

Desain Pompa Air Tenaga Surya Untuk Fasilitas Publik Dengan Software Pvsyst

Vicky Prasetya¹, Hera Susanti², Muhammad Yusuf³, Betti Widianingsih⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Cilacap

^{1,2,3,4}Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

E-mail: vickyprasetya@pnc.ac.id¹, herasusanti@pnc.ac.id², muhammadyusuf@pnc.ac.id³, bettiwidianingsih@pnc.ac.id⁴

Abstrak

Kata kunci:

Naskah masuk: 22 April 2025

Direvisi: 17 Juni 2025

Diterima: 6 Juli 2025

Energi matahari memiliki potensi besar sebagai sumber energi alternatif di Indonesia, namun pemanfaatannya untuk sistem pompa air pada fasilitas publik seperti stasiun kereta api masih terbatas. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pompa air tenaga surya (PATS) untuk memenuhi kebutuhan air di Stasiun Kroya menggunakan perangkat lunak PVsyst. Metode yang digunakan meliputi analisis lokasi, perhitungan kebutuhan air harian, penentuan daya pompa, dan simulasi desain sistem menggunakan PVsyst. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu memenuhi 97,5% dari total kebutuhan air tahunan sebesar 2.555.000 liter, dengan efisiensi sistem panel surya sebesar 80,4% dan efisiensi pompa sebesar 18,5%. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada perancangan sistem PATS untuk stasiun kereta api menggunakan pendekatan simulatif dengan PVsyst, yang belum banyak diaplikasikan pada fasilitas transportasi publik. Temuan ini memberikan dasar perencanaan teknis untuk pengembangan sistem PATS yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Abstract

Keywords:

pvsyst;

renewable energy;

solar water pump;

energy efficiency;

kroya station.

Solar energy has great potential as an alternative energy source in Indonesia, but its application for water pump systems in public facilities such as railway stations remains limited. This study aims to design a solar-powered water pumping system (PATS) to meet the water demands at Kroya Station using PVsyst software. The methodology includes site analysis, calculation of daily water requirements, power estimation, and system simulation using PVsyst. The simulation results indicate that the designed system meets 97.5% of the annual water demand of 2,555,000 liters, with a solar panel efficiency of 80.4% and pump efficiency of 18.5%. The novelty of this study lies in the design of a PATS system for a railway station using simulation-based analysis with PVsyst—an approach not widely applied in public transportation facilities. These findings offer a technical basis for environmentally friendly and sustainable solar pump system planning.

*Penulis korespondensi:

Vicky Prasetya

Email: vickyprasetya@pnc.ac.id

1. Pendahuluan

Energi matahari adalah salah satu sumber energi alternatif yang memiliki potensi besar di negara ini [1][2][3][4]. Didukung oleh lokasi geografis Indonesia di zona *ekuatorial* yang sangat prospektif, intensitas radiasi matahari yang tersedia dapat digunakan menyebar secara merata sepanjang tahun. Sumber energi surya di Indonesia memiliki intensitas rata-rata sekitar 4.5-4.8 kWh/m²/hari, menurut data iradiasi yang diperoleh dari 18 lokasi di Indonesia [5][6][7][8][9][10]. Potensi besar yang dimiliki energi matahari menjadikannya sebagai sumber energi alternatif yang menguntungkan dan mudah dimanfaatkan oleh manusia [11].

Stasiun Kroya terletak di Desa Bajing, Kecamatan Kroya, Kabupaten Cilacap. Stasiun ini merupakan stasiun kereta api kelas besar tipe B yang melayani perjalanan kereta api penumpang dan barang. Berada pada ketinggian +11 meter, stasiun ini termasuk dalam Daerah Operasi DAOP 5 Purwokerto [12][13]. Jumlah penumpang stasiun Kroya pada tahun 2023 adalah sebanyak 377.182 penumpang keberangkatan dan 373.323 penumpang kedatangan. Stasiun ini adalah stasiun kereta api terbesar dan paling timur di Kabupaten Cilacap.

Energi matahari merupakan energi ramah lingkungan dan bebas polusi yang dapat dimanfaatkan di mana saja [14][15][16]. Aplikasi tenaga matahari panel surya dapat diaplikasikan dalam berbagai implementasi pompa air [17][18]. Sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada skala kecil, seperti rumah tangga dan sistem irigasi, serta belum banyak menyoroti fasilitas umum yang memiliki beban kebutuhan air cukup besar.

Penelitian-penelitian lain telah dilakukan penelitian tentang perencanaan sistem panel surya menggunakan *software* PVsyst, antara lain analisis potensi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di rumah tinggal kabupaten Temanggung [19]. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang dimulai dari perencanaan sampai analisa perhitungan daya dan energi. Penelitian ini menggunakan aplikasi PVsyst sebagai analisa potensi dari PLTS. Penelitian lain tentang perencanaan panel surya menggunakan *software* PVsyst telah dilakukan pada Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Suplai Daya Pompa Air *Submersible* Inoto 2 Hp Di Dusun Leran [20]. Penelitian ini membahas perancangan PLTS *on-grid* berdasarkan daya pompa air minum (PAM) yang disimulasikan dengan *software* PVSyst.

Belum banyak penelitian yang secara khusus merancang dan mensimulasikan sistem pompa air tenaga surya untuk fasilitas transportasi publik seperti stasiun kereta api. Mayoritas studi masih terfokus pada bangunan rumah tangga atau lahan pertanian, dan belum banyak yang mengaitkan data kebutuhan air aktual dengan desain teknis sistem PLTS berbasis simulasi perangkat lunak. Kondisi ini menunjukkan bahwa masih terdapat ruang dalam penelitian yang belum banyak dijelajahi, khususnya dalam merancang sistem PATS yang terintegrasi dengan kebutuhan operasional fasilitas umum. Hal inilah yang menjadi dasar dari pentingnya dilakukan penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pompa air tenaga surya (PATS) yang dapat memenuhi kebutuhan air

harian di Stasiun Kroya. Perancangan dilakukan melalui tahapan analisis kebutuhan air, estimasi daya pompa, serta simulasi sistem menggunakan perangkat lunak PVsyst. Melalui pendekatan ini, hasil yang diperoleh diharapkan mampu memberikan gambaran teknis yang komprehensif dan dapat diterapkan untuk instalasi sesungguhnya. Selain memberikan solusi praktis, hasil penelitian ini juga berkontribusi dalam mendukung pengembangan energi terbarukan di sektor transportasi publik yang selama ini masih kurang dijadikan fokus utama.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan untuk mencapai tujuan penelitian. Tahapan tersebut terangkum dalam *flowchart* gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* Pemakaian Pvsyst

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui simulasi perancangan sistem pompa air tenaga surya (PATS) menggunakan perangkat lunak PVsyst versi 7.2. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk mendapatkan konfigurasi sistem PLTS yang optimal dalam memenuhi kebutuhan air harian di Stasiun Kroya. Tahapan pelaksanaan penelitian dilakukan secara bertahap dimulai dari analisis kebutuhan air, perhitungan energi, perancangan sistem, hingga simulasi kinerja sistem PATS.

Berdasarkan pada gambar 1, langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data kebutuhan air di Stasiun Kroya selama dua tahun terakhir (2022–2023). Berdasarkan data tersebut, diperoleh rata-rata konsumsi air harian sebesar 5.745,8 liter. Untuk menyederhanakan perancangan dan mengantisipasi kebutuhan puncak, digunakan asumsi tandon air berkapasitas 7.000 liter per hari. Pemilihan kapasitas ini juga mempertimbangkan ketersediaan tandon yang umum di pasaran serta efisiensi pengisian ulang oleh sistem PATS.

Tahap berikutnya adalah melakukan simulasi pada perangkat lunak PVsyst. Prosedur penggunaan PVsyst diawali dengan membuka menu *Project design and simulation*, lalu memilih kategori *Pumping System*. Pada bagian *Site File*, ditentukan lokasi geografis Stasiun Kroya dengan koordinat lintang $-7,63^\circ$ dan bujur $109,25^\circ$, serta data iklim dari *Meteonorm 8.0* (2010–2014). Albedo ditetapkan sebesar 0,20 untuk mencerminkan kondisi permukaan tanah sekitar. Orientasi panel surya ditentukan dengan tipe *Fixed Tilted Plane*, kemiringan (*tilt*) sebesar 20° , dan azimut 0° .

Selanjutnya, ditentukan kebutuhan sistem pada menu *Water Needs and Hydraulic Head*. Spesifikasi sistem hidrolik meliputi kapasitas tangki penyimpanan 8 m^3 , panjang pipa 20 meter, jenis pipa DN100 dengan diameter dalam 105 mm. Sumur galian memiliki kedalaman 10 meter, dengan level air statis 5 meter dan level dinamis terendah 8 meter. *Specific drawdown* ditetapkan sebesar $1 \text{ m/m}^3/\text{h}$, sesuai dengan karakteristik debit dan daya hisap pompa.

Modul panel surya sebanyak 10 unit panel tipe *Schott Solar ASI THRU-1-L 20%*, masing-masing berkapasitas 35 Wp, dengan total daya sistem sebesar 350 Wp (STC). Pompa Air Menggunakan model *Watermax WA* dari *All Power CSV*, jenis pompa membran untuk sumur dalam (*deep well*). Kontroler Tipe *Generic DC-DC Converter*, tegangan input tetap 50 V, daya nominal 300 W, efisiensi maksimum 97%, efisiensi *EURO* 95%, arus maksimum 5 A. Sistem Listrik Tegangan maksimum array 119 V, tegangan ambang pengoperasian pompa 3 W, dan proteksi *over-voltage* serta *under-voltage* pada level standar PVsyst.

Tahap akhir adalah menjalankan simulasi dengan memilih menu *Run Simulation*. Jika hasil belum sesuai atau terdapat ketidakseimbangan antara daya dan beban, maka dilakukan penyesuaian ulang pada parameter sistem seperti jumlah panel, jenis pompa, atau kapasitas tandon. Setelah simulasi dinyatakan berhasil, hasil akhir dapat diekspor dalam bentuk laporan (*Report*) yang mencakup konsumsi air terpenuhi, efisiensi sistem, performa panel, serta rugi-rugi sistem.

Persamaan dasar yang digunakan dalam perhitungan energi listrik dari PLTS dalam simulasi PVsyst adalah pada persamaan (1).

$$E = A \times r \times H \times PR \quad (1)$$

dengan:

E = Energi yang dihasilkan (kWh)

A = Luas total permukaan panel surya (m^2)

r = Efisiensi modul surya (%)

H = Radiasi matahari rata-rata tahunan ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{tahun}$)

PR = *Performance Ratio*, yang mencakup seluruh

rugi-rugi sistem

Rasio performa sistem (PR) dihitung dari persamaan (2):

$$PR = \frac{E_{Grid}}{GlobInc \times PnomPV} \quad (2)$$

dengan:

PR = *Performance Ratio*, yang mencakup seluruh rugi-rugi sistem

E_{Grid} = Energi listrik bersih yang digunakan sistem (kWh)

$GlobInc$ = Total energi iradiasi global di bidang kolektor (kWh/m^2)

$PnomPV$ = Daya nominal total dari sistem PV (kWp)

Pendekatan ini memastikan bahwa sistem PATS yang dirancang tidak hanya mampu memenuhi kebutuhan air, tetapi juga efisien secara energi dan layak untuk diimplementasikan di lingkungan publik.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan desain PATS didapat setelah simulasi berhasil dan data akan dihasilkan dalam bentuk *soft file* (pdf) melalui perangkat lunak PVsyst. Hasil pengujian dapat dijabarkan sebagai berikut:

a) Hasil Menentukan lokasi dan orientasi

Penentuan lokasi dan orientasi merupakan tahap awal dari perancangan PATS. Berikut data yang diperoleh dari hasil simulasi pada perangkat lunak PVsyst.

Project summary		
Geographical Site	Situation	Project settings
DAOP 5 STASIUN KROYA	Latitude	-7.63 °S
Indonesia	Longitude	109.25 °E
	Altitude	13 m
	Time zone	UTC+7
Meteo data		
DAOP 5 STASIUN KROYA		Albedo
Meteonorm 8.0 (2010-2014), Sat=100% - Synthetic		0.20

Gambar 2. Project Summary

Data pada Gambar 2 merupakan ringkasan proyek yang dibuat berdasarkan pemilihan titik koordinat stasiun Kroya menggunakan *Meteonorm 8.0* (2010-2014) yang menghasilkan data meliputi; *Geographical Site* berlokasi di daerah Semangkir, Indonesia; *Meteo data* menggunakan *Meteonorm 8.0* (2010-2014); *Situation* meliputi garis lintang (*Latitude*) -7.63°S , garis bujur (*Longitude*) 109.25°E , ketinggian (*Altitude*) 13m, zona waktu (*Time zone*) UTC+7. Pengaturan proyek (*Project settings*) dengan *Albedo* sebesar 0.20. Penetapan parameter ini penting karena menentukan total iradiasi yang diterima panel dan mempengaruhi estimasi energi sistem secara keseluruhan. Meskipun cukup representatif, ketergantungan pada data global ini masih menyisakan ruang untuk peningkatan akurasi melalui penggunaan data iklim lokal aktual.

b) Hasil Menentukan Sistem

Tahap berikutnya setelah menentukan lokasi dan orientasi yaitu menentukan sistem yang akan dirancang dengan hasil data pada Gambar 3.

System summary			
Pumping PV System		Deep Well to Storage	
PV Field Orientation		Water needs	
Fixed plane		Yearly constant	7.00 m ³ /day
Tilt/Azimuth	20 / 0 °		
System information			
PV Array			
Nb. of modules	10 units		
Pnom total	350 Wp		
Results summary			
Water	Energy	Efficiencies	
Water Pumped	Energy At Pump	System efficiency	80.4 %
Specific	Specific	Pump efficiency	18.5 %
Water needs	Unused (tank full)		
Missing Water	Unused PV energy		
	Unused Fraction		

Gambar 3. System summary dan Result summary

Data pada Gambar 3 merupakan ringkasan dari sistem yang telah dibuat sebagai proyek penelitian PATS di stasiun Kroya yang meliputi; orientasi panel PV (*PV Field Orientation*) dengan hasil kemiringan (*Tilt*) dan azimuth sebesar 20 / 0 °; jumlah modul 10 unit dengan daya nominal sebesar 350 Wp; kebutuhan air (*Water needs*) per hari sebesar 7000 liter atau 7m³. Kemudian pada ringkasan hasil (*Result summary*) terdapat data-data final yang meliputi; air yang terpompa (*Water pumped*) dengan hasil sebesar 2.491.000 liter atau 2491 m³ per tahun; kebutuhan air (*Water needs*) yang ditentukan sebesar 2.555.000 liter atau 2555 m³ per tahun; energi pada pompa air (*Energy at pump*) sebesar 401kWh per tahun; energi PV yang tidak terpakai (*Unused PV energy*) sebesar 70kWh per tahun; fraksi yang tidak terpakai (*Unused fraction*) sebesar 14.1%; efisiensi pada sistem (*System efficiency*) yang dihasilkan sebesar 80.4%; efisiensi pada pompa (*Pump efficiency*) yang dihasilkan sebesar 18.5%.

Berdasarkan hasil tersebut, sistem PATS yang dirancang dengan konfigurasi 10 modul surya 350 Wp, orientasi 20°/0°, dan kebutuhan air harian 7.000 liter menunjukkan kinerja cukup baik dengan capaian suplai air tahunan sebesar 2.491.000 liter atau 97,5% dari target. Efisiensi sistem panel surya mencapai 80,4%, menunjukkan konversi energi yang optimal, namun efisiensi pompa hanya sebesar 18,5%, yang relatif rendah. Rendahnya efisiensi ini diduga disebabkan oleh penggunaan pompa diafragma yang memiliki efisiensi mekanis terbatas untuk aplikasi sumur dalam serta kerugian *head hidrolis* akibat panjang pipa dan kedalaman sumur. Selain itu, energi tidak terpakai sebesar 70 kWh (14,1%) menandakan adanya potensi pemborosan saat tangki penuh atau beban tidak aktif. Jika dibandingkan dengan studi serupa oleh Bukhori et al. (2022) yang menggunakan pompa *submersible* dengan efisiensi di atas 24%, terlihat bahwa pemilihan tipe pompa dan sistem kontrol sangat berpengaruh terhadap performa akhir sistem.

c) Hasil General Parameters

Hasil penentuan sistem juga meliputi data pelengkap dari *General parameters* yang berisi spesifikasi kebutuhan air, pipa, sumur, orientasi PV dan tangki ai, pada Gambar 4. Data pada Gambar 4 merupakan parameter umum (*General parameters*) dari hasil perancangan PATS menggunakan perangkat lunak PVsyst yang meliputi: Kebutuhan sistem (*System Requirements*) dengan hasil *Basic Head* sebesar 10 meterW. Kebutuhan air (*Water needs*) sebesar 7000 liter atau 7m³ per hari.

General parameters			
Pumping PV System		Deep Well to Storage	
System Requirements		Well characteristics	
Basic Head	10 meterW	Static level depth	-5.0 m
Water needs		Specific drawdown	-1.00 m ³ /h
Yearly constant	7.00 m ³ /day	Diameter	10 cm
		Pump level	-10.0 m
		Lower dynamic level	-8.0 m
		PV Field Orientation	
		Fixed plane	
		Tilt/Azimuth	20 / 0 °
Hydraulic circuit		Storage tank	
Piping length	20 m	Volume	8.0 m ³
Pipes	DN100	Diameter	2.1 m
Dint	105 mm	Feeding by top	5.0 m
		Feeding altitude	2.3 m
		Height (full level)	

Gambar 4. General parameters

Sirkuit hidrolis (*Hydraulic circuit*) yang mencakup panjang pipa (*Piping length*) sepanjang 20 m, menggunakan jenis pipa DN100 4” dengan diameter interior 105mm. PATS ini menggunakan sistem pengambilan air dengan sumur bor (*Deep Well to Storage*) yang memiliki diameter 10 cm dan kedalaman sumur (*Pump level*) -10m dengan level air statis (*Static level depth*) -5m dan level terendah air dinamis pada saat kemarau (*Lower dynamic level*) -8m serta penurunan level air saat dihisap secara spesifik (*Spesific drawdown*) sebesar - 1m/m³/h. Orientasi PV (*PV Field Orientation*) memiliki kemiringan (*Tilt*) 20° dan azimuth 0°. Tangki penyimpanan (*Storage tank*) memiliki volume 8m³ dengan diameter 2.1m yang memiliki ketinggian air penuh (*Height full level*) setinggi 2.3m dengan dialiri fluida dari atas tangki dengan ketinggian (*Feeding altitude*) 5m.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem PATS dirancang dengan kebutuhan air 7.000 liter/hari dan total head 10 meter, menggunakan sumur bor sedalam 10 meter dan pipa DN100 sepanjang 20 meter. Konfigurasi hidrolis ini, termasuk *specific drawdown* 1 m/m³/h dan *feeding altitude* 5 meter, menambah beban kerja pompa. Kombinasi panjang pipa, fluktuasi muka air, dan posisi tangki menyebabkan rugi tekanan yang signifikan, yang turut menjelaskan rendahnya efisiensi pompa sebesar 18.5%. Optimalisasi desain hidrolis dan pemilihan pompa yang lebih efisien menjadi penting untuk meningkatkan kinerja sistem.

d) Hasil PV Array and Pump

Data lengkap mengenai spesifikasi panel surya dan pompa air dipaparkan pada hasil data *PV Array and Pump* berikut.

PV Array and Pump			
PV module		Pump	
Manufacturer	Schott Solar AG	Manufacturer	All Power CSV
Model	ASI THRU-1-L 20%	Model	Watermax WA
(Original PVsyst database)		Pump Technology	Membrane/Diafragma
Unit Nom. Power	35 Wp		Deep well pump
Number of PV modules	10 units	Motor	DC motor, brushless
Nominal (STC)	350 Wp	Operating conditions	
Modules	10 Strings x 1 In series		
At operating cond. (50°C)			
Pmpg	332 Wp	Head min.	10.0
U mpp	80 V	Head Nom	60.0
I mpp	4.1 A	Head max.	80.0
Total PV power		Corresp. Flowrate	0.81
Nominal (STC)	0 kWp	Req. power	120
Total	10 modules		
		Control device	
		Model	Generic device (optimised for the system)
		System Configuration	Fixed V DC-DC converter
Pumping system controller			
System Operating Control			
Generic device params adjusted acc. to the system			
Power Conditioning Unit			
Type	Fixed DC-DC converter		
Operating conditions			
Nominal power	300 W		
Power Threshold	3 W		
Max. efficiency	97.0 %		
EURO efficiency	95.0 %		
Fixed Input Voltage	50 V		
Maximum Array Voltage	119 V		
Maximum Input Current	5.0 A		

Gambar 5. PV Array and Pump

Data pada gambar 5 merupakan detail spesifikasi dari susunan PV (*PV Array*) dan pompa air (*Pump*). Spesifikasi

modul PV (*PV Module*) yaitu diproduksi oleh Schott Solar AG dengan model ASI THRU-1-L 20% yang memiliki unit tenaga nominal sebesar 35Wp, jumlah modul PV 10 unit, nominal *Standard Test Condition* (STC) sebesar 350Wp, jumlah modul yang di-strings sebanyak 10 unit. Pada operasional PV di temperatur 50° menghasilkan Pmpp sebesar 332Wp, U mpp sebesar 80V, I mpp sebesar 4.1A. Jumlah tenaga PV (*Total PV Power*) dengan nominal (STC) sebesar 0 Kwp dan total modul 10. Sistem pengendali pompa (*Pumping system controller*) yang menggunakan *Generic device params adjusted acc. to the system*. Unit pengkondisian tenaga (*Power Conditioning Unit*) menggunakan tipe *Fixed DC-DC converter*. Kondisi pengoperasian (*Operating conditions*) memiliki daya nominal (*Nominal power*) sebesar 300W, ambang daya (*Power threshold*) sebesar 3W, efisiensi maksimal (*Maximum Efficiency*) sebesar 97%, efisiensi EURO (*EURO efficiency*) sebesar 95%, *Fixed Input Voltage* sebesar 50V, *Maximum Array Voltage* sebesar 119V, *Maximum Input Current* sebesar 5A. Menggunakan pompa yang diproduksi oleh *All Power CSV* dengan model *Watermax WA* yang menggunakan teknologi mekanisme membran / diafragma jenis *deep well pump*.

e) Hasil *System Losses*

Dalam menentukan sistem terdapat rugi-rugi sistem yang dipaparkan pada Gambar 6.

System losses		
Thermal Loss factor Module temperature according to irradiance Uc (const) 20.0 W/m ² K Uv (wind) 0.0 W/m ² K/m/s	DC wiring losses Global array res. 317 mΩ Loss Fraction 1.5 % at STC	Module Quality Loss Loss Fraction 5.0 %
Module mismatch losses Loss Fraction (Fixed voltage) 1.5 %	Strings Mismatch loss Loss Fraction 0.1 %	IAM loss factor ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cos i - 1) bo Param. 0.05

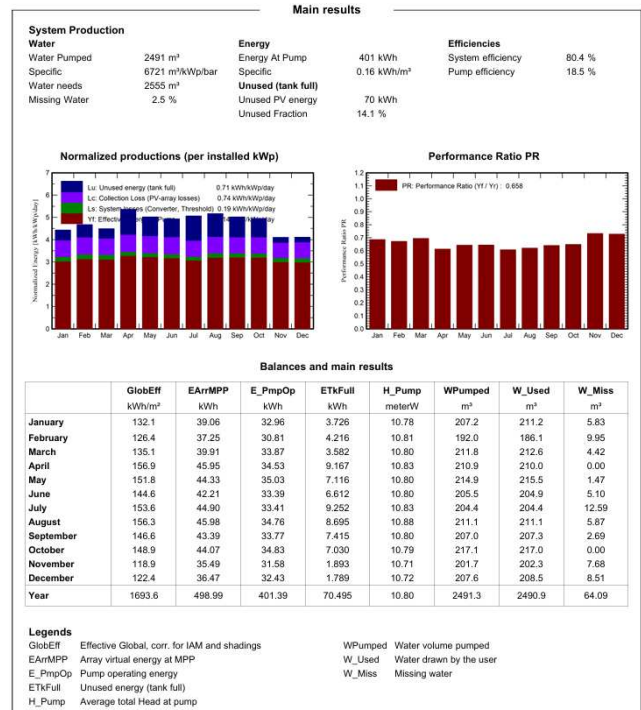
Gambar 6. *System losses*

Data pada gambar 6 merupakan rugi-rugi pada sistem yang meliputi; *Thermal Loss factor* dengan temperatur modul berdasarkan pada radiasi matahari dengan hasil *Uc (const)* sebesar 20W/m²K dan *Uv (wind)* sebesar 0W/m²K/m/s; Ketidaksesuaian kerugian modul (*Module mismatch losses*) dengan fraksi kerugian (Tegangan tetap) (*Loss Fraction (Fixed voltage)*) sebesar 1.5%; Kerugian kualitas modul (*Module Quality Loss*) dengan *Loss Fraction* sebesar 5%; *IAM loss factor* dengan *ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cos i - 1)* bo Parameter sebesar 0.05.

Rugi-rugi sistem yang mempengaruhi performa PATS, dengan dominasi pada *thermal loss* sebesar *Uc = 20 W/m²K* dan *Uv = 0 W/m²K/m/s*, menunjukkan bahwa pendinginan alami oleh angin tidak signifikan. Rugi akibat *module quality loss* sebesar 5% dan *IAM (Incidence Angle Modifier) loss* terkait sudut datang cahaya sebesar 2,85% turut menurunkan efisiensi sistem. *Mismatch loss* antar modul dan antar *string* relatif kecil (0,1–1,5%), sedangkan rugi daya pada kabel DC akibat resistansi 317 mΩ tercatat 1,5%. Kombinasi rugi-rugi ini, terutama dari faktor suhu dan kualitas modul, menjelaskan penurunan *output* efektif sistem dan perlu diantisipasi dengan desain termal serta pemilihan modul berkualitas tinggi.

f) Hasil *Main Result*

Data pendukung dari hasil penentuan sistem dipaparkan secara lengkap pada *Main Result* berupa diagram dan tabel, diperlihatkan Gambar 7.

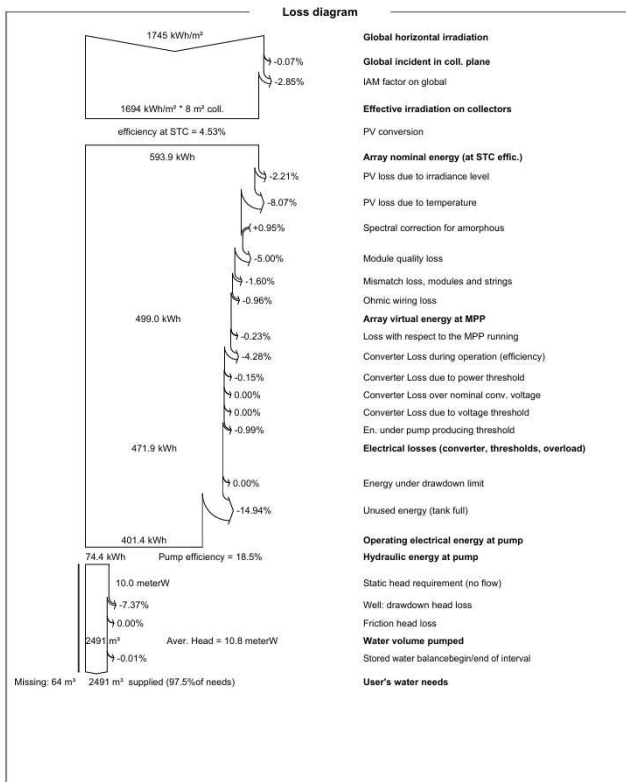


Gambar 7. *Main results*

Data pada gambar 7 mencakup hasil utama (*Main result*) yang terdiri dari hasil produksi sistem (*System Production*) yang meliputi jumlah air yang terpompa (*Water Pumped*) sebesar 2.491.000 liter atau 2491m³ per tahun dengan spesifik sebesar 6721m³/kWp/bar yang telah mencukupi kebutuhan air sebanyak 2.555.000 liter atau 2555m³ selama setahun dengan hanya 2,5% air yang tidak terpenuhi (*Missing Water*). Energi pada pompa yang terpakai (*Energy at pump*) sebesar 401kWh selama setahun. Energi yang tidak terpakai pada PV (*Unused PV energy*) sebesar 70kWh per tahun dan *Unused fraction* selama setahun sebesar 14.1%. Efisiensi sistem sebesar 80.4% dan efisiensi pompa sebesar 18.5%. Data pada *Main result* juga mencakup grafik batang *Normalized production (per installed kWp)* dan grafik batang *Performance Ratio PR* serta tabel *Balances and main result* per bulan. Grafik *Normalized Production* dan *PR* per bulan memperlihatkan tren produksi musiman yang stabil, menegaskan bahwa sistem cukup andal secara tahunan namun masih dapat ditingkatkan pada aspek teknis pompa dan pengendalian energi.

g) Hasil *Loss Diagram*

Rugi-rugi pada sistem juga dipaparkan lengkap pada diagram berikut.



Gambar 8. Loss diagram

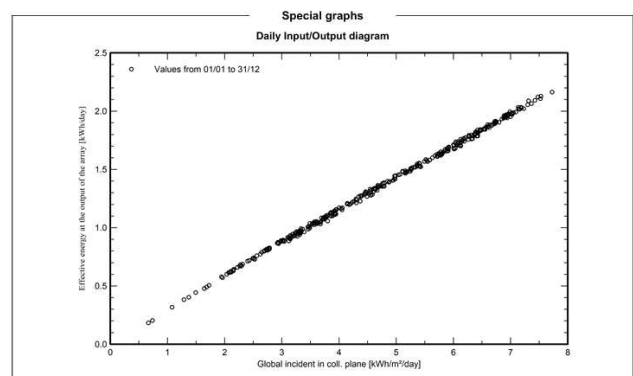
Data pada gambar 8 merupakan diagram yang memaparkan persentase kerugian pada sistem PATS yang telah dibuat pada perangkat lunak PVsyst dengan hasil meliputi; *Global horizontal irradiation* sebesar 1745kWh/m²; *Global incident in coll. Plane* sebesar -0.07%; *IAM factor on global* sebesar - 2.85%; *Effective irradiation on collectors* sebesar 1694kWh/m²*8m² coll; *PV conversion* dengan hasil *efficiency at STC* sebesar 4.53%; *Array nominal energy (at STC effic.)* sebesar 593.9kWh; *PV loss due to irradiance level* sebesar -2.21%; *PV loss due to temperature* sebesar -16.81%; *Spectral correction for amorphous* sebesar *0.95%; *Module quality loss* sebesar -5%; *Mismatch loss, modules and strings* sebesar -1.60%; *Ohmic wiring loss* sebesar -0.96%; *Array virtual energy at MPP* sebesar 499kWh; *Loss with respect to the MPP running* sebesar -0.23%; *Converter Loss during operation (efficiency)* sebesar -4.28%; *Converter Loss due to power threshold* sebesar -0.15%; *Converter Loss over nominal conv. voltage* sebesar 0%; *Converter Loss due to voltage threshold* sebesar -0.99%; *Electrical losses (converter, threshold, overload)* sebesar 471.2kWh; *Energy under drawdown limit* sebesar 0%; *Unused energy (tank full)* sebesar -14.70%; *Operating electrical energy at pump* sebesar 401.4kWh; *Hydraulic energy at pump* dengan *pump efficiency* sebesar 18.5%; *Static head requirement (no flow)* sebesar 10meterW; *Well drawdown head loss* sebesar -7,37%; *Friction head loss* sebesar 0%; *Water volume pumped* sebesar 2491m³; *Stored water balance begin/end of interval*; *User's water needs* sebesar 2491m³ *supplied (97,5% of needs)*.

Hasil *Loss Diagram* menggambarkan secara menyeluruh distribusi rugi-rugi energi pada sistem PATS,

yang menunjukkan bahwa penurunan kinerja terbesar berasal dari efek suhu modul, kehilangan energi saat tangki penuh, serta efisiensi konversi pompa yang rendah. Kerugian akibat suhu modul cukup signifikan, sementara rugi-rugi dari sudut datang cahaya, kualitas modul, dan *mismatch* antar *string* juga turut menurunkan efektivitas konversi daya. Di sisi hilir, rugi-rugi hidrolik seperti penurunan muka air (*drawdown*) dan kebutuhan head statis menambah beban kerja pompa. Diagram ini memperjelas pentingnya optimalisasi termal, pemilihan modul berkualitas tinggi, serta desain hidrolik yang efisien untuk meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan.

h) Hasil *Special Graphs*

Data input dan output dipaparkan pada *Special graphs*, pada Gambar 9.



Gambar 9. Special graphs

Data pada gambar 9 merupakan diagram input dan output harian yang berisi nilai dari energi output dari array dalam kWh per hari (*Effective energy at the output of the array (kWh/day)*) dan berisi nilai insiden global pada bidang pengumpul dalam kWh/m²/hari (*Global incident in collection plane (kWh/m²/day)*).

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang sistem pompa air tenaga surya (PATS) di Stasiun Kroya menggunakan perangkat lunak PVsyst. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu memenuhi sekitar 97,5% dari total kebutuhan air tahunan sebesar 2.555.000 liter, dengan volume air terpompa sebesar 2.491.000 liter per tahun. Sistem ini dirancang menggunakan 10 unit panel surya masing-masing berkapasitas 350 Wp, dengan efisiensi sistem mencapai 80,4% dan efisiensi pompa sebesar 18,5%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem PATS dapat menjadi solusi alternatif untuk memenuhi kebutuhan air di fasilitas publik secara ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Namun demikian, terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian ini. Pertama, efisiensi pompa yang relatif rendah menunjukkan bahwa karakteristik teknis pompa dan sistem hidrolik masih perlu disesuaikan dengan medan aplikasi. Kedua, simulasi hanya mempertimbangkan data iradiasi dan kondisi operasional standar tanpa memasukkan skenario ekstrem seperti cuaca mendung berkepanjangan atau kerusakan komponen. Ketiga, hasil simulasi belum divalidasi melalui uji lapangan atau prototipe, sehingga perlu

dilakukan implementasi nyata untuk memperoleh data performa aktual.

Di masa yang akan datang, sistem PATS berpotensi untuk diterapkan tidak hanya di stasiun kereta api, tetapi juga pada fasilitas publik lainnya seperti terminal, rumah sakit, atau sekolah yang membutuhkan pasokan air mandiri. Dengan perbaikan desain dan integrasi teknologi pintar, sistem ini dapat menjadi bagian penting dalam upaya transisi energi bersih dan pemanfaatan energi terbarukan di sektor infrastruktur publik.

Ucapan Terimakasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dengan proses penelitian atas dukungan finansial dan moral mereka, yang memungkinkan penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] A. S. Wardhana, R. H. Triyanto, and A. K. Dewi, "Pemanfaatan Panel Surya Untuk Pompa Irigasi Tanaman di Area Perhutani Jatirejo Cepu," vol. 2, no. 4, pp. 547–557, 2023, doi: 10.55123/abdikan.v2i4.2691.
- [2] V. Dwisari, S. Sudarti, and Y. Yushardi, "Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan," *Opt. J. Pendidik. Fis.*, vol. 7, no. 2, pp. 376–384, 2023, doi: 10.37478/optika.v7i2.3322.
- [3] J. Pongoh, M. Langie, S. Tuwongkesong, W. Pasek, J. Tampemawa, and P. N. Manado, "Plts Sebagai Energi Alternatif Di Indonesia Yang Ramah Lingkungan," *Cent. Publ.*, vol. 1, pp. 289–294, 2023.
- [4] Z. Serat, S. A. Z. Fatemi, and S. Shirzad, "Design and Economic Analysis of On-Grid Solar Rooftop PV System Using PVsyst Software," *Arch. Adv. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 63–76, 2023, doi: 10.47852/bonviewaaes32021177.
- [5] M. Dwi *et al.*, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada Kolam Budidaya di Daerah Sentono Menggunakan Software PVsyst," vol. 06, no. September, pp. 18–30, 2021.
- [6] D. T. Laksono *et al.*, "Simulasi dan Perancangan PLTS Offgrid 3 kW Menggunakan Software PVsyst," vol. 9, no. 2, pp. 581–588, 2025.
- [7] M. S. Alim, S. Thamrin, and R. L. W., "Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Alternatif Ketahanan Energi Nasional Masa Depan," *J. Pengabd. Kpd. Masy. Nusant.*, vol. 4, no. 3, pp. 2427–2435, 2023.
- [8] R. Hasrul, "Sistem Pendinginan Aktif Versus Pasif Di Meningkatkan Output Panel Surya," *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 5, no. 2, pp. 79–87, 2021.
- [9] A. Paelongan, S. Payung, and Y. Sattu, "TINJAUAN PENGGUNAAN SOLAR HOME SYSTEM SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF LISTRIK RAMAH LINGKUNGAN," *J. Nat. Sci. Technol. ADPERTISI*, vol. 4, no. 2, pp. 29–34, 2024.
- [10] F. Ferdiansyah *et al.*, "Rancang Bangun dan Analisa Sistem Pompa Air Tenaga Surya Untuk Pertanian Hidroponik," vol. 3, no. 2, 2024.
- [11] T. Alamsyah, A. Hiendro, and Z. Abidin, "Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel Mono-Crystalline dan Poly-Crystalline Di Kota Pontianak dan Sekitarnya," *J. Tek. Elektron.*, p. 10, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/viewFile/e/48425/75676590121>
- [12] I. A. Nugraha and Hardiyati, "KONSEP STASIUN INTEGRASI ANTARMODA KERETA CEPAT DAN," vol. 7, no. 2, pp. 676–685, 2024.
- [13] V. Nailia Rahma and K. Nurul Handayani, "Pada Kawasan Pengembangan Stasiun Kereta Api Kroya Di Cilacap," *Juli*, vol. 4, no. 2, pp. 607–616, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.ft.uns.ac.id/index.php/senthong/index>
- [14] W. A. Pratama, M. Fatkhurrohman, and Irwanto, "Pengaruh Azimuth terhadap Intensitas Cahaya , Tegangan , dan Arus Panel Surya 50 WP Off-Grid pada Program Match Fund Solar Cell UNTIRTA Universitas Sultan Ageng Tirtayasa , Indonesia Program Match Fund Solar Cell UNTIRTA adalah strategi inisiatif untuk me," *J. Tek. Mesin, Ind. Elektro Dan Inform.*, vol. 4, no. 1, pp. 94–106, 2025.
- [15] M. Effendy *et al.*, "PEMANFAATAN ENERGI SURYA UNTUK MENJAMIN KETERSEDIAAN LISTRIK DI MASJID CHENG-HO," *CommunnityDevelopment J.*, vol. 6, no. 1, pp. 440–445, 2025.
- [16] D. Setiawan, "Konservasi energi dalam bidang pertanian dengan green energy dan green building," no. November, 2024.
- [17] M. Syahid, N. Salam, W. Piarah, and Z. Djafar, "Pemanfaatan Pompa Air Tenaga Surya Untuk Sistem Irigasi Pertanian," *J. Tepat (Teknologi Terap. Untuk Pengabd. Masyarakat)*, vol. 5, pp. 102–107, 2022.
- [18] P. Pawitra, T. Dharma, M. F. Zambak, and P. Harahap, "Analisa Radiasi Sinar Matahari Terhadap Panel Surya 50 WP," vol. 4, no. 1, pp. 48–54, 2021.
- [19] A. Indira, A. S. Wardhana, J. Dwi, and K. Laiyan, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Rumah Tinggal Kabupaten Temanggung menggunakan PVSyst," pp. 60–69, 2024.
- [20] O. Azis Bukhori, I. N. Setiawan, and I. W. Arta Wijaya, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Suplai Daya Pompa Air Submersible Inoto 2 Hp Di Dusun Leran," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 4, p. 117, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i04.p14.