

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Daya Gedung SAINTEK

Kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan Gedung SAINTEK dapat dilihat pada panel distribusi yang berada di Gedung SAINTEK UNISNU Jepara dengan skala perbandingan *Current Transformator* (CT) 100 : 5. Pada panel distribusi (*Low Voltage Distribution Panel=LVDP*) dengan instrument (*multi fuction digital panel meter 3 phase*) pengukuran tegangan, arus, frekuensi, harmonic.Watt, VAR dan $\cos\theta$. Untuk menghitung konsumsi energi listrik pada waktu perkuliahan, liburan, dan malam hari berdasarkan kalender akademik UNISNU Jepara dapat menggunakan persamaan rumus 2.2 :

Kebutuhan energi listrik untuk Gedung SAINTEK pada saat perkuliahan efektif mulai jam 07.30 s/d 16.30.

$$\begin{aligned} P &= V \times I \times \cos\theta \times \sqrt{3} \\ &= 380 \times 79,46 \times 0,85 \times \sqrt{3} \\ &= 44.454,08 \text{ W} \\ &= 44,45 \text{ kW} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan energi listrik gedung SAINTEK pada saat perkuliahan mencapai 44,45 kW. Dikarenakan pada saat perkuliahan selama 9 jam maka hasil konsumsi energi listrik sebagai berikut :

$$44,45 \text{ kW} \times 9 \text{ jam} = 400,08 \text{ kWh.}$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan energi listrik pada saat perkuliahan dengan durasi 9 jam mencapai 400,08 kWh.

Kebutuhan energi listrik untuk Gedung SAINTEK pada saat liburan perkuliahan mulai jam 07.30 s/d 16.30 (dengan durasi 9 jam)

$$\begin{aligned} P &= V \times I \times \cos\theta \times \sqrt{3} \\ P &= 380 \times 22,26 \times 0,85 \times \sqrt{3} \\ &= 12.453,41 \text{ W} \\ &= & 12,45 & \text{ kW} \end{aligned}$$

$$= 12,45 \text{ kW} \times 9 \text{ jam}$$

$$= 112,08 \text{ kWh.}$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan energi listrik gedung SAINTEK pada saat liburan dengan durasi selama 9 jam mencapai 112,08 kWh.

Kebutuhan energi listrik untuk Gedung SAINTEK pada saat malam hari mulai jam 16.30 s/d 07.30 (dengan durasi 15 jam)

$$P = V \times I \times \text{Cos}\theta \times \sqrt{3}$$

$$= 380 \times 9,76 \times 0,85 \times \sqrt{3}$$

$$= 5.460 \text{ W}$$

$$= 5,46 \text{ kW}$$

$$= 5,46 \text{ kW} \times 15 \text{ jam}$$

$$= 81,9 \text{ kWh.}$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan energi listrik pada gedung SAINTEK pada saat malam hari dengan durasi 15 jam mencapai 81,9 kWh.

Tabel 4.1 Konsumsi Energi Listrik

Keterangan	Perkuliahan Efektif	Liburan Perkuliahan	Malam hari	Satuan
Arus Maximum (Pengukuran)	3,973	1,113	0,488	A
Arus perbandingan 100 : 5	79,46	22,26	9,76	A
Tegangan nominal 3 phase	380	380	380	V
Power faktor	85	85	85	%
Daya Active (P)	44,45	12,45	5,46	kW
Konsumsi Daya 9 jam (07.00 s/d 16.00)	400,08	112,08	-	kWh
Daya 15 jam (16.00 s/d 07.00)	-	-	81,9	kWh
Energi listrik 24 jam	481,98	193,98		kWh
Selisih perkuliahan dan liburan 24 jam	288			kWh

Berdasarkan tabel 4.1 total konsumsi energi listrik waktu perkuliahan efektif selama 24 jam adalah $400,08 \text{ kWh} + 81,9 \text{ kWh} = 481,98 \text{ kWh}$, total

konsumsi energi listrik waktu liburan perkuliahan selama 24 jam adalah 112,08 kWh + 81,9 kWh = 193,98 kWh dan selisih antara waktu perkuliahan dan liburan dengan durasi 24 jam sebesar 288 kWh.

4.2. Perhitungan Kapasitas Panel Surya

Tahap awal dalam perhitungan untuk menentukan keluaran PLTS ini adalah menentukan besar daya total yang dibangkitkan PLTS, bila panel surya menyuplai daya listrik 100% dari total keseluruhan konsumsi energi listrik di gedung SAINTEK selama 9 jam beban puncak atau waktu perkuliahan efektif sebesar 400,08 kWh di tambah *save margin* 15% maka daya keluaran PV sesuai perhitungan (400,08 kWh + 15%) = 460,09 kWh selama 9 jam. Rata-rata radiasi matahari $Q = 5.3 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ dapat dilihat pada tabel 3.4. Maka kapasitas PV ditentukan berdasarkan persamaan rumus 2.3 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{CPV} &= \frac{\text{EL}(\text{electric consumption})}{Q} \times \text{FP} \\ &= \frac{460,09}{5,3} \times 1,1 \\ &= 95,48 \text{ kWp} \rightarrow 96 \text{ kWp} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan kapasitas PV menggunakan persamaan rumus 2.3, kapasitas PV yang digunakan sebesar 96 kWp.

4.3. Kapasitas Inverter

Pemilihan kapasitas *inverter* didasarkan pada beban puncak gedung Fakultas SAINTEK yang diketahui sebesar 44,45 kW. Untuk keamanan dalam sistem, kapasitas *inverter* dikalikan *safety factor* sebesar 130% sehingga kapasitas *inverter* di gedung SAINTEK berdasarkan persamaan 2.4 dihitung :

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas inverter} &= \text{Peak load} \times \text{Safety factor} \\ &= 44,45 \text{ kW} \times 130\% \\ &= 57,79 \text{ kW} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan kapasitas *inverter* menggunakan persamaan 2.4, *inverter* yang dibutuhkan yaitu 57,79 kW, maka *inverter* yang digunakan berkapasitas 60 kW dengan jenis CanadianSolar CSI-60KTL-GI-HFL.

4.4. Perhitungan Total Panel Surya

Selanjutnya dihitung berapa banyak panel surya jenis CanadianSolar CS1U-400MS yang dibutuhkan untuk membangkitkan 96 kWp berdasarkan persamaan rumus 2.5 :

$$\begin{aligned} N_{pv} &= \frac{CPV}{P_{maxPV}} \\ &= \frac{96.000}{400} \\ &= 240 \text{ Panel} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan total panel yang digunakan menggunakan persamaan rumus 2.5 didapat hasil total panel yaitu 240 panel. Setelah mendapatkan total panel yang didapat selanjutnya akan dihitung berapa panel yang dihubungkan seri, supaya tegangan yang dihasilkan panel surya sesuai dengan input tegangan *inverter* CanadianSolar CSI-60KTL-GI-HFL dengan menggunakan persamaan rumus 2.6 :

$$\begin{aligned} N_{pvs} &= \frac{V_{dc} \text{ Inverter}}{V_{max PV}} \\ &= \frac{661,5}{44,1} \\ &= 15 \text{ panel} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan rumus 2.6 didapat hasil yaitu 15 panel yang dihubungkan seri. V_{dc} *inverter* sebesar 661,5 V didapatkan dengan mencari nominal V_{dc} *Inverter* mulai 200 -1000 V sampai didapatkan 661,5 V untuk faktor pembagi perhitungan seri panel. Setelah mendapatkan berapa panel surya yang dihubungkan seri kemudian dihitung berapa panel yang dihubungkan paralel dengan menggunakan persamaan rumus 2.7 :

$$\begin{aligned}
 N_{pvp} &= \frac{N_{pv}}{N_{pvs}} \\
 &= \frac{240}{15} \\
 &= 16 \text{ panel}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan rumus 2.7 didapatkan hasil yaitu 16 panel yang dihubungkan paralel.

Dikarenakan menggunakan *inverter* dengan kapasitas 60 kW, maka dapat membutuhkan 2 *inverter* dan panel surya yang dihubungkan paralel harus disesuaikan dengan 2 *inverter* dengan hitungan :

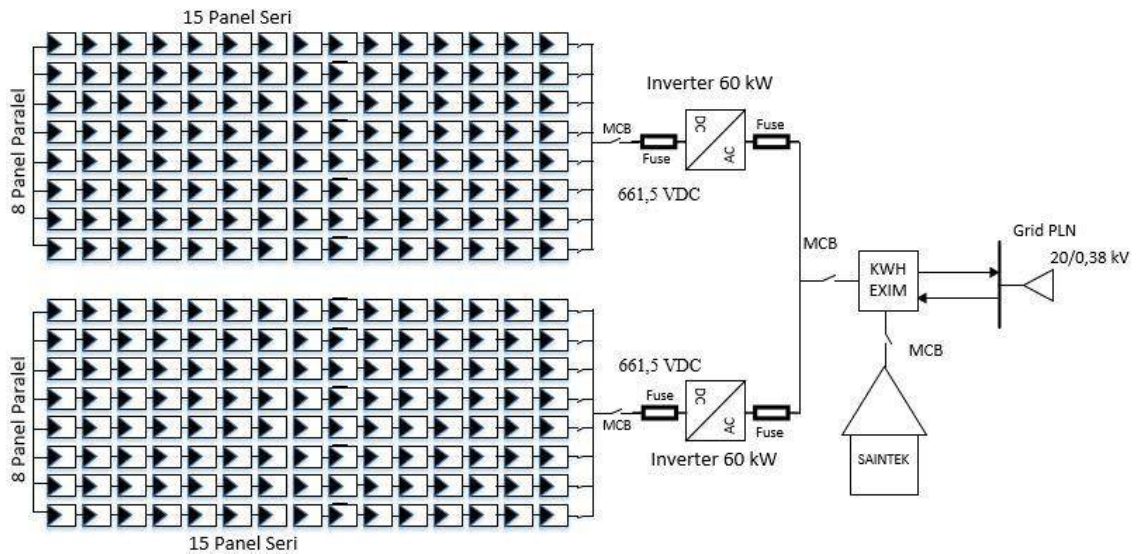
$$\begin{aligned}
 N_{pvp} &= \frac{N_{pv}}{N_{pvs}} \\
 &= \frac{16}{2} \\
 &= 8 \text{ Panel}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan penentuan total panel surya dan yang dihubungkan seri paralel, maka kebutuhan panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Panel Surya

Paramater	Nilai
Daya total PLTS	96 kWp
Total panel surya @400 Wp	240 panel
Panel surya yang dihubung seri	15 Panel
Panel surya yang dihubung paralel	16 Panel
Panel surya yang dihubung parelel tiap string/grup	8 String

Berdasarkan tabel 4.2 menjelaskan bahwa PLTS yang akan dipasang berdaya 96 kWp, dengan jumlah panel surya sebanyak 240 panel dengan setiap panelnya berdaya 400 wp dan yang akan dihubungkan seri sebanyak 15 panel, yang dihubungkan paralel sebanyak 16 panel dan dari 16 panel tersebut dibagi menjadi 2 grup dengan per grup yang dihubungkan paralel 8 panel.



Gambar 4.1 *Single Line Diagram* PLTS *On-Grid* 96 kWp

Gambar 4.1 Merupakan gambar *single line* diagram dari PLTS *On-Grid* 96 kWp yang dibagi dalam 2 grup. Tiap grup PV berdaya 48 kWp dengan total 96 kWp. Dengan tegangan kerja 661,5 VDC dan dihubungkan langsung ke *inverter* guna diubah dari tegangan DC menjadi tegangan AC.

Setelah mendapatkan total panel surya yang dibutuhkan, maka dapat dihitung luas area untuk pemasangan PLTS *On-Grid* berdasarkan data dimensi dari spesifikasi panel surya menggunakan persamaan rumus 2.8 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_c &= \text{Panjang modul} \times \text{lebar modul} \\ &= 2,078 \text{ m}^2 \times 0,992 \text{ m}^2 \\ &= 2,06 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan rumus 2.8 didapat luas modul surya 2,06 m².

Sehingga luas area pemasangan panel surya yang dibutuhkan untuk membangkitkan 96 kWp dapat menggunakan persamaan rumus 2.9 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Luas area} &= A_c \times N_{pv} \\ &= 2,06 \text{ m}^2 \times 240 \text{ panel} \\ &= 494,73 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan 2.9 untuk pemasangan PLTS *On-Grid* membutuhkan luas area 494,73 m².

4.5. Perhitungan Efisiensi Panel Surya

Setelah didapat total panel surya yang dibutuhkan untuk membangkitkan 96 kWp, kemudian melangkah selanjutnya yaitu menghitung efisiensi panel surya dengan menggunakan persamaan rumus 2.10 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_{\max PV}}{E \times A_c} \times 100\% \\ &= \frac{400}{1000 \times 2,06} \times 100\% \\ &= 19,4 \%\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan 2.10 efisiensi panel surya yang dapat digunakan adalah 19,4%.

4.6. Perhitungan Energi produksi PLTS

Setelah total panel surya, efisiensi panel surya, dimensi panel yang tertera di spesifikasi panel didapat langkah selanjutnya kemudian menghitung energi produksi PLTS tiap harinya selama tahun 2018 berdasarkan radiasi matahari di hari tersebut dengan menggunakan persamaan rumus 2.11.

Sampling energi produksi PLTS *On-Grid* 96 kWp pada tanggal 01 Januari 2018 :

$$\begin{aligned}PV_{out} &= A_c \times \eta \times N_{pv} \times Q \times \eta_s \\ &= 2,06 \times 19,4\% \times 240 \times 5,72 \times 83\% \\ &= 455,36 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan sampling energi produksi PLTS pada tanggal 01 Januari 2018 menggunakan persamaan rumus 2.11 didapat hasil sebesar 455,36 kWh. Energi produksi PLTS dihitung seterusnya hingga tanggal 31 Desember 2018 dan hasil perhitungan perhari pada tahun 2018 dapat dilihat pada lampiran dan untuk hasil perhitungan energi produksi PLTS perbulan dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Energi Produksi PLTS

Bulan	Radiasi Matahari (kWh/m ² /Bulan)	Energi Produksi PLTS (kWh)
Januari	131,93	10.502,72
Februari	122,97	9.789,43
Maret	154,85	12.327,34
April	167,62	13.343,94
Mei	158,81	12.642,59
Juni	153,46	12.216,69
Juli	168,21	13.390,91
Agustus	189,91	15.118,41
September	187,52	14.928,15
Oktober	199,74	15.900,96
November	155,78	12.401,38
Desember	143,86	11.452,45
Total	1.934,66	154.014,97
Rata-rata	161,22	12.834,58

Berdasarkan tabel 4.3 menjelaskan bahwa energi produksi PLTS tertinggi terdapat pada bulan Oktober sebesar 15.900,96 kWh dengan radiasi matahari mencapai 199,74 kWh/m²/Bulan dan energi produksi PLTS terendah terdapat pada bulan Februari sebesar 9.789,43 kWh dengan radiasi matahari mencapai

122,97 kWh/m²/Bulan dan total dari energi produksi PLTS selama setahun sebesar 154.014,97 kWh dengan rata-rata setahun sebesar 12.834,58 kWh.

4.7. Perhitungan *Saving Energy*

Setelah mendapatkan konsumsi energi Gedung Fakultas SAINTEK UNISNU Jepara dan energi produksi PLTS, langkah selanjutnya yaitu menghitung energi yang disaving perbulan selama setahun yang mana energi produksi PLTS dikurangi konsumsi energi untuk mengetahui berapa besar energi yang disaving sistem PLTS *On-Grid* dengan menggunakan persamaan rumus 2.12 :

Sampling energi yang disaving pada bulan Januari 2018 :

$$\begin{aligned} \text{SEL} &= \text{PVout} - \text{EL}_{(\text{electric consumption})} \\ &= 10.502,72 \text{ kWh} - 11.197,30 \text{ kWh} \\ &= -694,58 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan sampling energi yang disaving pada bulan Januari 2019 menggunakan persamaan rumus 2.12 didapat hasil -694,58 kWh. Terjadi minus (-) dikarenakan adanya defisit/kekurangan energi listrik yang diproduksi PLTS untuk konsumsi energi listrik gedung SAINTEK, yang disebabkan cuaca yang kurang mendukung dan adanya perkuliahan efektif.

Energi yang disaving dihitung seterusnya hingga bulan Desember 2018 dan hasil saving energy selama 12 bulan dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil *Saving Energy*

Bulan	Radiasi Matahari (kWh/m ² /Bulan)	Energi Produksi PLTS (kWh)	Konsumsi Energi (kWh)	<i>Saving Energy</i> (kWh)
Januari	131,93	10.502,72	11197,30	-694,58
Februari	122,97	9.789,43	6295,40	3494,03
Maret	154,85	12.327,34	14653,27	-2325,93
April	167,62	13.343,94	14171,30	-827,36
Mei	158,81	12.642,59	13213,29	-570,69
Juni	153,46	12.216,69	10715,33	1501,36
Juli	168,21	13.390,91	10333,31	3057,60
Agustus	189,91	15.118,41	6013,34	9105,07
September	187,52	14.928,15	9851,33	5076,81

Oktober	199,74	15.900,96	14653,27	1247,69
November	155,78	12.401,38	14171,30	-1769,92
Desember	143,86	11.452,45	14365,28	-2912,83
Bulan	Radiasi Matahari (kWh/m²/Bulan)	Energi Produksi PLTS (kWh)	Konsumsi Energi (kWh)	Saving Energy (kWh)
Total	1.934,66	154.014,97	139.633,72	14.381,26
Rata-rata	161,22	12.834,58	11636,14	1198,44

Berdasarkan tabel 4.4 menjelaskan bahwa *saving energy* tertinggi yang melebihi dari konsumsi energi atau surplus terdapat pada bulan Agustus pada saat liburan semester mencapai 9.105,07 kWh dengan radiasi matahari yang tinggi mencapai 189,91 kWh/m²/Bulan dan *saving energy* yang kurang dari konsumsi energi atau defisit tertinggi terdapat pada bulan Desember pada saat waktu perkuliahan mencapai -2.912,83 kWh dengan radiasi matahari mencapai 143,86 kWh/m²/Bulan. Total *saving energy* selama setahun mencapai 14.381,26 kWh dengan rata-rata setahun mencapai 1198,44 kWh.

4.8. Hasil simulasi *software PVsyst*

Hasil simulasi menggunakan *software PVsyst* dilakukan guna untuk pembandingan hasil perhitungan manual dan perhitungan *software PVsyst* dengan menyamakan radiasi matahari dan semua komponen-komponen yakni menggunakan panel surya Canadian solar CS1U-400MS dan *inverter* Canadian solar CSI-50KTL-GI-HFL. Dari hasil simulasi *software PVsyst* akan didapatkan data berupa total panel surya yang digunakan dan mengetahui panel surya yang dihubungkan seri dan paralel, energi produksi panel surya perbulan selama setahun.

Tabel 4.5 Hasil Simulasi *Software PVsyst*

Grid-Connected System : Simulation parameters			
Geographical Site		UNISNU Jepara	
Country		Indonesia	
Latitude	-6,62° South	Longitude	110,69° East
PV Array Characteristics			
PV Module		Si-Mono	

Manufacturer		Canadian Solar Inc.	
Model		CS1U - 400MS	
In series		15 modules	
In parallel		16 strings	
Total modul		240 units	
PV Array Characteristics			
Unit Nom. Power		400 Wp	
Vmpp	598 V	Impp	146 A
Module area		495 m ²	
Array global power		96 kWp	
Manufacturer		Canadian Solar Inc.	
Inverter			
Model		CSI-60KTL-GI-H	
Operating Voltage		200-1000 V	
Unit Nom. Power		60 kWac	
Inverter pack		2 units	
Total power		120 kWac	

Tabel 4.5 menjelaskan hasil dari simulasi *software PVsyst* yang berada di UNISNU Jepara dengan titik koordinat *Latitude -6,62° South, Longitude 110,69° East*. Menggunakan panel surya *monocrystalline Canadian Solar Inc. CS1U - 400MS 400 Wp*. Dari hasil simulasi *software PVsyst* membutuhkan total panel surya 240 unit, yang dihubungkan seri 15 unit dan yang dihubungkan paralel 16 unit dan menghasilkan tegangan 598 V, arus 146 A dengan luas area 495 m². Sedangkan untuk *inverter* menggunakan *Canadian Solar Inc. CSI-60KTL-GI-HFL 60 kW* sebanyak 2 unit dengan tegangan kerja 200-1000 V.

Adapun hasil energi produksi panel surya yang disimulasikan dengan *software PVsyst* yang ditampilkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Energi Produksi Simulasi *PVsyst*

Bulan	Radiasi Matahari (kWh/m ² /Bulan)	Energi Produksi PLTS (kWh)
Januari	130,5	10.670
Februari	122,9	10.060
Maret	155,0	12.560
April	167,7	13.580

Mei	158,7	12.920
Juni	153,6	12.470
Juli	168,3	13.710
Agustus	190,1	15.380
Bulan	Radiasi Matahari (kWh/m²/Bulan)	Energi Produksi PLTS (kWh)
September	187,5	15.070
Oktober	199,6	16.030
November	155,8	12.590
Desember	143,6	11.710
Total	1.933,3	156.750
Rata-rata	161	13.062,50

Berdasarkan tabel 4.5 menjelaskan bahwa hasil energi produksi PLTS dari simulasi *PVsyst* tertinggi terdapat pada bulan Oktober sebesar 16.030 kWh dengan radiasi matahari mencapai 199.6 kWh/m²/Bulan dan energi produksi PLTS dari simulasi *PVsyst* terendah terjadi pada bulan Februari sebesar 10.060 kWh dengan radiasi matahari mencapai 122.9 kWh/m²/Bulan. Total energi produksi PLTS dari simulasi *PVsyst* selama setahun sebesar 156.750 kWh dengan total radiasi matahari selama setahun mencapai 1.933,3 kWh/m²/Bulan.

4.9. Perbandingan Energi Produksi PLTS

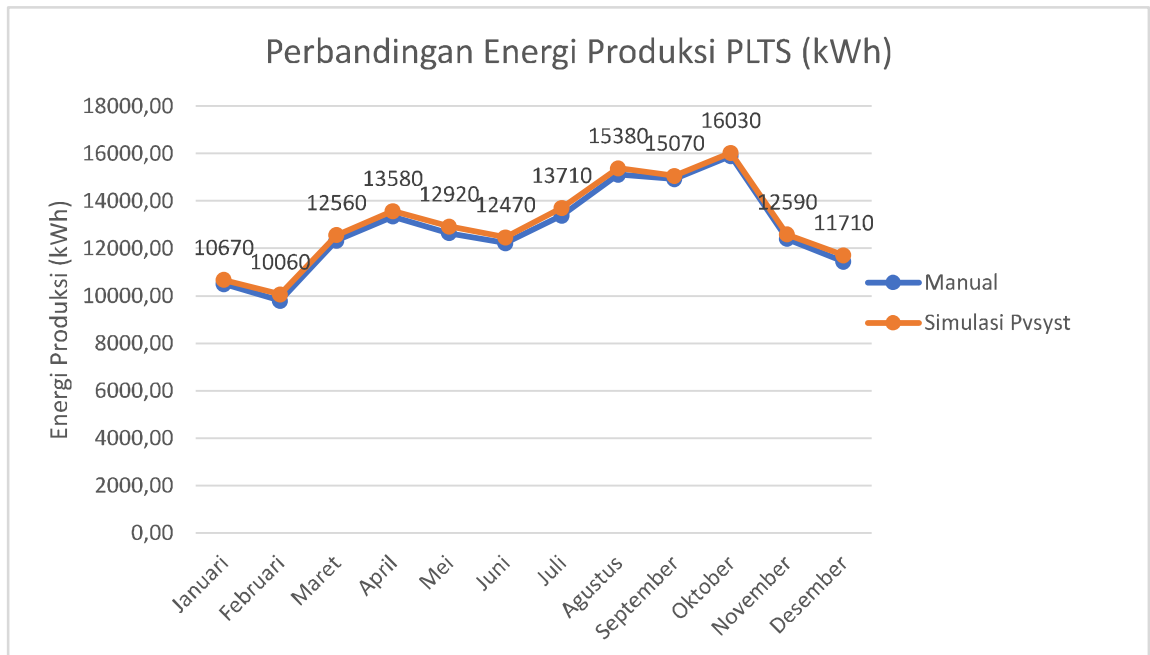
Perbandingan energi produksi PLTS (kWh) pada penelitian ini akan dihitung seberapa besar perbedaan antara energi produksi hitungan manual dan hasil dari *software PVsyst*, Berikut merupakan hasil perbandingan energi produksi PLTS :

Tabel 4.7 Perbandingan Energi Produksi PLTS

Bulan	Energi Produksi PLTS (kWh)		Persen Error
	Manual	<i>PVsyst</i>	
Januari	10.502,72	10.670	1,59%

Februari	9.789,43	10.060	2,76%
Maret	12.327,34	12.560	1,89%
April	13.343,94	13.580	1,77%
Mei	12.642,59	12.920	2,19%
Bulan	Energi Produksi PLTS (kWh)		Persen Eror
	Manual	<i>PVsyst</i>	
Juni	12.216,69	12.470	2,07%
Juli	13.390,91	13.710	2,38%
Agustus	15.118,41	15.380	1,73%
September	14.928,15	15.070	0,95%
Oktober	15.900,96	16.030	0,81%
November	12.401,38	12.590	1,52%
Desember	11.452,45	11.710	2,25%
Total	154.014,97	156.750	1,78%

Berdasarkan tabel 4.6 menjelaskan perbandingan energi produksi PLTS dari hitungan manual dan simulasi *PVsyst* tidak ada yang sama persis, terjadi perbedaan antara 0.81% s/d 2.76%.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Perbedaan Energi Produksi

Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan energi produksi PLTS (kWh) perbulan selama setahun, garis warna biru menunjukkan hasil hitungan manual dan garis warna oranye menunjukkan hasil simulasi *PVsyst*, energi produksi PLTS hitungan manual tertinggi pada bulan Oktober dengan nilai 15.900,96 kWh dan terendah pada bulan Februari dengan nilai 9.789,43 kWh, energi produksi PLTS pada simulasi *PVsyst* tertinggi pada bulan Oktober dengan nilai 16.030,00 kWh dan terendah pada bulan Februari dengan nilai 10.060,00 kWh.