

Rancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid Kapasitas 20 kWp untuk Residensial

Daryal Fuaddin, Aceng Daud, ST., M.Eng.

Program Studi Teknologi Pembangkit Tenaga Listrik,

Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

email : daryal.fuaddin.tptl14@polban.ac.id; aceng.daud@polban.ac.id

Abstrak

Pada rancangan proyek ini akan dirancang PLTS berkapasitas 20 kWp pada atap rumah yang mampu membangkitkan 20 kW pada jam-jam efektif mataharinya. Rancangan PLTS ini akan terdiri dari panel-panel surya inverter dan beberapa alat pengaman serta kWh meter, namun pada studi ini akan membahas panel surya dan inverternya saja. Kemudian akan membahas analisis pengaruh pergerakan matahari dan orientasi pemasangan, analisis produksi dan rugi-rugi pembangkitan, analisis manfaat penghematan dan analisis ekonominya. Rancangan disimulasikan dengan aplikasi PVSyst dengan input 56 modul ber-plot 4 string dan 2 array. Analisis perspektif plotting untuk mengetahui pengaruh pergerakan matahari dan orientasi plotting terhadap besar produksi energi listrik juga dilakukan. Dari hasil simulasi, didapatkan besar pengurangan energi iradiasi matahari pada kolektor sebesar 15,4%. Kemudian Produksi energi listrik satu tahun simulasi dapat mencapai 23.753 kWh sesuai dengan plotting panel serta pengaruh kemiringan panel dan pergerakan mataharinya. Rugi-ruginya mencapai angka 17% sehingga rasio pembangkitannya 0.822 yang cukup baik untuk sebuah PLTS karena pada umumnya hanya 0,75 saja. Rugi kolektornya (Array losses) mencapai 0,62 kWh/kWp per harinya sedangkan rugi sistemnya mencapai 0,1 kWh/kWp per harinya. Untuk rincian rugi-ruginya juga dapat di rangkum dalam loss diagram. Payback periodnya pada tahun ke 10 yang dimana waktu asuransi tiap panel suryanya hanya 10 tahun. Lalu dilihat dari nilai NPV pada tahun ke-25 proyek (umur pembangkit), nilainya sebesar Rp 303.272.654,4. Manfaat penghematan juga sangat baik karena mencapai angka rasio sekitar 44%-50%.

Kata Kunci: PVSyst, Loss diagram, NPV, Sun Path Diagram, PLTS.

I. PENDAHULUAN

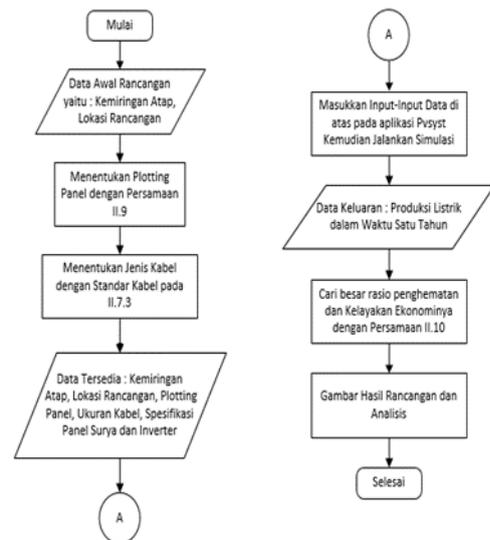
Energi listrik sudah menjadi kebutuhan sehari-hari bagi rakyat dunia. Perkembangan budaya global juga sangat memicu berkembangnya kebutuhan listrik. Begitu juga Indonesia yang merupakan salah satu negara berkembang, melakukan banyak pembangunan dalam lingkup pemukiman, lahan kerja dan sebagainya sehingga kebutuhan energi listrik meningkat tajam. Perkembangan fasilitas pembangkitan listrik di Indonesia sudah marak seiring dengan adanya rencana daya listrik 35.000 MW pada era kepemimpinan presiden Joko Widodo.

Pembangkit listrik tenaga bersih dan terbarukan menjadi hal yang sangat menarik untuk dikembangkan karena tidak merusak lingkungan dan memiliki sumber tak terbatas. PLTS memiliki kemampuan untuk mengkonversi energi yang dihasilkan oleh radiasi matahari namun memiliki beberapa kekurangan. Pengoperasian PLTS hanya dapat dilakukan beberapa jam saja yaitu ketika adanya sinar matahari (pagi hari sampai sore hari). Sudah banyak pula pengembangan PLTS dengan menggunakan metode energystorage yang berupa baterai untuk menyimpan kelebihan energi yang dibangkitkan agar dapat digunakan pada malam hari.

Namun penggunaan energy storage menambah biaya pemasangan dan biaya pemeliharaan. Oleh karena itu dalam karya tulis ini akan dibahas perancangan sistem ongrid yang terpasangi sistem net-metering PLN. Dengan sistem ini kelebihan pembangkitan energi listrik tidak akan disimpan pada baterai melainkan akan dijual pada PLN. Dengan metode ini tempat-tempat yang dipasang panel surya akan berperan juga dalam pembangkitan listrik nasional

II. METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan PLTS on-grid kapasitas 20 kWp bertahap seperti Gambar.1.



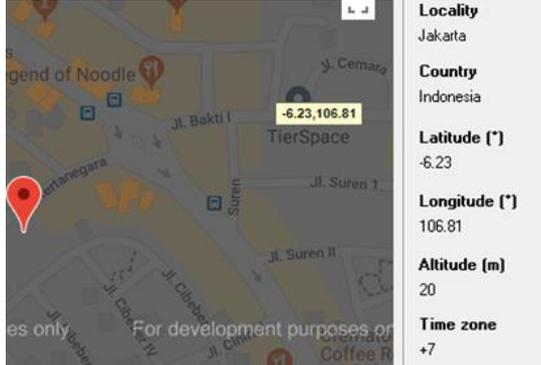
Gambar.1 Diagram alir rancangan PLTS

II.1 Orientasi Panel Surya dan Data Matahari

Data awal berupa kemiringan atap 45° menghadap barat dan timur karena rumah menghadap ke utara (Gambar 2). Selain itu lokasi rancangan berada di Jakarta (Gambar 3)



Gambar 2. Kemiringan Atap (Orientasi)



Gambar 3. Lokasi Rancangan

Data source: **Meteonorm 7.2 (2010-2014), Sat=100%**

	Global Irrad. W/m ²	Diffuse W/m ²	Temper. °C	Wind Vel. m/s
January	146.9	86.3	25.8	1.61
February	166.5	108.2	25.5	1.60
March	191.4	90.5	26.1	1.60
April	204.6	103.1	26.1	1.30
May	200.8	96.1	26.5	1.09
June	196.3	89.0	25.8	1.08
July	197.8	93.5	25.9	1.09
August	226.2	103.8	26.0	1.20
September	224.4	113.8	26.1	1.20
October	211.2	119.8	26.7	1.30
November	240.3	116.1	26.0	1.19
December	177.3	105.6	25.9	1.50
Year	198.7	102.1	26.0	1.3

Gambar 4. Data Matahari

Dapat dilihat dari Gambar 4 yang merupakan antarmuka aplikasi PVsyst yang menampilkan data matahari setelah membaca inputan lokasi.

II.2 Menentukan Plotting PLTS

Plotting panel dapat ditentukan dengan rumus-rumus berikut

$$\text{Jumlah modul PV} = \frac{\text{Kapasitas rancangan PLTS}}{\text{Kapasitas panel surya}} \dots \quad (1)$$

$$V_{mpp \text{ total}} = \text{Jumlah modul PV} \times V_{mpp/\text{Modul}} \dots \dots \quad (2)$$

$$V_{mpp} = V_{mpp \text{ total}} / \text{jumlahstring} \dots \dots \dots \quad (3)$$

Dengan syarat-syarat

- $V_{\text{startup}} < V_{mpp} < V_{m\text{ppt}}$
- $I_{m\text{pp}} < I_{m\text{ppt}}$
- $V_{m\text{pp}}$ = Tegangan dalam 1 seri (string) panel surya
- $I_{m\text{pp}}$ = Arus dalam 1 paralel (array) panel surya
- $V_{m\text{ppt}}$ = Tegangan nominal inverter
- $I_{m\text{ppt}}$ = Arus nominal inverter

Panel Surya yang digunakan adalah REC 350 TwinPeak 2S 72 yang menghasilkan 350 W pada kondisi STC (Standard Test Conditions), di mana tegangan nominalnya adalah 38,9 V dan arus nominalnya 9 A.

Inverter yang digunakan adalah ABB TRIO-20.0-TL-OUTD yang dimana tegangan start-upnya adalah 420 V lalu tegangan nominal inverternya adalah 620 V dan arus nominalnya adalah 25 A masing-masing input MPPT-nya (maksimal bila parallel atau kedua input MPPT digunakan 50 A).

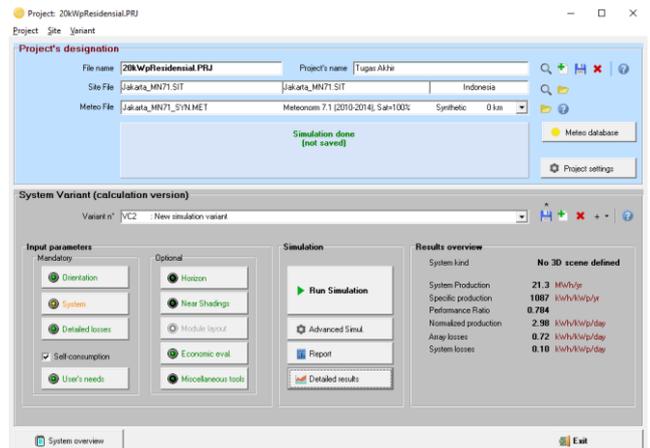
Ukuran kabel dapat ditentukan dengan standar AKLI pada Tabel II.1 berikut.

Tabel II.1. Standar AKLI

BESARAN DAYA YG TERSEDIA	Watt	GOL	MCB / MCCB	V	Type Kabel Toefoer	Besar Kabel by AKLI
450	0,45	360	TR 2 1 φ	220 V	NYY / NYM	3 x 2,5 mm ²
900	0,9	720	TR 4 1 φ	220 V	NYY / NYM	3 x 2,5 mm ²
1.300	1,3	1.040	TR 6 1 φ	220 V	NYY / NYM	3 x 4 mm ²
2.200	2,2	1.760	TR 10 1 φ	220 V	NYY / NYM	3 x 4 mm ²
3.500	3,5	2.800	TR 16 1 φ	220 V	NYY / NYM	3 x 4 mm ²
4.400	4,4	3.520	TR 20 1 φ	220 V	NYY / NYM	3 x 4 mm ²
5.500	5,5	4.400	TR 25 1 φ	220 V	NYY / NYM	3 x 4 mm ²
7.700	7,7	6.160	TR 35 1 φ	220 V	NYY / NYM	3 x 6 mm ²
11.000	11	8.800	TR 50 1 φ	220 V	NYY / NYM	3 x 6 mm ²
13.900	13,9	11.120	TR 63 1 φ	220 V	NYY / NYM	3 x 10 mm ²
3.949	3.900	3,9	3.159	TR 6 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 4 mm ²
6.582	6.600	6,6	5.265	TR 10 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 4 mm ²
10.531	10.600	10,6	8.425	TR 16 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 6 mm ²
13.164	13.200	13,2	10.531	TR 20 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 10 mm ²
16.454	16.500	16,5	13.164	TR 25 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 10 mm ²
23.036	23.000	23	18.429	TR 35 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 16 mm ²
32.909	33.000	33	26.327	TR 50 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 16 mm ²
41.465	41.500	41,5	33.172	TR 63 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 25 mm ²
52.654	53.000	53	42.123	TR 80 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 35 mm ²
65.818	66.000	66	52.654	TR 100 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 50 mm ²
82.272	82.500	82,5	65.818	TR 125 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 50 mm ²
105.309	105.000	105	84.247	TR 160 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 70 mm ²
131.636	131.000	131	105.309	TR 200 3 φ	380 V	NYY / NYFGBY 4 x 95 mm ²

II.3 Simulasi Rancangan dengan aplikasi PVsyst

Parameter-parameter input yang telah didapat sebelumnya berupa kemiringan atap, plotting panel surya, lokasi rancangan dan ukuran kabel dapat dimasukkan ke dalam aplikasi PVsyst untuk disimulasikan. Gambar 5 adalah antarmuka PVsyst untuk rancangan on-grid.



Gambar 5. Antarmuka PVsyst

Gambar 5 di atas adalah antarmuka PVsyst. Terlihat pada gambar ada opsi Meteo database, Orientation, System dan Detailed Losses. Masukkan input lokasi rancangan pada opsi Meteo database, input kemiringan atap pada opsi Orientation, input plotting panel surya, tipe PV dan tipe inverter pada opsi System dan masukkan input ukuran kabel pada opsi Detailed losses.

II.4 Evaluasi Ekonomi Rancangan

Setelah parameter-parameter input disimulasikan oleh PVsyst yang menghasilkan data produksi, selanjutnya dibuat evaluasi kelayakan ekonominya dengan rumus-rumus berikut:

$$Net\ Cash\ Flow = \sum_{y=1}^n \frac{(S_y \times P_{p,y} + G_{tot,y} \times P_{ec,y} + O_y \times P_{gh,y} - k \times I_o - F_{fee})}{(1+r)^{y-1}} \tag{4}$$

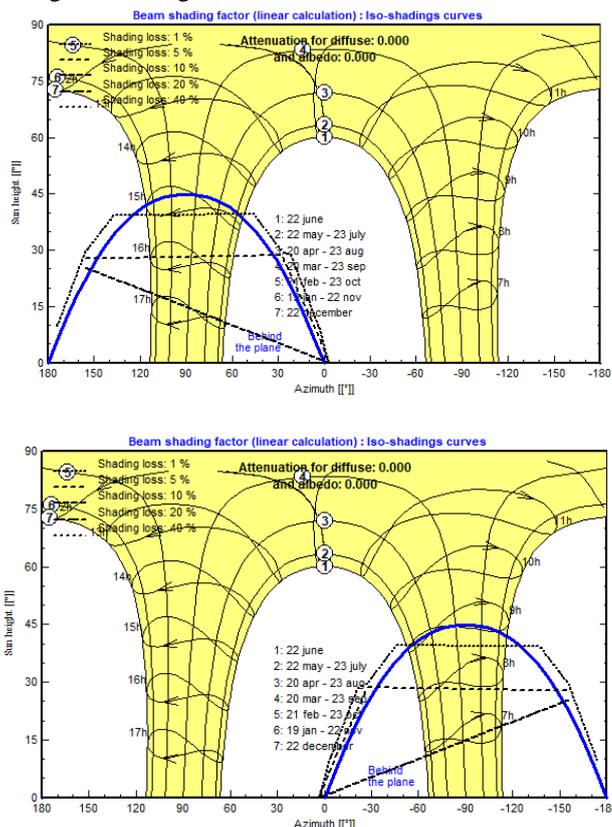
Cash flow dicari untuk membuat kurva NPV selama umur pembangkitan yaitu 25 tahun.

Berikut rumus NPV-nya:

$$NPV = Net\ Cash\ Flow - I_o - \frac{I_R}{(1+r)^{15}} \tag{5}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

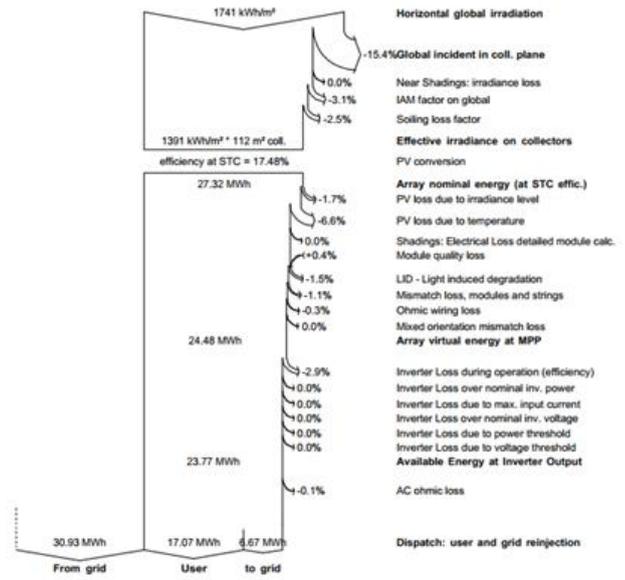
Gambar 6 di bawah ini merupakan hasil dari simulasi berupa pengaruh pergerakan matahari yang di mana gambar pertama adalah kurva waktu orientasi 1 panel surya yang dipasang menghadap ke timur dengan kemiringan orientasi 45°, sedangkan gambar kedua adalah orientasi 2 panel surya yang menghadap ke barat dengan kemiringan orientasi 45°



Gambar 6. Sun Path Diagram

Pada Gambar 6 dapat dilihat sun path diagram yang merupakan kurva waktu ketika masing-masing orientasi tertutupi oleh matahari. Jadi dapat dilihat bahwa orientasi 1 panel surya membelakangi matahari setelah jam 3 sore, kemudian orientasi 2 panel surya membelakangi matahari sebelum jam 9 pagi.

Kemudian untuk hasil simulasi berupa besar rugi-rugi ada di bawah ini



Gambar 7. Loss Diagram

Gambar 7. adalah loss diagram yang merupakan diagram yang menjelaskan rugi-rugi dari iradiasi matahari yang datang sampai rugi-rugi sistem di dalam PLTS. Pada awal gambar diberikan data total energi yang dapat diterima oleh sel PV per meter persegiannya bila posisinya horizontal pada permukaan bumi sebesar 1741 kWh/m² (Horizontal Global Irradiation).

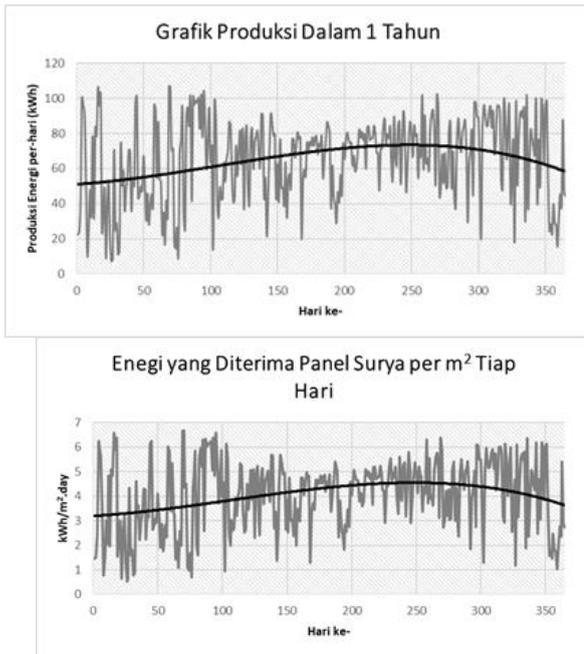
Pengurangan energi yang diterima sebesar 15,4%, yang di mana hal ini disebabkan oleh faktor peletakkan panel surya dan faktor perubahan posisi matahari tiap harinya. Faktor peletakkan sel ini dijelaskan pada analisis pergerakan matahari sebelumnya.

IAM losses (rugi refleksi iradiasi matahari pada panel surya) dari sistem sebesar 3,1%, hal ini disebabkan oleh pantulan pada bahan gelas yang menjadi pelindung sel-sel PV didalamnya. Kemudian rugi kotor (soiling factor) sebesar 2,5% adalah input yang dimasukkan berdasarkan besar umum yang diberikan oleh aplikasi PVsyst. Lalu faktor bayangan (near shading) sebesar 0 % karena tidak ada pepohonan yang lebih tinggi dari atap rumah lokasi proyek PLTS 20 kWp residensial ini. Sehingga besar iradiasi yang efektif diterima kolektor (sel surya) adalah sebesar 1391 kWh/m².

PV irradiance level sebesar 1,7%, di mana losses ini dipengaruhi oleh besar iradiasi. Efisiensi pembangkitan akan berkurang bila iradiasi matahari yang diterima juga kecil. Kemudian faktor akibat temperatur sebesar 6,6%, di mana bila suhu naik akan menyebabkan kenaikan arus dan turunnya tegangan yang berarti akan terjadi panas berlebih atau dapat disebut daya yang hilang. Kemudian parameter seperti module quality loss, light induced degradation, ohmic losses, dan inverter loss adalah parameter berdasarkan hasil simulasi dari spesifikasi yang digunakan dalam proyek.

Dari losses diagram (Gambar 7) dapat ditunjukkan bahwa energi yang dapat dibangkitkan sistem sebesar 27,32 MWh mengalami penurunan akibat rugi-rugi dalam sistem hingga 23,77 MWh. Kemudian pada bagian bawah dijelaskan bahwa penggunaan pertahun rumah yang mencapai 48 MWh dapat membuat penggunaan listrik dari grid sekitar 30,93 MWh karena 17,07 MWh-nya didapat dari hasil pembangkitan, dan daya hasil pembangkitan berlebih ketika jam efektif mataharinya dapat dijual ke grid sebesar 6,67 MWh.

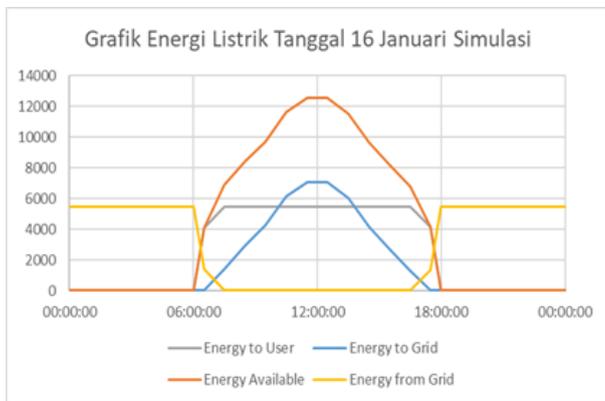
Gambar 8 merupakan perbandingan iradiasi yang diterima kolektor (panel surya) dan energi yang diproduksi setiap harinya dalam 1 tahun simulasi.



Gambar 8. Perbandingan Iradiasi Matahari pada Kolektor dengan Produksi Listrik Harian

Dari Gambar 8 di atas, dapat dilihat bahwa besar produksi listrik berbanding lurus dengan besar energi iradiasi matahari yang diterima kolektor atau panel surya (Global Incident on Collector Plane).

Gambar 9. di bawah ini adalah grafik penggunaan listrik rumah dalam 1 hari simulasi.



Gambar 9. Grafik Penggunaan Energi Listrik Harian

Dapat dilihat dari mulainya hari sampai jam 6 pagi listrik digunakan adalah listrik dari grid karena belum adanya produksi listrik dari panel surya. Kemudian mulai dari jam 6 pagi listrik dari grid mulai menurun karena konsumen mulai menerima listrik dari panel surya. Setelah panel surya sudah memenuhi kebutuhan konsumen, pln tidak lagi menyuplai listrik ke konsumen melainkan panel surya akan menyuplai listrik ke pln bila terjadi produksi berlebih. Hal ini, bila dilihat pada grafik, terjadi sekitar mulai jam 7. Lalu mulai dari jam 5 sore PLN kembali menyuplai listrik ke konsumen karena panel surya mulai tak bisa memenuhi kebutuhan konsumen. Setelah jam 6 sore, PLN kembali dengan penuh menyuplai energi listrik kepada konsumen karena matahari sudah terbenam.

Grafik di atas hanyalah sebuah contoh ketika hari sedang cerah sehingga tidak ada gangguan pada produksi listrik ketika siang

hari. Dari PVsyst ada contoh di mana produksi listrik terganggu pada siang hari sehingga PLN tetap menyuplai listrik pada konsumen. Hal ini terjadi karena adanya hujan atau awan mendung yang menghalangi iradiasi matahari yang jatuh ke panel surya.

Gambar 10 adalah rangkuman performa PLTS on-grid selama 1 tahun simulasi.

Results overview	
System kind	Sheds on a building
System Production	23.8 MWh/yr
Specific production	1212 kWh/kWp/yr
Performance Ratio	0.822
Normalized production	3.32 kWh/kWp/day
Array losses	0.62 kWh/kWp/day
System losses	0.10 kWh/kWp/day

Gambar 10. Overview Hasil Rancangan

Bila dilihat dari gambar di atas rasio performa pembangkit sebesar 0,822 sudah cukup baik bila pada umumnya hanya 0,75 saja. Rugi kolektornya (Array losses) mencapai 0,62 kWh/kWp per harinya sedangkan rugi sistemnya mencapai 0,1 kWh/kWp tiap harinya. Rugi-rugi ini dijelaskan pada analisis loss diagram sebelumnya.

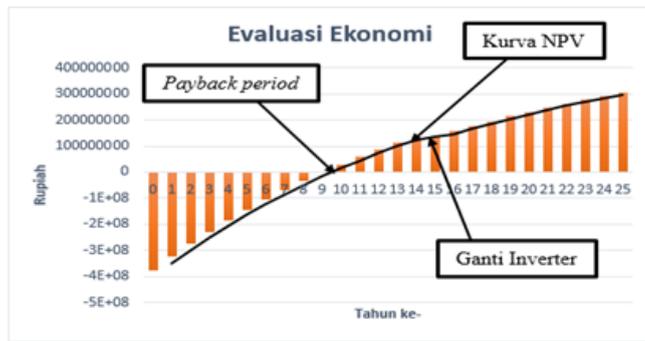
Tabel 2 di bawah ini merupakan rasio penghematan pembangkit selama umur pembangkit.

Tabel 2. Manfaat Penghematan yang diterima user

Tahun ke-	Konsumsi Energi kWh	Produksi Energi kWh	Penghematan %
1	48000	23753	49,49%
2	48000	23634,235	49,24%
3	48000	23516,06383	48,99%
4	48000	23398,48351	48,75%
5	48000	23281,49109	48,50%
6	48000	23165,08363	48,26%
7	48000	23049,25821	48,02%
8	48000	22934,01192	47,78%
9	48000	22819,34186	47,54%
10	48000	22705,24515	47,30%
11	48000	22591,71893	47,07%
12	48000	22478,76033	46,83%
13	48000	22366,36653	46,60%
14	48000	22254,5347	46,36%
15	48000	22143,26203	46,13%
16	48000	22032,54572	45,90%
17	48000	21922,38299	45,67%
18	48000	21812,77107	45,44%
19	48000	21703,70722	45,22%
20	48000	21595,18868	44,99%
21	48000	21487,21274	44,77%
22	48000	21379,77667	44,54%
23	48000	21272,87779	44,32%
24	48000	21166,5134	44,10%
25	48000	21060,68083	43,88%

Dapat dilihat rasio penghematan selama 25 tahun umur pembangkit bahwa angka rasio sekitar dari 44%-50% ini berarti PLTS sangat bermanfaat bagi pemilik rumah karena mampu memotong tagihan listriknya selama bertahun-tahun dengan jumlah yang sangat besar. Oleh karena itu proyek ini sangat bermanfaat bagi pemilik rumah.

Terakhir, dari Gambar 11 di bawah ini dapat dilihat kurva NPV selama 25 tahun umur pembangkit



Gambar 11 Grafik Evaluasi Ekonomi

Dapat dilihat dari grafik di atas (Gambar 11) bahwa payback period terjadi pada tahun ke-10. Berdasarkan asumsi umur umum inverter tahun ke-15 maka pertumbuhan keuangan terhambat pada tahun 15 karena harus membeli inverter baru. Dapat disimpulkan proyek ini cukup baik karena payback period di bawah 10 tahun yang di mana 10 tahun adalah batas asuransi dari setiap panel surya. Lalu proyek ini juga cukup baik karena pergantian inverter tidak membuat keuangan di bawah 0 rupiah saat tahun ke 15. Nilai NPV yang didapat dari evaluasi ekonomi sudah positif ketika tahun ke-10 yaitu sebesar Rp 29.891.314,96. Nilai tersebut positif yang berarti proyek ini layak dilaksanakan.

IV. KESIMPULAN

Pengaruh pergerakan matahari serta kemiringan panel surya akibat konstruksi atap dengan sudut 45° cukup besar mengurangi energi iradiasi matahari yang diterima panel surya (*Global Incident on Collector Plane*) mencapai 15,4% (ditunjukkan pada diagram rugi-rugi).

Produksi energi listrik satu tahun simulasi dapat mencapai 23.753 kWh sesuai dengan *plotting* panel serta pengaruh kemiringan panel dan pergerakan matahari. Rugi-ruginya mencapai angka 17% sehingga rasio pembangkitannya 0.822 yang cukup baik untuk sebuah PLTS karena pada umumnya hanya 0,75 saja. Rugi kolektornya (*Array losses*) mencapai 0,62 kWh/kWp per harinya sedangkan rugi sistemnya mencapai 0,1 kWh/kWp per harinya. Untuk rincian rugi-ruginya juga dapat di rangkum dalam *loss diagram*. *Loss diagram* mencakup pengurangan energi iradiasi yang diterima kolektor (*global incident on collector plane*), rugi pada kolektor dan rugi sistem.

Faktor ekonomi dari proyek rancangan ini juga sudah baik bila dilihat dari *payback period*nya pada tahun ke 10 yang dimana waktu asuransi tiap panel suryanya hanya 10 tahun. Kemudian ketika penggantian *inverter* pada tahun ke-15 *net cash flow*-nya tidak di bawah angka 0. Lalu dilihat dari nilai NPV pada tahun terjadipayback period yaitu pada tahun ke-10 proyek, nilainya sebesar Rp 29.891.314,96 yang di atas angka 0 yang berarti proyek ini menguntungkan dan layak dijalankan (*feasible*). Kemudian untuk manfaat penghematan juga sangatlah baik karena mencapai angka rasio sekitar 44%-50%. Pemilik rumah akan sangat diuntungkan dengan pemotongan tagihan listrik yang cukup besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ABB. (2017). Catalog String Combine for Solar Photovoltaic Systems.
- [2] ABB. (2017). Solar Inverter ABB String Inverters Trio-20.0/27.6-TL-OUTD 20 to 27.6 kW.
- [3] Johansson, N., & Karlsson, J. (2015). Economic Feasibility for Solar PV in Swedish Office Buildings. Goteborg: Chalmers University of Technology.
- [4] Karsoho, E. (2018). Proposal PLTS Umara House - Bali 2.45 kWp. Lein Power.
- [5] Klever, M. (2018). Design and simulation of a gridconnected PV system in South Africa: technical, commercial and economical aspects. Norwegian University of Life Sciences.
- [6] Mayfield, R. (2010). Photovoltaic Design & Installation for Dummies. Canada: Wiley Publishing, Inc.
- [7] Mermoud, A., & Wittmer, B. (2017). PVSYS 6. Satigny: PVSyst.
- [8] REC. (t.thn.). REC Twinpeak 2S 72 Series.