

ANALISIS RUGI-RUGI DAYA KABEL DC PADA PLTS 1 MWP ON-GRID INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA BERDASARKAN DATA *FUSION SOLAR*

Gde KM Atmajaya, S.T., M.T.^{1*}, Syamsyarief Baqaruzi, S.T., M.T.², Bernardus Galih Dwi Wicaksono, S.T., M.T.³, Dr. Sabhan Kanata, S.T., M.T.⁴, Ali Muhtar, S.Pd., M.Eng.⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365

Corresponding email: gde.atamajaya@el.itera.ac.id

Riwayat Artikel

Diterima
17/01/2022
Disetujui
17/03/2022
Diterbitkan
15/06/2022

Abstrak

PLTS 1 MWp *on-grid* kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA) tersusun dari kumpulan modul surya, *inverter*, kabel penghantar DC, dan peralatan pengaman yang dirangkai dalam satu kesatuan sistem. Masing-masing dari komponen tersebut memiliki peran dalam menyalurkan energi listrik yang dihasilkan modul surya ke beban listrik gedung di ITERA. Paper ini akan membahas rugi-rugi daya yang dihasilkan oleh komponen-komponen PLTS terutama pada kabel distribusi DC yang digunakan. Berdasarkan hasil simulasi PVSyst V6.81 diperoleh hasil 1,98% rugi-rugi dihasilkan dari proses distribusi pada kabel DC. Hasil simulasi dibandingkan dengan hasil pengukuran dari *software fusion solar* yang mencatat komponen daya yang dihasilkan oleh PLTS ITERA seperti tegangan, arus, daya, dsb masing-masing *string* yang terhubung pada *inverter* dengan durasi pengambilan data 5 menit (12 jam per hari 06.00 – 18.00). Berdasarkan data yang diperoleh dari *fusion solar* pada bulan Agustus dan perhitungan menggunakan rumus, rata-rata persentase terendah *losses* energi dari kabel DC sebesar 0,6542% pada *inverter* 6 dan tertinggi 0,6718% pada *inverter* 1. Perbedaan *losses* masing-masing *inverter* ini dipengaruhi oleh gangguan yang terjadi pada jalur kabel DC distribusi dari modul menuju masing-masing *inverter* seperti arus hubung singkat ke tanah.

Kata Kunci: PLTS 1 MWp, *losses* kabel, *fusion solar*

Abstract

PLTS 1 MWp *on-grid* at the Sumatra Institute of Technology (ITERA) campus comprises solar modules, inverters, DC cables, and protection equipments assembled in a compact system. Each of these components has a role in transmitting the electrical energy generated by the solar module to the electrical load at ITERA. This paper will discuss the power losses generated by PLTS components, especially the DC distribution cables used. The simulation of PVSystV6.81 obtained 1.98% of the losses resulting from the distribution process on the DC cable. The simulation results were compared with the measurement results from the solar fusion software, which records the power components generated by PLTS ITERA such as voltage, current, power, etc. for each string connected to the inverter with a data collection duration of 5 minutes (12 hours per day 06.00 – 18.00). Based on data obtained from fusion solar in August and formula calculation, the lowest average percentage loss of energy from DC cables is 0.6542% on inverter 6, and the highest is 0.6718% on inverter 1. The difference losses of each inverter are caused by disturbances in the DC cable distribution line from the module to each inverter, such as short circuit current to ground.

Keywords: PLTS 1 MWp, power losses, fusion solar

1. Pendahuluan

Energi terbarukan menjadi energi alternatif yang akan menggantikan peran bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat [1]. Selain ramah lingkungan, energi terbarukan secara

alami dapat diperbaharui dengan cepat dan ketersediaannya melimpah di alam. Melihat banyaknya keuntungan penggunaan energi terbarukan, banyak negara di dunia secara gencar memanfaatkan energi terbarukan. Salah satunya

adalah Indonesia[2]. Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan mencapai 23% di tahun 2025. Salah satu energi terbarukan yang dimanfaatkan adalah energi matahari menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

PLTS merupakan pembangkit listrik yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik menggunakan teknologi *photovoltaic* (PV)[3]. Radiasi matahari yang jatuh pada modul *photovoltaic* diubah menjadi energi listrik dan disalurkan menuju beban listrik menggunakan beberapa perangkat seperti *inverter*, kabel penghubung, dan perangkat pengamanan. *Inverter* berfungsi untuk mengubah besaran listrik DC menjadi AC, kabel penghubung menyalurkan listrik yang dihasilkan PLTS menuju beban, dan perangkat pengamanan terdiri dari *circuit breaker* dan *fuse* untuk membatasi arus yang mengalir pada saat terjadi gangguan[4]. Berdasarkan konfigurasi, PLTS dibagi menjadi dua tipe yaitu *on-grid* yang terhubung dengan jaringan listrik PLN dan *juga off-grid* yang tidak terhubung pada jaringan listrik PLN.

Salah satu konfigurasi PLTS *on-grid* yang berlokasi di dalam kampus adalah PLTS 1 MWp ITERA yang resmi beroperasi sejak bulan Maret 2021 untuk menyuplai beban listrik pada gedung perkuliahan. Dalam pengoperasiannya, data hasil pengukuran daya dan gangguan yang terjadi pada PLTS tercatat pada *software Fusion Solar*. *Software* ini terinstal pada *smart inverter* dan dapat diakses melalui jaringan internet. Pengukuran dilakukan per 5 menit selama PLTS beroperasi yaitu 12 jam per hari.

Data yang diperoleh dari *fusion solar* berupa tegangan, arus, daya, fasa, dan energi dapat dianalisis untuk mengetahui besar *losses* energi yang terjadi pada saat PLTS beroperasi. Nilai *losses* ini dapat terjadi disebabkan faktor lingkungan seperti suhu tinggi pada permukaan panel, debu yang menutupi permukaan panel dan terdapat bagian modul yang tertutup bayangan. Selain lingkungan terdapat *losses* yang diakibatkan sistem kelistrikan yaitu *losses* konversi energi pada *inverter*, pada jaringan distribusi listrik dan gangguan sistem tenaga[1]. *Losses* ini perlu dianalisis untuk mengetahui performa PLTS.

Studi ini bertujuan untuk menganalisis *losses* yang dihasilkan kabel DC pada proses penyaluran energi listrik dari modul PV ke *inverter* dan dibandingkan dengan daya total yang sampai pada *inverter*. Kabel penghantar DC memiliki resistansi yang dapat menyebabkan drop tegangan dan penurunan daya yang disalurkan. Hasil pengukuran dihitung secara matematis dan dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan *software PVSyst 6.81* [1]. Apabila nilai *losses* akibat kabel DC sudah melebihi nilai hasil simulasi, maka perlu dilakukan perbaikan pada jaringan kabel DC yang terpasang.

2. Metode

Analisis rugi-rugi daya pada suatu penghantar DC dapat dilakukan dengan menggunakan rumus matematis dari fenomena arus yang mengalir pada suatu resistansi [4]. Kabel penghantar DC pada PLTS memiliki nilai resistansi yang dinyatakan dalam satuan ohm/km. Pada penelitian ini, perhitungan dilakukan menggunakan data-data hasil pengukuran pada *software fusion solar*.

2.1. Rugi-rugi Penghantar DC

Pada prinsipnya arus yang mengalir pada suatu penghantar akan menghasilkan rugi-rugi daya (P_{loss}) dalam bentuk panas. Rugi-rugi tersebut dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_{loss} = 2 \cdot I_{DC}^2 \cdot r_{DC} \quad (1)$$

I_{DC} merupakan besar arus yang mengalir dari penghantar yaitu kabel DC yang menghubungkan antara kumpulan string PLTS dan inverter di power house. Sedangkan resistansi kabel DC tersebut dinyatakan r_{DC} dihitung berdasarkan panjang penghantar dikalikan dengan resistansi internal dari kabel (*ohm/km*).

2.2. Persentase Rugi-Rugi Energi Listrik

Energi total per satuan waktu (E_{tot}) pada fusion solar merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang dihasilkan pada masing-masing string. Perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan dengan energi yang hilang akibat rugi-rugi pada kabel DC dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_{tot} = \frac{E_{losses}}{E_{tot}} \times 100\% \quad (2)$$

Berdasarkan referensi penelitian sebelumnya [4] persentase rugi-rugi daya akibat penghantar DC itu tidak lebih besar dari 2%.

2.3. Fusion Solar

Fusion Solar merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk merekam seluruh data yang terukur pada PLTS ITERA. Pencatatan dilakukan secara otomatis setiap harinya dimulai pukul 06.00 sampai pukul 18.00, dengan selang waktu yang dapat diatur paling rapat per 5 menit. Data pencatatan tersebut berupa energi, arus, tegangan, irradiansi matahari, suhu dan kelembapan udara. Data pengukuran *fusion solar* yang digunakan pada analisis ini adalah data arus dan tegangan pada masing-masing *string*.

2.4. PVSyst

Selain menggunakan perhitungan matematis, *losses* kabel DC dapat dicari menggunakan simulasi menggunakan *software PVSyst*. Proses simulasi dilakukan dengan memasukkan setiap spesifikasi komponen PLTS ITERA yaitu jumlah panel, luas

area, panjang saluran penghantar, dan potensi energi matahari yang dapat dikonversi menjadi tenaga listrik.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Konfigurasi PLTS ITERA

PLTS ITERA berkapasitas 1MWp terdiri dari 3.036 buah modul PV dengan masing-masing modul berkapasitas 330Wp dan spesifikasi lain ditunjukkan pada Tabel 1. Sebanyak 23 modul dirangkai secara seri untuk membentuk suatu *string* dan masing-masing *string* terhubung dengan *protection box* untuk dihubungkan ke *inverter*.

Tabel 1. Spesifikasi Modul PV PLTS ITERA

Module Type : MP330C72	
Max Power (Wp)	330
Tolerance (%)	+ - 3
Max. Operating Voltage (Vm)	37,5
Max. Operating Current (Im)	8,80
Open-Circuit Voltage (V)	45,9
Short-Circuit Current (A)	9,12
Nominal Operating Cell Temp (°C)	45
All Technical Data Sheet at STC AM = 1,5 E= 1.000 W/m2 Tc = 25	
Maximum System Voltage	1500 V
Wind Resistance	2400 Pa
Wight	22.0 Kg
Dimension	1970 x 992 x 40mm

Terdapat 8 *inverter* (1-8) pada PLTS ITERA, untuk mengkonversi listrik DC menjadi listrik AC di mana masing-masing *inverter* tersebut terhubung pada 16-17 buah *string*. *Inverter* yang digunakan berjenis *smart inverter* SUN2000-100KTL yang dapat terhubung pada jaringan internet untuk mentransfer data pengukuran ke *fusion solar*.

3.2. Data Fusion Solar

Besar arus dan tegangan *setiap string* yang masuk ke *smart inverter* dicatat datanya ke dalam *fusion solar* setiap 5 menit sekali.

String	Input Voltage (V)	Input Current (A)
PV1	786.8	3.86
PV2	786.8	3.82
PV3	789.1	3.83
PV4	789.1	4.07
...		
PV15	789.7	3.84
PV16	789.7	4.12

Gambar 1. Cuplikan data pengukuran arus dan tegangan per *string*

Berikut ini data pengukuran arus dan tegangan pada masing-masing *inverter*.

Tabel 2. Pengukuran arus dan tegangan masing-masing *inverter*

Nilai Rata-Rata	Inverter							
	Inv 1	Inv 2	Inv 3	Inv 4	Inv 5	Inv 6	Inv 7	Inv 8
Arus (A)	44,25	44,71	44,63	44,49	47,60	46,50	47,17	47,40
Standar Deviasi Arus	39,45	39,25	39,45	39,36	41,47	40,89	40,82	41,16
Tegangan (V)	765,24	768,03	764,86	767,17	768,66	771,32	768,66	769,99

Nilai arus pada Tabel 2 merupakan penjumlahan arus yang mengalir pada masing-masing *string* dan masuk ke *inverter*. Nilai tegangan dan arus digunakan untuk menghitung total daya rata-rata yang dibangkitkan (Tabel 3).

Tabel 3. Perhitungan daya rata-rata

Nilai Rata-Rata	Inverter							
	Inv 1	Inv 2	Inv 3	Inv 4	Inv 5	Inv 6	Inv 7	Inv 8
Daya Produksi (W)	33.861,62	34.339,28	34.135,80	34.131,77	36.588,50	35.865,48	36.257,63	36.500,59

3.3. Losses Penghantar DC

Kabel DC PLTS ITERA berukuran 6mm dengan nilai resistansi sebesar 3,6 ohm/km, sehingga total resistansi kabel DC sepanjang 270m bernilai 0,972 ohm. Rugi-rugi daya penghantar DC dihitung menggunakan persamaan (1) dengan data arus masing-masing *string* pada *inverter* yang telah diperoleh dari *fusion solar*. Hasil perhitungan rugi-rugi daya kabel DC ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan *losses* pada kabel DC

Nilai Rata-Rata	Inverter							
	Inv 1	Inv 2	Inv 3	Inv 4	Inv 5	Inv 6	Inv 7	Inv 8
Arus (A)	44,25	44,71	44,63	44,49	47,60	46,50	47,17	47,40
Standar Deviasi Arus	39,45	39,25	39,45	39,36	41,47	40,89	40,82	41,16
Daya Losses (W)	405,48	404,51	403,65	403,95	429,38	413,74	421,15	425,50

Setiap *inverter* terdiri dari 16-17 *string*, nilai arus rata-rata merupakan nilai arus pada setiap *string* dirata-rata lalu dijumlahkan dengan *string* lain yang berada pada satu *inverter* yang sama. Hasil rata-rata arus dapat digunakan, jika nilai standar deviasi kurang dari nilai rata-rata. Sehingga perhitungan rugi-rugi daya akibat kabel DC dapat dihitung menggunakan arus rata-rata pada setiap *inverter*. Berdasarkan hasil perhitungan terlihat rugi-rugi daya tertinggi terjadi pada *inverter* 5 dan terendah pada *inverter* 2. Nilai rugi-rugi ini perlu dibandingkan dengan nilai daya yang dihasilkan.

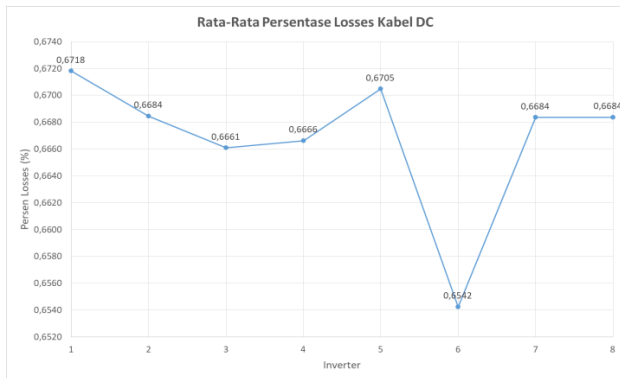
3.4. Persentase Energi Losses

Persentase rugi-rugi energi pada kabel DC dihitung menggunakan persamaan (2) dan diperoleh hasil pada Tabel 5.

Tabel 5. Persentase Losses Kabel DC

Nilai Rata-Rata	Inverter							
	Inv 1	Inv 2	Inv 3	Inv 4	Inv 5	Inv 6	Inv 7	Inv 8
Daya Produksi (kW)	33.861,62	34.339,28	34.135,80	34.131,77	36.588,50	35.865,48	36.257,63	36.500,59
Persentase Losses (%)	0,6718	0,6684	0,6661	0,6666	0,6705	0,6542	0,6684	0,6684
Standar Deviasi Persentase Losses	0,6091	0,5987	0,6055	0,6051	0,5970	0,5841	0,5896	0,5923

Pada Gambar 2 menunjukkan grafik persentase losses kabel DC antara inverter 1 sampai 8, sehingga terlihat inverter yang memiliki losses tertinggi dan terendah.



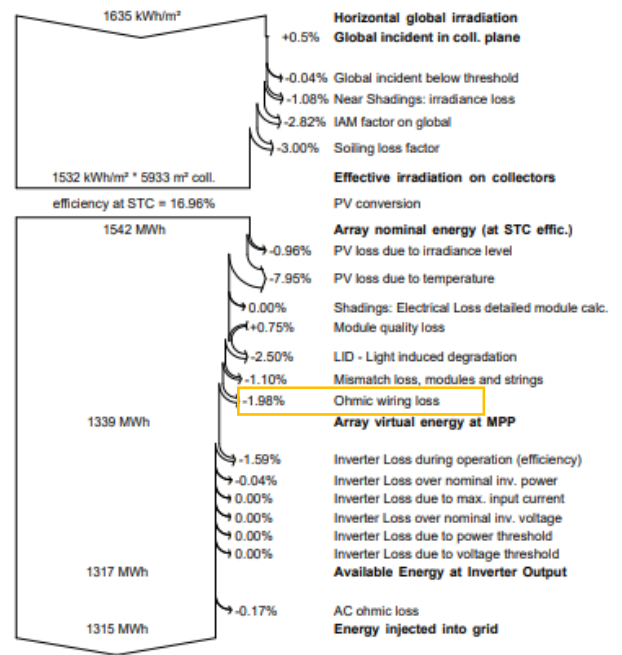
Gambar 2. Rata-rata persentase losses

Rata-rata persentase losses kabel DC tertinggi ditunjukkan pada inverter 1 sebesar 0,6718%. Dan yang terendah pada inverter 6 sebesar 0,6542%. Losses ini juga dipengaruhi adanya ground fault pada string 14, Inverter 1.

3.5. Perbandingan Hasil Simulasi

Konfigurasi PVSyst mengikuti kondisi PLTS ITERA yang mempunyai 3.036 unit modul PV (330Wp per modul), yang dipasang dengan kemiringan 10°, dan panjang kabel DC 270 m. Hasil simulasi PVSyst pada Gambar 3 menunjukkan nilai losses pada kabel DC sebesar 1,98%.

Berdasarkan perbandingan hasil simulasi dan hasil perhitungan menggunakan data yang diperoleh dari fusion solar, diperoleh kesimpulan bahwa rugi-rugi pada kabel DC PLTS ITERA masih berada dalam kondisi yang aman tidak melebihi hasil simulasi. Apabila terjadi kenaikan rugi-rugi kabel DC, diperlukan perbaikan dan pengecekan kondisi kabel.



Gambar 3. Hasil simulasi PVSyst

4. Kesimpulan

Salah satu aspek rugi-rugi daya pada PLTS ITERA adalah rugi-rugi pada penghantar DC. Rugi-rugi ini disebabkan oleh arus yang mengalir pada suatu resistansi yaitu resistansi kabel DC. Semakin panjang saluran DC maka semakin besar rugi-rugi daya yang dihasilkan. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh nilai rugi-rugi kabel DC pada PLTS ITERA masih berada pada nilai aman yaitu di bawah 1,98% dari daya total yang dibangkitkan. Nilai tertinggi rugi-rugi kabel DC ditunjukkan pada string 14, inverter 1.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih UPT PLTS ITERA yang telah memberikan data-data yang dijadikan acuan perhitungan pada jurnal ini. Semoga hasil penelitian ini dapat berguna untuk meningkatkan performa dari PLTS ITERA.

Daftar Pustaka

- [1] A. Narasimhan, "Qualitative Assessment of PV System Cable Loss and Practical Cost Optimization," *Proc. CONECCCT 2020 - 6th IEEE Int. Conf. Electron. Comput. Commun. Technol.*, 2020, doi: 10.1109/CONECCCT50063.2020.9198671.
- [2] A. Halimatussadiah, A. Amanda, and R. F. Maulia, "Unlocking Renewable Energy Potential in Indonesia: Assessment on Project Viability," *LPEM-FEB University Indones. Work. Pap.*, vol. 052, no. July, pp.

- 1–10, 2020, [Online]. Available: https://www.lpem.org/wp-content/uploads/2020/07/WP-LPEM-052-Unlocking_Renewable_Energy_Potential_in_Indonesia.pdf.
- [3] C. K. Gan, Y. M. Lee, D. Pudjianto, and G. Strbac, "Role of losses in design of DC cable for solar PV applications," *2014 Australas. Univ. Power Eng. Conf. AUPEC 2014 - Proc.*, no. October, pp. 2–6, 2014, doi: 10.1109/AUPEC.2014.6966594.
- [4] S. Ekici and M. A. Kopru, "Investigation of PV system cable losses," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 7, no. 2, pp. 807–815, 2017.
- [5] F. Mejia, J. Kleissl, J.L. Bosch, "The effect of dust on solar photovoltaic systems", *Energy Procedia*, Vol. 49, pp. 2370-2376, 2014.
- [6] L. Sabri, M Benzirar, "Effect of ambient conditions on thermal properties of photovoltaic cells: crystalline and amorphous silicon", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 3, (12), pp. 17815-17821, 2014.
- [7] B.P. Koirala, B. Sahan, & N. Henze, "Study on MPP Mismatch Losses in Photovoltaic Applications", *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC)*, Hamburg, Germany, pp. 3727-3733, September, 2009.
- [8] Z. Gershony, and T. Mccalmon, "Optimal DC Cable Selection in PV Design", *Solar Pro*, 5.5, pp.64-73, 2012.
- [9] A. Kane, V. Verma, "Performance enhancement of building integrated photovoltaic module using thermoelectric cooling", *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol.3, No.2, 2013.
- [10] M.R. Maghami, H. Hizam, C. Gomes, M.A. Radzi, M.I. Rezadad & S. Hajjighorbani, "Power loss due to soiling on solar panel: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 59, pp. 1307–1316, 2016.
- [11] S. Curcic, G. Strbac and X.-P. Zhang, "Effect of losses in design of distribution circuits", *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 148, 2001, pp. 343-349.
- [12] A. Hussain, A. Batra, and R. Pachauri, "An experimental study on effect of dust on power loss in solar photovoltaic module," *Renewables: Wind, Water, and Solar*, vol. 4, no. 1, p. 9, 2017.
- [13] B. P. Koirala, B. Sahan, and N. Henze, "Study on MPP mismatch losses in photovoltaic applications," in *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC)*, Hamburg, Germany, 2009, pp. 3727–3733.
- [14] Bakhtyar, B., Sopian, K., Zaharim, A., Salleh, E., & Lim, C. H. (2013). Potentials and challenges in implementing feed-in tariff policy in Indonesia and the Philippines. *Energy Policy*, 60, 418- 423. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.034>.
- [15] Burke, P. J., Widnyana, J., Anjum, Z., Aisbett, E., Resosudarmo, B., & Baldwin, K. G. (2019). Overcoming barriers to solar and wind energy adoption in two Asian giants: India and Indonesia. *Energy Policy*, 132, 1216-1228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.05.055>.