

Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Gedung A Kampus ITNY

Sulung Nopriantoro^{*1}, Diah Suwarti Widiastuti², Daru Sugati³

¹Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta;

Korespondensi: sulung2811@gmail.com*, diahsuwarti@sttnas.ac.id, daru.tm@itny.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan sedang dipacu oleh Pemerintah Indonesia. Dan salah satu sumber daya energi terbarukan yang dapat dieksplorasi adalah energi matahari. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 kWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp. Persentase nilai Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang sudah dibangun di Indonesia juga baru sekitar 0,05% dari total seluruh pembangkit listrik yang ada dibawah pengoperasian PT. PLN (Persero).

Kampus ITNY memiliki beberapa gedung tinggi yang berkontur atap memanjang dan tanpa penghalang bayangan dari gedung lainnya. Oleh karena itu, dalam penelitian kali ini kami akan membuat perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang akan dipasang pada atap salah satu gedung di kampus ITNY dan beroperasi secara On-Grid dengan sumber daya listrik dari PLN. Atap gedung yang dipakai adalah Gedung A dengan luasan atap yang efektif dapat dipasang instalasi PLTS sebesar 644 m² terbagi menjadi dua sisi yaitu utara dan selatan. Sistem PLTS On-Grid ini akan melayani beban listrik Gedung A sekitar 105.000 kW dengan beban berupa lampu penerangan, power outlet dan power AC.

Hasil dari perencanaan ini adalah sebuah desain PLTS Roof-Top system On-Grid yang melayani beban listrik untuk Gedung A. Sehingga diharapkan dengan adanya sistem PLTS ini diharapkan dapat menekan tagihan listrik bulanan Kampus ITNY.

Kata kunci : PLTS, Panel Surya, On-Grid, Roof-Top, ITNY, Efektif, Efisien.

ABSTRACT

The utilization of New and Renewable Energy is being accelerated by the Indonesian Government. And one of the renewable energy resources that can be explored is solar energy. The potential for solar energy in Indonesia is very large, which is around 4.8 kWh/m² or equivalent to 112,000 GWp, but only around 10 MWp has been utilized. The percentage of the value of Solar Power Plants that have been built in Indonesia is also only around 0.05% of the total power plants under the operation of PT. PLN (Persero).

The ITNY campus has several tall buildings that have elongated roof contours and without shadow barriers from other buildings. Therefore, in this study, a Solar Power Plant plan will be made that will be installed on the roof of one of the buildings on the ITNY campus and operate On-Grid with electricity from PLN. The roof of the building used is Building A with an effective roof area that can be installed with a PLTS installation of 644 m² divided into two sides, namely north and south. This On-Grid PLTS system will serve the electrical load of Building A of around 105,000 kW with loads in the form of lighting, power outlets and AC power.

The result of this planning is a Roof-Top PLTS On-Grid system design that serves the electrical load for Building A. So it is hoped that with this PLTS system it is expected to reduce the monthly electricity bill of the ITNY Campus.

Keywords: PLTS, Solar Panels, On-Grid, Roof-Top, ITNY, Effective, Efficient.

PENDAHULUAN

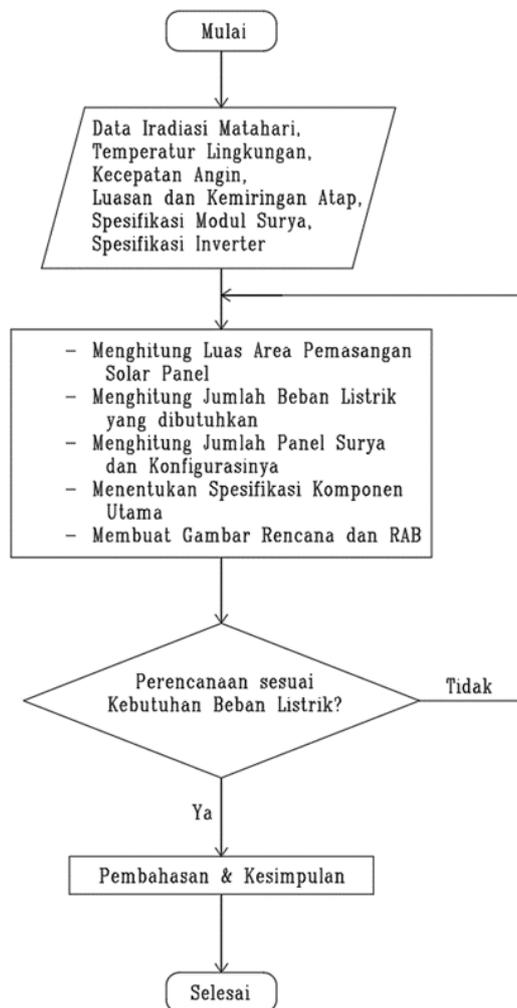
Saat ini pengembangan PLTS di Indonesia telah mempunyai basis yang cukup kuat dari aspek kebijakan. Namun pada tahap penerapan dilapangan, potensi yang ada belum dimanfaatkan secara optimal. Beberapa potensi diantara jenis sistem PLTS adalah jenis Rooftop yang dipasang pada atap gedung/bangunan. Kampus Institut Teknologi Nasional Yogyakarta memiliki beberapa gedung tinggi, salah satunya gedung A

untuk Perpustakaan dan Pengajaran yang merupakan gedung 4 lantai dengan tinggi puncak atap diangka FFL+24.0 meter.

Berdasarkan hal tersebut, maka pada penelitian ini akan membahas mengenai perancangan PLTS Rooftop pada Gedung A Kampus ITNY dengan menggunakan bantuan aplikasi web Global Solar Atlas Versi 2.10 dan diharapkan dari penelitian dan perancangan ini dapat menghasilkan desain PLTS yang cukup efektif dapat dipasang pada lokasi tersebut. Serta mengetahui nilai NPV yang diperoleh jika perencanaan PLTS pada Gedung A Kampus ITNY ini direalisasikan dikemudian hari.

METODE PENELITIAN

Desain teknis PLTS *On Grid Rooftop* dimulai dari perhitungan luasan area yang akan dipasang PLTS, jumlah beban listrik eksisting, menghitung ukuran tiap string, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan jumlah inverter, panel surya dan kapasitas daya terpasang sistem. Secara lengkap, tahapan desain teknis dan analisis kelayakan ekonomi PLTS *On Grid Rooftop* yang direncanakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Diagram Alir Alur Perencanaan dibawah ini.

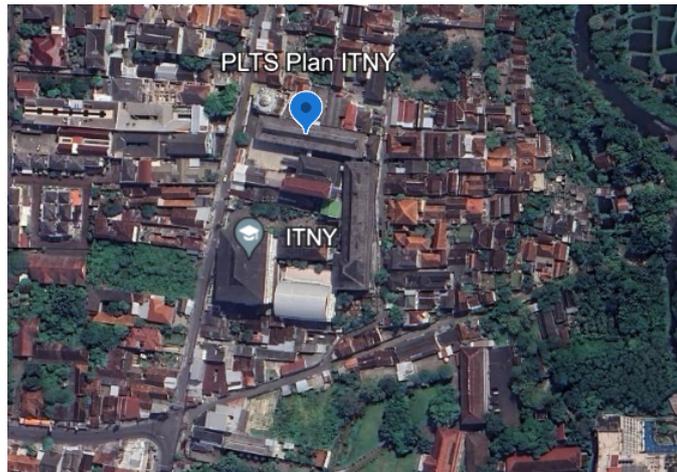


Gambar 1 Diagram Alir Alur Perencanaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk perencanaan PLTS di Kampus ITNY dengan koordinat lintang selatan $7^{\circ}46'21''$ dan bujur timur $110^{\circ}24'59''$, lokasi perencanaan diberikan pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2. Area lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Kampus ITNY
Sumber : (*Google Earth*)

Sedangkan untuk data ukuran dimensi atap dapat ditarik ukuran melalui Google Earth dengan panjang total 66,5 meter dan lebar 15 meter. Dengan kemiringan sudut atap (tilt) estimasi sebesar 15° dan pergeseran azimuth dari kutub utara sekitar 11° clockwise. Dikarenakan luasan atap terdapat sisi miring yang curam, maka permukaan yang berpotensi dipasang panel surya hanya pada sisi yang sudutnya lebih landai. Dengan luasan efektif sekitar 322 meter untuk sisi utara, dan tipikal untuk sisi selatan. Sehingga luasan total 644 m² untuk kedua sisi atap.

Data Spesifikasi Peralatan PLTS

Setelah didapat luasan area yang akan dipasang sistem PLTS On Grid Roof Top, kemudian ditentukan spesifikasi peralatan yang mungkin untuk diaplikasikan pada luasan tersebut. Beberapa spesifikasi peralatannya sebagai berikut :

Panel Surya

Pada system PLTS, pemilihan kapasitas dan konfigurasi Panel Surya menentukan seberapa besar daya exitasi sistem PLTS. Untuk mempermudah perencanaan, dipilih spesifikasi terlebih dahulu dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti produktifitas dan durabilitas panel surya, ketersediaan stock dan layanan purna jual, serta harga produk. Pada perencanaan PLTS On Grid Roof Top ini dipilih menggunakan Panel Surya jenis *Monocrystalline* keluaran dari ICA Solar dengan spesifikasi produk sebagai berikut :

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Cell Type	Monocrystalline 182x91mm
Number of Cells	144 (6x24)
Dimension of Module (mm)	2278 x 1134 x 35
Weight (kg)	29.00
Glass	3.2mm tempered low iron glass
Aluminium Frame	Anodized Aluminium
Junction Box	Split Junction Box (IP68, Three Diodes)
Connector	MC4 Compatible
Output Cables	4.0mm ² , +300mm, -300mm customized lenght

<u>ELECTRICAL SPECIFICATIONS</u>	<u>STC</u>	<u>NOCT</u>	<u>ICA550-72HMI</u>
Max. Power at STC, Pmax (W)	550.0	414.3	
Max. Power Voltage, Vmp (V)	42.40	39.10	
Max. Power Current, Imp (A)	12.98	10.58	
Open Circuit Voltage, Voc (V)	50.20	46.90	
Short Circuit Current, Isc (A)	13.82	11.17	
Efficiency (%)	21.29		
Power Tolerance (W)	0~+5		
Pmax Temperature Coefficient (%/°C)	-0.35		
Voc Temperature Coefficient (%/°C)	-0.27		
Isc Temperature Coefficient (%/°C)	+0.05		
Maximum System Voltage (VDC)	1500		
Maximum Series Fuse Rating (A)	25		
Operating Temperature (°C)	-40~+85		
NOCT (°C)	45±2		

STC : Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, AM 1.5

NOCT : Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s

Inverter

Inverter untuk sistem PLTS dibedakan terutama pada peruntukan exitasi PLTS itu sendiri, apakah untuk On-Grid, Off-Grid maupun Hybrid. Untuk sistem On-Grid kali ini, dipilih menggunakan Inverter produksi dari Huawei seri SUN2000-50KTL-M3 dengan kapasitas 50 kW dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. Spesifikasi teknis Inverter

Technical Specification	SUN2000-50KTL-M3
Efficiency	
Max. Efficiency	98.5%
European Efficiency	98.0%
Input	
Max. Input Voltage ¹	1,100 V
Max. Current per MPPT	30 A
Max. Current per Input	20 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range ²	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V
Number of Inputs	8
Number of MPP Trackers	4
Output	
Rated AC Active Power	50,000 W
Max. AC Apparent Power	55,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	55,000 W
Rated Output Voltage	400 Vac / 480 Vac, 3W+(N) + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	72.2 A @ 400Vac, 60.1 A @ 480Vac
Max. Output Current	79.8 A @ 400Vac, 66.5 A @ 480Vac
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	<3%

Kabel PV

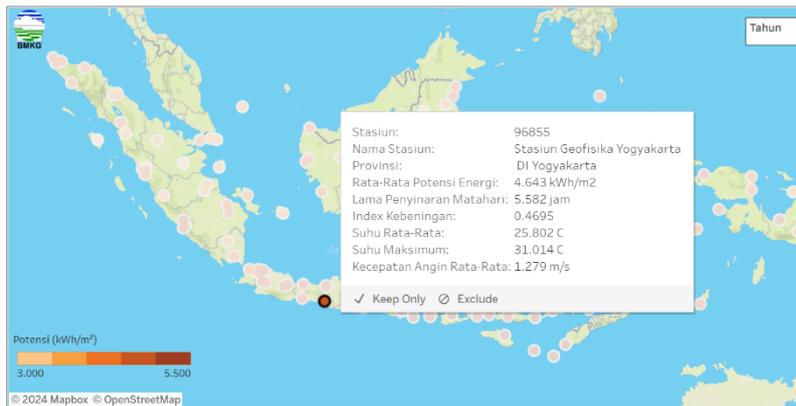
Penting untuk menggunakan ukuran penghantar yang benar dalam suatu sistem. Kabel yang benar hanya dapat dipilih setelah mengetahui arus dalam suatu sistem. Ujung kabel juga harus memiliki konektor tipe MC4 dengan ukuran menyesuaikan ukuran kabel dan konektor pada panel surya. Tampilan konektor MC4 seperti pada Gambar 3 dengan 2 jenis koneksi, *male* dan *female*.



Gambar 3 Kabel PV-1F dengan MC4 Connector
 Sumber : www.solarsquare.in

Data Iradiasi Matahari

Data General Peta Potensi Energi Matahari didapat dari laman Informasi Iklim BMKG yang memberikan informasi pengamatan radiasi matahari dan menyediakan iklim untuk sektor energi. Informasi yang diberikan mencakup nilai rata-rata intensitas radiasi matahari dan peta potensi energi surya di wilayah Indonesia. Adapun Peta potensi dan nilai rata-rata potensi energi surya dari BMKG seperti pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Peta Potensi Energi Surya Indonesia
 Sumber : <https://iklim.bmkg.go.id/id/energi/>

Dari Gambar 4 diatas, potensi energi matahari di pulau Jawa berkisar diangka 2,0 – 6,4 kWh/m²/hari. Atau dapat juga diperoleh dengan menggunakan software Global Solar Atlas (GSA) versi 2.10 dengan memasukkan koordinat yang diperoleh dari Google Earth berupa garis lintang dan bujur secara mendetail. Dan data yang diperoleh tampak pada gambar 5 berikut.

SITE INFO

Map data		Per year
Direct normal irradiation	DNI	1198.6 kWh/m ²
Global horizontal irradiation	GHI	1817.3 kWh/m ²
Diffuse horizontal irradiation	DIF	936.8 kWh/m ²
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	1845.8 kWh/m ²
Optimum tilt of PV modules	OPTA	12 / 0 °
Air temperature	TEMP	25.8 °C
Terrain elevation	ELE	141 m

Map

Gambar 5 Data *Direct Normal Irradiation* pada GSA versi 2.10

Data Beban Listrik Eksisting

Beban Listrik Eksisting berdasarkan hasil dari kajian M. Nur Affan (2023) yang membahas tentang Evaluasi Kelayakan Pengaman Instalasi Listrik di Gedung A Kampus ITNY dapat disimpulkan dalam Tabel 2 Rekap Daya Beban Listrik berikut :

Tabel 2. Rekap Daya Beban Listrik Gedung A Kampus ITNY

No.	Jenis Beban / Nama Panel	Load / (Watt)	Beban
1.	Panel AC Lantai 1 (PAC-L1)		30.400
2.	Panel AC Lantai 2 (PAC-L2)		30.400
3.	Panel AC Lantai 3 (PAC-L3)		19.000
4.	Panel Penerangan & STK (PP-L1)		8.808
5.	Panel Penerangan & STK (PP-L2)		7.634
6.	Panel Penerangan & STK (PP-L3)		10.251
Total Beban Eksisting 3 Phase			106.493

Data Beban dan Analisis Struktur Atap

Rangkaian PLTS sistem *On Grid Roof Top* memiliki beban yang cukup signifikan. Pada komponen Panel Surya dengan seri ICA550-HMI memiliki bobot bersih 29kg per panel. Sehingga dimungkinkan untuk bobot tiap meter persegi diasumsikan sekitar 15kg/m² termasuk dengan bobot bracket, kabel dan tray. Kekuatan struktur atap sangat berpengaruh dengan berapa banyak unit panel surya yang bisa dipasang pada atap tersebut. Semakin kokoh atap, akan semakin maksimal daya topang atap terhadap luasan maksimum panel surya terpasang. Dalam perencanaan ini perhitungan struktur atap dapat diperiksa menggunakan software SAP2000.

Untuk luasan efektif yang akan digunakan perencanaan sistem PLTS Roof Top ini adalah sebesar 644 m² terbagi menjadi 2 sisi yaitu utara dan selatan. Dengan memaksimalkan luasan atap 322 m² maka didapat perhitungan total beban yang mungkin akan timbul oleh sistem PLTS ini sebesar :

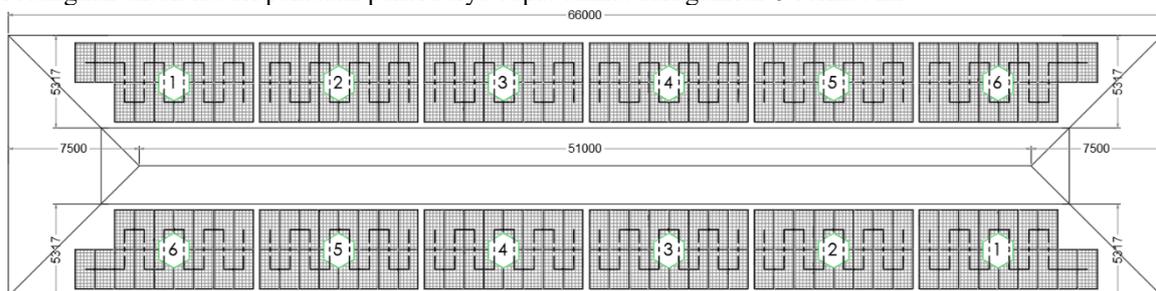
$$\text{Jumlah Bobot Panel Surya} = (644 \text{ m}^2 : 2,57 \text{ m}^2) \times 15 \text{ kg/m}^2 = 3.758 \text{ kg}$$

Menentukan Kapasitas Panel Surya yang Efektif

Dalam menentukan kapasitas paling efektif yang dapat ditampung oleh atap, kita dapat menggunakan bantuan beberapa software seperti Autocad 2010 untuk pemodelan dan *Google Earth* untuk mempermudah melihat peta situasi terakurat jika tidak adanya alat bantu berupa pesawat drone. Luasan dua sisi atap (utara dan selatan) masing-masing 322 m² dengan kemiringan sekitar 150. Dengan memperhatikan jenis dan seri panel surya yang sudah ditentukan diawal menggunakan kapasitas 550Wp dengan ukuran panel surya 2278 (p) x 1134 (l) x 35 (t) mm, maka dengan dibantu pemodelan Autocad dapat disusun menjadi 2 baris vertikal panel surya diatas bracket PV. Dan untuk satu sisi atap dapat ditempatkan 6 grup (string) masing-masing 16 lembar panel surya. Jadi, total jumlah panel surya yang memungkinkan dipasang pada permukaan atap gedung A sebanyak :

$$16 \text{ lembar} \times 6 \text{ string} \times 2 \text{ sisi} = 192 \text{ modul panel surya}$$

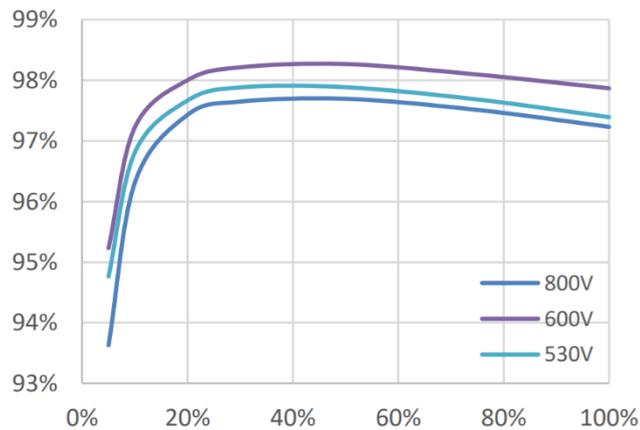
Sedangkan untuk situasi penataan panel surya dapat dilihat dari gambar 6 berikut ini :



Gambar 6. Gedung tampak atap

Menentukan Sistem Konfigurasi Panel Surya yang Efektif

Untuk menentukan sistem konfigurasi PLTS yang efektif, harus ditentukan terlebih dahulu spesifikasi inverter dan pada tegangan input berapa rangkaian panel surya ini dipersiapkan. Pada perencanaan ini dipilih menggunakan inverter Huawei seri SUN2000-50KTL-M3 dengan 3 jenis kurva tegangan inputan yang menentukan tingkat efisiensi inverter, dan diatur pada tegangan antara 600V.



Gambar 7. Efficiency Curve SUN2000-50KTL-M3

Sumber : Huawei SUN2000-50KTL-M3_Datasheet

Sehingga diharapkan efisiensi produktifitas inverter dapat mencapai angka efisiensi diatas 98%. Dan mendekati efisiensi maksimum inverter sebesar 98,5%. Kemudian untuk menghitung rangkaian seri maksimum, mengacu pada tegangan input V_{max} inverter ditambah toleransi 10% berbanding dengan tegangan output V_{mp} modul panel surya dengan perhitungan sebagai berikut :

600 Volt (+10%) : 42,4 Volt = 15,56 dibulatkan 16 modul

Sedangkan untuk menghitung rangkaian paralel maksimum, mengacu pada arus input I_{max} inverter berbanding dengan arus output I_{mp} modul panel surya dengan perhitungan sebagai berikut :

20 A : 12,98 A = 1,54 dibulatkan kebawah menjadi 1 string

Namun, pada *Circuit Diagram* yang tampak pada gambar 4.2b sistem inverter seri SUN2000-50KTL-M3 ini memiliki 4 MPPT dengan masing-masing MPPT melayani 2 input. Sehingga secara perhitungan, 1 MPPT dapat melayani 2 string dengan akumulasi arus tidak lebih besar dari arus MPPT sebesar 30 Ampere. Dan pada sistem yang direncanakan kali ini akan dapat terhubung 6 input serta mengaktifkan 3 sistem MPPT dari 4 MPPT yang tersedia.

Lalu untuk daya eksitasi yang dihasilkan, inverter seri SUN2000-50KTL-M3 ini sudah menggunakan kelas efisiensi yang cukup tinggi yaitu 98,5%. Yang artinya, daya keluaran inverter dapat dihitung sebagai berikut :
 $50.000 \text{ Watt} \times 98,5\% = 49.250 \text{ Watt}$

Atau pada saat $\cos \Phi = 1$ nilai eksitasi inverter dapat dimaksimalkan menjadi :

$55.000 \text{ Watt} \times 98,5\% = 54.175 \text{ Watt}$

Sedangkan untuk daya keluaran P_{out} total, dengan mengalikan jumlah modul dengan daya keluaran P_{out} modul PV dengan perhitungan sebagai berikut :

$550 \text{ Watt} - (550 \times 21,29\%) = 550 - 117,1 = 432,9 \text{ Watt}$

$432,9 \text{ Watt} \times 192 \text{ modul} = 83.117,76 \text{ Watt}$

Akan tetapi, karena pada inverter seri SUN2000-50KTL-M3 sudah memiliki rentang tegangan kerja cukup lebar 200-1000 V dan toleransi fluktuasi daya sebesar 10% sehingga daya output inverter masih mampu untuk menyuplai daya secara optimum.

Mendesain Wiring System Kelistrikan PLTS

Membuat desain wiring system PLTS Rooftop, sistem konfigurasi dan kelistrikan PLTS dapat ditunjang dengan menggunakan program Autocad dengan versi berapapun yang kompatibel dengan perangkat komputer yang ada.

Hal-hal yang perlu dilakukan untuk mendesain sistem konfigurasi dan kelistrikan PLTS diantara lain :

1. Menentukan kabel penghantar yang sesuai untuk sistem PV. Dengan melihat rating current output panel surya, dapat ditentukan kabel penghantar jenis PV-1F cukup berpenampang 2x6 mm² berinti serabut tembaga untuk mempermudah pemasangan konektor MC4.

Tabel 3. Kuat Hantar Arus Kabel Panel Surya

Wire Size	Area mm ²	COPPER	
AWG		VDI	Max. Current
16	1.31	1	10 A
14	2.08	2	15 A
12	3.31	3	20 A
10	5.26	5	30 A
8	8.37	8	55 A

Sumber : www.builder.id/kabel-plts-listrik-surya/

- Menentukan kabel feeder output dari inverter. Karena sudah diketahui seri inverter menggunakan SUN2000-50KTL-M3 dengan rating voltage output 400Vac dan rating current 72,2 A – 79,8A (maksimum). Sehingga untuk kabel NYY ukuran penampang 4x50 mm² dipilih berdasarkan tabel Kuat Hantar Arus SNI 0225:2015.

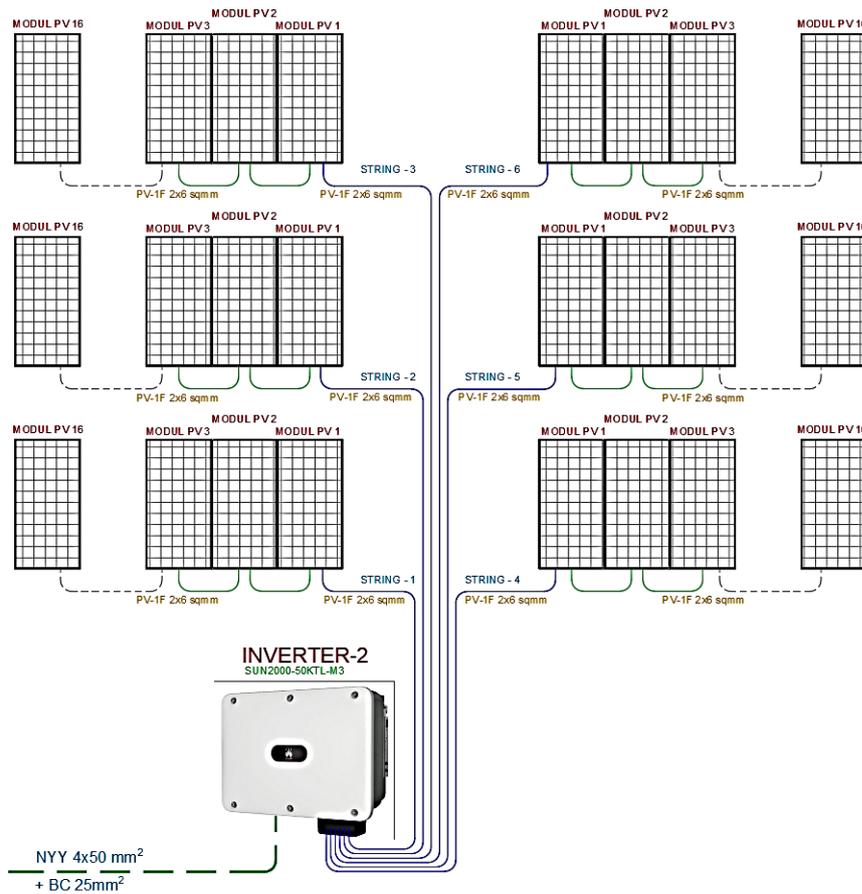
Tabel 4. KHA terus menerus kabel tanah inti tunggal

Jenis kabel	Luas penampang mm ²	KHA terus menerus					
		Inti tunggal		2-inti		3-inti dan 4-inti	
		di tanah	di udara	di tanah	di udara	di tanah	di udara
1	2	3	4	5	6	7	8
	1,5	40	26	31	20	26	18,5
	2,5	54	35	41	27	34	25
	4	70	46	54	37	44	34
	6	90	58	68	48	56	43
NY Y	10	122	79	92	66	75	60
NY B Y	16	160	105	121	89	98	80
NY FG b Y							
NY R G b Y	25	206	140	153	118	128	106
NY C Y	35	249	174	187	145	157	131
NY C W Y	50	296	212	222	176	185	159
NY S Y							
NY C E Y	70	365	269	272	224	228	202
NY S E Y	95	438	331	328	271	275	244
NY H S Y	120	499	386	375	314	313	282

Sumber : SNI 0225:2015

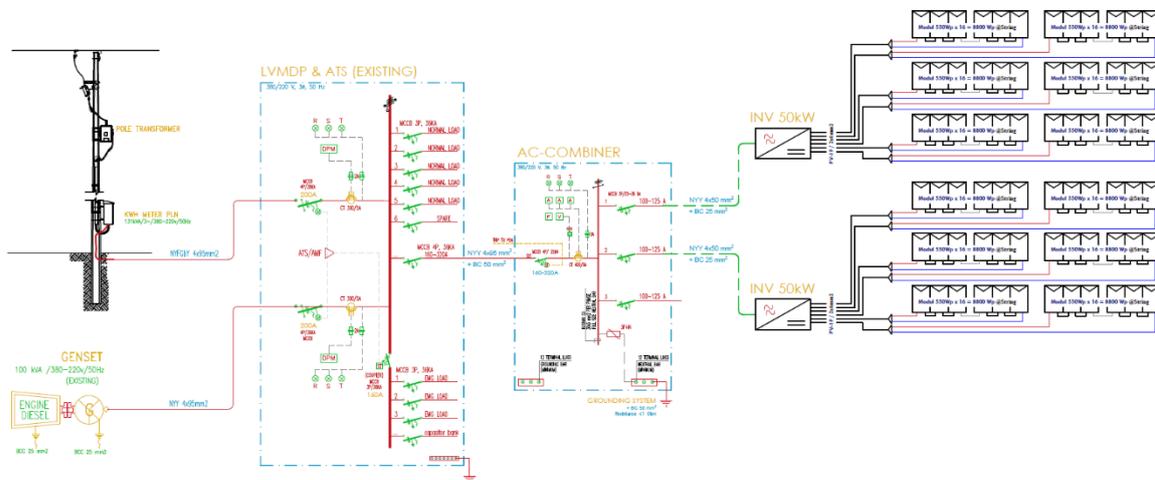
Pemilihan kabel NYY 4x50mm² dengan dasar arus maksimal untuk pemutus dan pengaman utama pada panel hubung bagi yang menjadi pengaman inverter menggunakan pengaman 100-125A, dan kapasitas penghantar dinaikkan 1 step dari kapasitas KHA terdekat sehingga didapat ukuran penampang 50 mm² dengan KHA 159A (di udara).

- Menentukan pemutus dan pengaman inverter. 2wPemutus dan pengaman utama jalur inverter sebelum disuplai ke panel MDP ditentukan dari nilai arus maksimum keluaran inverter yaitu sebesar 79,8 Ampere. Sehingga dapat dipasang pengaman dan pemutus pada nominal 100-125A/22-36kA.
- Menentukan jalur dan peletakan peralatan sistem PLTS. Peralatan PLTS harus diletakkan ditempat yang memudahkan untuk pengawasan, perawatan dan terhindar dari air, dari benda-benda yang dapat menghalangi dan mengganggu fungsi inverter serta aman dari jangkauan tangan anak-anak. Sistem proteksi jalur juga dapat direkayasa dengan menggunakan bantuan *cable tray/ducting protector* baik berbahan PVC maupun BJLS yang tahan karat.
- Memiliki titik sumuran pembumian (*Grounding*) independen. Titik pembumian peralatan PLTS harus terpisah dari sistem kelistrikan yang lain dan harus memiliki nilai resistansi pembumian yang mumpuni (< 2 Ohm) untuk sistem kelistrikan elektronik inverter. Karena inverter seri SUN2000-50KTL-M3 sudah memiliki Surge Protection Device AC dan DC (type II) tertanam dalam perangkat inverter, jadi pengaplikasian sistem pembumian ini cukup dihubungkan pada terminasi PE yang tersedia pada unit Inverter.
- Mendesain Panel AC Combiner yang berfungsi sebagai penerima daya eksitasi dari 2 unit inverter yang dipakai. Sehingga sebelum disambung ke jaringan distribusi panel MDP Gedung A, jalur kelistrikan PLTS dikendalikan di panel AC Combiner ini.
- Menggambar jalur dan wiring system PLTS. Membuat pemodelan sistem PLTS harus mudah dipahami oleh tenaga teknis sebagai aplikator maupun user sebagai pemilik instalasi, sehingga memudahkan perawatan dan penambahan sistem dikemudian hari.



Gambar 8. Single Line Wiring Diagram sistem 1 Inverter (Typical)

Pada gambar 8 diatas, sistem pengkabelan panel surya dihubung seri dari 16 modul dalam 1 string, kemudian 6 string ini dapat terkoneksi langsung ke inverter dengan kabel PV-1F 2x6 mm² pada tiap jalurnya berupa tegangan DC. Kemudian kabel keluaran dari inverter berupa tegangan AC 3 Phase 380V 50Hz menggunakan kabel NYY 4x50 mm² + BC 25 mm² menuju ke panel AC Combiner. Pada Panel AC Combiner, breaker nominal 100-125A/22-36 kA dipilih sebagai pengaman dan pemutus jaringan suplai dari inverter-1 dan 2. Sistem ini dilayani pada busbar tembaga utama dengan kemampuan hantar arus sebesar 2x dari kapasitas arus yang dilayani.



Gambar 4.8 Single Line Wiring Diagram AC Combiner

Breaker utama panel *AC Combiner* bernominal 160-320A/36kA berperan sebagai pengaman dan pemutus utama sistem PLTS. Breaker ini dilengkapi dengan *motorized, Under-Upper Voltage Relay, Shunt Trip* dan *Normaly Close Contact* sebagai Auxiliary Contact. Auxiliary Contact ini berperan sebagai Sistem Trip To PLN, yang berfungsi sebagai trigger guna menonaktifkan sistem bilamana terjadi pemadaman listrik oleh PLN, karena sistem PLTS On-grid tidak diijinkan menyuplai listrik jika terjadi pemadaman listrik dari PLN.

Menghitung Beban Tagihan Listrik Eksisting

Dari Tabel 2 Rekap daya dan informasi tagihan listrik Gedung A diketahui berlangganan kelas tarif S2/TR (Sosial-2/Tegangan Rendah <200kVA) maka dapat dibuatkan simulasi beban daya listrik sesaat dengan dukungan data 3 bulan terakhir pada tabel 4 sebagai berikut :

Tabel 4. Perhitungan rata-rata tagihan listrik Gedung A

Periode	Load (kWh) (per bulan)	Rp Load (RM 40jam)	Rp (kWh) 900,00	Rp PPJ 8%	Rp Materai	Rp Tagihan
05/01/2024	43.297,05	7.092.000	38.967.344	3.695.547	10.000	49.764.891
08/02/2024	40.335,00	7.092.000	36.301.499	3.482.280	10.000	46.885.779
09/03/2024	26.369,84	7.092.000	23.732.852	2.476.788	10.000	33.311.640
Rata-rata	36.667,29		33.000.565			43.320.770

Dengan pertimbangan beberapa data yang diambil pada tabel 4 di atas, sampel ini bersifat fluktuatif dilokasi, maka diambil pemakaian listrik rata-rata Gedung A sebesar 36.667,29 kWh/bulan atau sekitar 1.222 kWh/hari.

Menghitung Anggaran dan Biaya Pemasangan PLTS

Sebelum menyusun Rancangan dan Anggaran Biaya, harus dilakukan survey pasar terkait harga material dan jasa update dan diberikan faktor eskalasi harga untuk mengantisipasi kenaikan harga. Sehingga jika suatu saat desain dilakukan realisasi, nilai RAB dapat dipertanggungjawabkan dan diterapkan dengan beberapa pertimbangan tersebut.

Tabel 5. Rencana Anggaran dan Belanja PLTS *On-Grid Rooftop*

No.	Item	Qty	UoM	Harsat (Rp.)	Jumlah (Rp.)
1	Panel Surya 550 Wp	192	Unit	3.950.000	758.400.000
2	Kabel PV-1F 2x6 mm2	1440	m'	28.450	40.968.000
3	Cable Tray 200x50 + Cover	308	m'	477.800	147.162.400
4	Inverter 50 kW	2	Unit	49.788.620	99.577.240
5	Kabel NYY 4x50 mm2	121	m'	515.000	62.315.000
6	Kabel NYY 4x95 mm2	28	m'	833.600	23.340.800
7	Kabel BC 50 mm2	49	m'	63.000	3.087.000
8	Kabel BC 25 mm2	121	m'	91.000	11.011.000
9	Ground Rod 5/8" Copper	1	set	1.615.000	1.615.000
10	Panel AC Combiner	1	Unit	24.570.000	24.570.000
11	Bracket System	1	Lot	75.840.000	75.840.000
12	Test and Commissioning	1	Ls	15.000.000	15.000.000
13	Pengurusan SLO 100 kWp	100.000	wp	100	10.000.000
Grand Total					1.272.886.440
Beban anggaran (Rp/kW)					12.729

3.11 Menghitung Nilai *Net Present Value* Sistem PLTS

Penghitungan Net Present Value (NPV) ini diperlukan guna mengetahui, apakah suatu sistem yang dibangun memberikan keuntungan secara ekonomi atau tidak. Langkah perhitungan NPV sebagai berikut :

Net Present Value

Modal (investasi)	:	1.272.886.440
Biaya Operasional tahunan	:	15.000.000
Pemasukan Bersih per tahun	:	128.443.500
Discount Rate	:	7%
Eskalasi TDL tahunan	:	3%

Data Payback Period

Tahun	Operasional (Rp)	Produksi (kWh)	TDL (Rp/kWh)	Income (Rp.)	Kumulatif Kas
0					
1	15.000.000	142.287	900	128.058.300	113.058.300
2	15.750.000	141.291	927	130.976.749	228.285.049
3	16.537.500	140.302	955	133.961.709	345.709.257
4	17.364.375	139.320	983	137.014.696	465.359.579
5	18.232.594	138.345	1.013	140.137.261	587.264.246
6	19.144.223	137.376	1.043	143.330.989	711.451.012
7	20.101.435	136.415	1.075	146.597.502	837.947.079
8	21.106.506	135.460	1.107	149.938.460	966.779.033
9	22.161.832	134.511	1.140	153.355.557	1.097.972.758
Tahun	Operasional (Rp)	Produksi (kWh)	TDL (Rp/kWh)	Income (Rp.)	Kumulatif Kas
10	23.269.923	133.570	1.174	156.850.530	1.231.553.365
11	24.433.419	132.635	1.210	160.425.154	1.367.545.099
12	25.655.090	131.706	1.246	164.081.243	1.505.971.252
13	26.937.845	130.784	1.283	167.820.655	1.646.854.061
14	28.284.737	129.869	1.322	171.645.287	1.790.214.612
15	29.698.974	128.960	1.361	175.557.083	1.936.072.721
16	31.183.923	128.057	1.402	179.558.029	2.084.446.828
17	32.743.119	127.161	1.444	183.650.157	2.235.353.865
18	34.380.275	126.271	1.488	187.835.544	2.388.809.135
19	36.099.289	125.387	1.532	192.116.316	2.544.826.162
20	37.904.253	124.509	1.578	196.494.647	2.703.416.556
			Jumlah	3.199.405.867	26.788.889.967
	Total Energy		3.199.405.867		
	Investasi		1.272.886.440		
	Selisih		1.926.519.427		
	NPV		2.885.322.785	<i>Positif</i>	

Dengan perhitungan diatas, dapat disimpulkan besarnya biaya investasi yang dikeluarkan senilai Rp. 1.272.886.440 akan kembali pada rentang tahun ke 10-11. Dengan masa visibilitas sistem PLTS terpakai 20 tahun. Dan berpotensi memberikan keuntungan dari sistem PLTS dengan total akumulasi kas sebesar Rp. 26.788.889.967 pada tahun ke-20.

KESIMPULAN

1. Berlokasi di atap Gedung A Kampus ITNY yang memiliki luasan atap efektif 644 m² membujur dari barat ke timur. Terbagi menjadi 2 sisi, dengan sisi atap yang digunakan menghadap utara dan selatan dengan sudut kemiringan sekitar 15⁰ dan pergeseran azimuth dari kutub utara sekitar 11⁰ clockwise.
2. Dari luasan atap Gedung A yang efektif ini dapat terpasang 192 lembar panel surya seri ICA550-72HMI dengan daya eksitasi maksimum 550 Wp tiap panel dan daya total terpasang sebesar 105.600 Wp. Susunan konfigurasi panel surya terbagi menjadi 16 unit panel surya terpasang paralel tiap jalur, 6 jalur untuk masing-masing inverter dan terlayani menggunakan 2 unit inverter seri Huawei SUN2000-50KTL-M3 dengan kapasitas efektif 50.000 Watt tiap unitnya. Sehingga daya listrik yang dapat dibangkitkan sebesar 100 kW atau 100 kVA dengan Cos Q =1.
3. Rangka atap Gedung A menggunakan jenis rangka kayu dengan konstruksi gunungan khas Joglo, dengan atap menggunakan bahan beton precast. Dengan hasil Analisa Struktur masih mampu untuk menopang beban Instalasi PLTS seberat 15kg/m², dan beban-beban lain yang telah disimulasikan menggunakan program SAP2000. Hasil dari simulasi beban tersebut mengkatégorikan rangka konstruksi/struktur atap Gedung A masih aman untuk diberikan beban sistem PLTS.
4. Nilai investasi yang dibutuhkan untuk mengimplementasikan sistem PLTS Roof Top ini sebesar Rp. 1.272.886.440 (pada kurs 1 USD = 15.800 IDR) dan akan kembali modal dalam waktu 10 hingga 11 tahun.

SARAN

Untuk dapat mengimplementasikan desain hasil perancangan sistem PLTS Roof Top ini, penulis menyampaikan beberapa saran dan masukan bilamana sistem ini dijadikan acuan dalam realisasi konstruksi sistem PLTS, diantaranya :

1. Perlu dilakukan pengecekan berkala secara mendetail terkait kondisi rangka struktur atap, dikarenakan rangka terbuat dari struktur dari kayu yang berpotensi lapuk karena umur konstruksi.
2. Pembiayaan ini hanya berlaku mengikuti besaran kurs tukar mata uang dollar yang berlaku karena mengingat harga metal dan elektronik dunia sedikit banyak terpengaruh juga terhadap kurs tukar mata uang asing terhadap rupiah, khususnya dollar Amerika (USD).
3. Perlunya meng-update teknologi terkini terkait panel surya dan inverter yang semakin canggih dan lengkap fiturnya dari tahun ke tahun. Sehingga sangat memungkinkan sekali jika dikemudian hari, spesifikasi komponen utama diganti menggunakan unit terbaru dengan spesifikasi yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Setyo Pambudi, M.T, selaku Rektor ITNY, Bapak Dr. Ir. Hill Gendoet Hartono, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Perencanaan ITNY, Bapak Bagus Gilang Pratama, S.T., M.Eng. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro ITNY, Ibu Diah Suwanti Widiastuti, S.T, M.Eng dan Bapak Dr. Ir. Daru Sugati, ST, M.T dan selaku dosen pembimbing, serta keluarga dan rekan-rekan yang telah mendukung penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Albert Gifson, Masbah RT Siregar, Priyo Pambudi M. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (On-Grid) Pada Ecopark Ancol, Naskah publikasi, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Sekolah Tinggi Teknik PLN. 2020.
- [2] Dewi Purnama Sari, Novi Kurniasih, Agus Sugianto. Kajian Perencanaan PLTS Terhubung Grid Untuk Melayani Suplai Daya Listrik Di Menara STT-PLN. Naskah publikasi, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Sekolah Tinggi Teknik PLN. 2018.
<https://iklim.bmkg.go.id/bmkgadmin/storage/brosur/Leaflet%20Matahari.pdf>
- [3] Idzani Muttaqin, Gusti Irhamni, Wahyu Agani. Analisa Rancangan Sel Surya Dengan Kapasitas 50 Watt Untuk Penerangan Parkiran UNISKA. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari. 2016.
- [4] I Gede Agus Januar Ariawan, Ida Ayu Dwi Giriantari, I Wayan Sukerayasa. Perancangan PLTS Atap di Gedung Graha Sewaka Dharma, *Jurnal SPEKTRUM*. 2021; Vol.8 Universitas Udayana Bali.
- [5] Luthfian Ramdhan, Deria Pravitasari, Andriyatna Agung Setiawan. Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Atap Ongrid Residensial Berkapasitas 46,6 kWp Serpong Tangerang. *Journal of Electrical Engineering, Computer, and Information Technology, Universitas Tidar*. 2023.
- [6] Kalogirou, Soteris A. Solar Energy Engineering: Processes and System.

- [7] Muhammad Affan Nur Ubbacet. Evaluasi Kelayakan Pengaman Instalasi Listrik Gedung A Kampus ITNY, Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta. 2023.
- [8] Nike Sartika, Anisa Nur Rahmah Fajri, Lia Kamelia. Perancangan dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap pada Masjid Jami' Al Muhajirin Bekasi, Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, UIN Sunan Gunung Djati Bandung. 2023.
- [9] Rafli, Jumiati Ilham, Sardi Salim. Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS Rooftop Pada Gedung Fakultas Teknik UNG., Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering, Prodi Teknik Elektro, Universitas Negeri Gorontalo. 2022.
- [10] Slamet Hani, Gatot Santoso, Subandi, Nur Arifin. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On-Grid Dengan Sistem DC Coupling Berkapasitas 17 kWp Pada Gedung, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta. 2020.
- [11] SNI 0225:2011/Amd 6:2016, Persyaratan umum instalasi listrik 2011 (PUIL 2011) - Amandemen 6, Badan Standarisasi Nasional.
- [12] Yuan Perdana, Isna Wardiah, Edi Yohanes. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid 5500 Watt Di Rumah Kost Akademi Naskah publikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Banjarmasin. 2018.