dengan jumlah modul surya sebanyak 120 modul surya dengan kapasitas terpasang sebesar 39,6 kWp.



Gambar 24. Skematik sistem kelistrikan setelah dipasang PLTS

Pada perencanaan PLTS ini digunakan sistem *on grid*. Pada sistem ini, PLN merupakan sumber utama arus listrik dan PLTS sebagai *back up* nya. PLTS

bekerja paralel dengan PLN karena *inverter* bekerja berdasarkan ada tidaknya tegangan dari PLN. Sehingga saat PLN mati maka PLTS juga akan mati. Berdasarkan Gambar 24 dapat dilihat kebutuhan energi listrik kantor Bupati Tapanuli Utara setelah terpasang PLTS disuplai dari trafo dengan kapasitas 160 kVA yang terhubung dengan MDP (*Main Distribution Panel*). Terdapat suplai energi tambahan dari PLTS yang masuk ke MDP melalui *inverter* yang digunakan untuk mengubah energi listrik DC menjadi AC untuk suplai ke arah beban. Terdapat kWh meter ekspor impor, dimana produksi daya PLTS di transfer ke jaringan PLN yang secara bersamaan dapat digunakan untuk konsumsi listrik kantor Bupati Tapanuli Utara. Dan Genset sebagai pilihan terakhir cadangan suplai energi. MDP pada kantor Bupati terbagi menjadi 2 SDP (*Sub Distribution Panel*) yaitu SDP pada lantai 1 dan lantai 2. Genset terhubung ke masing masing panel induk SDP melalui COS (*Change Over Switch*) yang digunakan secara manual untuk memindahkan suplai dari PLN ke genset.

K. Perhitungan Investasi Awal Perancangan PLTS Atap Kantor Bupati Tapanuli Utara

Tabel 4. Biaya perkiraan investasi awal sistem PLTS kantor Bupati Tapanuli Utara dengan kapasitas 39,6 kWp

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total
<i>Direct Cost</i>				
Panel Surya Sky Energy ST72M330*	120	Unit	Rp.3.800.000	Rp471.200.000
ABB PVI-10.0-TL-OUTD - 10000 Watt**	4	Unit	Rp16.392.900	Rp65.571.600
Slocable PV-1F Black & Red Kabel Panel Surya 4 mm2 Solar Cable 12 AWG	300	Meter	Rp26.400	Rp.7.900.000
Slocable PV-1F Black & Red Kabel Panel Surya 6 mm2 10 AWG	70	Meter	Rp.30.000	Rp.2.100.000
PV Combiner Box	4	Unit	Rp.1.200.000	Rp.4.800.000
<i>Indirect Cost</i>				
Pemasangan dan instalasi*	1	Kali	Rp35.000.000	Rp35.000.000
Biaya Pengiriman Panel Surya dan Inverter ***	1	Kali	Rp25.000.000	Rp25.000.000
Biaya Pengerjaan	1	Kali	Rp16.500.000	Rp16.500.000

Rak Panel				
Surya****				
Total	Rp.628.071.600			

Total perkiraan biaya investasi awal untuk PLTS yang akan dirancang di kantor Bupati Tapanuli Utara, yaitu sebesar Rp 613.271.600 dapat berubah, sesuai dengan nilai Dollar terhadap Rupiah.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan didapat beberapa kesimpulan diantaranya; Perancangan PLTS atap kantor Bupati Tapanuli Utara mengikuti sudut kemiringan atap gedung sebesar 52,7⁰. Dimana diperoleh 120 modul dan daya yang dibangkitkan 39,6 kWp. Potensi energi listrik yang dihasilkan sistem PV berdasarkan hasil simulasi HOMER diperoleh 45.646 kWh/tahun dan memiliki peran mensuplai energi listrik hingga 52,9 %. Dengan total energi listrik yang dihasilkan oleh sistem panel surya dan *grid* pertahun sebesar 86.233 kWh. Sedangkan untuk harga yang harus dibayarkan total per tahunnya adalah \$3150,03 (Rp 43.874.826,4). Sedangkan untuk perkiraan biaya investasi awal pada perancangan PLTS Atap beban kantor Bupati Tapanuli Utara sebesar Rp 628.071.600.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] Peraturan Presiden 22/2017 – Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), 2017.

[2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (RUPTL PT PLN) Tahun 2018 s.d. 2027. Jakarta: KESDM.

[3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2019. *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2019 – 2038*. Jakarta.

[4] F. P. Division, "Installing Photovoltaic Systems," Univ. Cent. Florida, 1999.

[5] M. Kolhe, S. Kolhe, and J. C. Joshi. 2002. Economic viability of stand-alone solar photovoltaic system in comparison with diesel-powered system for India. *Energy Econ.*, vol. 24, pp. 155–165

[6] Arimbawa. P. A. R, dkk. 2016. Studi Pemanfaatan Catu Daya Hibrida PLTS 3,7 Kwp Dan PLN Pada Instalasi

- Pengolahan Air Limbah Desa Pemecutan Kaja Denpasar Bali. *Teknologi Elektro*. 15(2): 33-38
- [7] Pangaribuan, B. M dkk. 2020. Desain PLTS Atap Kampus Universitas Udayana: Gedung Rektorat. *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 7, No. 2
- [8] ABB, 2010. Technical Application Paper No. 10 *Photovoltaic Plants*. s.l.:s.n.
- [9] Agai, F., dkk. 2011. Desain Optimization and Simulation of The Photovoltaic Systems on Buildings in Southeast Europe. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, Volume 1 Issue 5, November 2011: 58-68.
- [10] Florida Solar Energy Center, 2011. Types of PV System
- [11] Lu, Lin. (2013). Investigation on the development potential of rooftop PV system in Hong Kong and its environmental benefits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 27. 149-162. 10.1016/j.rser.2013.06.030.
- [12] Prasetyo. Y. H. 2016. Analisis Kinerja Termal dan Aerodinamis pada Rumah Tradisional Batak Toba Menggunakan Simulasi Digital dan Pengukuran Lapangan. Vol. 2 No. 2 (2016) *Hlm.* 131 - 142
- [13] Lestari, N. M. N dkk. 2021. Review Status Panel Surya di Indonesia Menuju Realisasi Kapasitas PLTS Nasional 6500 MW. *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 8, No. 1
- [14] Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia tahun 2020. *Indonesia Clean Energy Development II*
- [15] Pratama dkk, 2018. Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung Untuk PLTS Rooftop. *E-Journal SPEKTRUM* Vol 5, No 2.
- [16] Putra dkk, 2015. Perencanaan Sistem Jaringan Mikro (*Microgrid*) Dengan *Supply* Dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Generator Set di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana. *Teknologi Elektro* Vol 14, No.2
- [17] Priajana, P. G. G dkk, 2020. Grid Tie Inverter Untuk Plts Atap Di Indonesia: Review Standar Dan Inverter yang Compliance di Pasar Domestik. *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 7, No. 2