



## Teknologi Deteksi dan Diagnosis Kerusakan pada PLTS: Review

**Taufal Hidayat**

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang  
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia  
E-mail: [taufalhidayat4690@gmail.com](mailto:taufalhidayat4690@gmail.com)

---

### Informasi Artikel

**Diserahkan tanggal:**

2 Desember 2019

**Direvisi tanggal:**

18 Desember 2019

**Diterima tanggal:**

9 Januari 2020

**Dipublikasikan tanggal:**

31 Januari 2020

**Digital Object Identifier:**

10.21063/JTE.2020.3133903



---

### Abstrak

Perkembangan yang signifikan dari pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energy alternatif pengganti sumber energy fosil membuat kebutuhan untuk merancang sistem deteksi dan monitoring yang baik untuk menghindari terjadinya kerusakan pada PLTS. Beragam teknik deteksi dan monitoring telah dikembangkan dalam berbagai literature. Paper ini mereview dan menganalisis berbagai kerusakan yang mungkin terjadi pada PLTS dan berbagai teknologi deteksi yang dapat diterapkan untuk menghindari terjadi kerusakan yang lebih serius pada PLTS.

**Kata kunci:** *Solar cell, microgrid, esp8266, internet of things, smart meter.*

## 1. PENDAHULUAN

Isu pemanasan global dan pengurangan pemakaian sumber energy fosil membuat peningkatan pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi alternatif makin hari makin meningkat secara signifikan [1 – 2]. Dalam beberapa dekade terakhir beberapa penelitian terkait peningkatan efisiensi solar panel, pengurangan harga panel, dan optimalisasi jumlah daya yang dapat dihasilkan solar panel telah dilakukan [3, 5, 7]. Namun, Salah satu hal yang mesti diteliti lebih mendalam adalah tentang sistem monitoring dan deteksi dan kerusakan yang terjadi pada solar panel mengingat sistem PLTS sangat rentan akan terjadinya kerusakan yang dapat mempengaruhi efisiensi, daya tahan, dan keamanan dari system [6 – 11]. Beberapa standar nasional telah ditetapkan untuk melindungi sistem PLTS. Namun standar yang diberikan hanya untuk melindungi komponen AC dari solar panel dan tidak untuk sistem DC, sehingga monitoring dan deteksi kerusakan pada solar panel akan sulit untuk dilakukan [4].

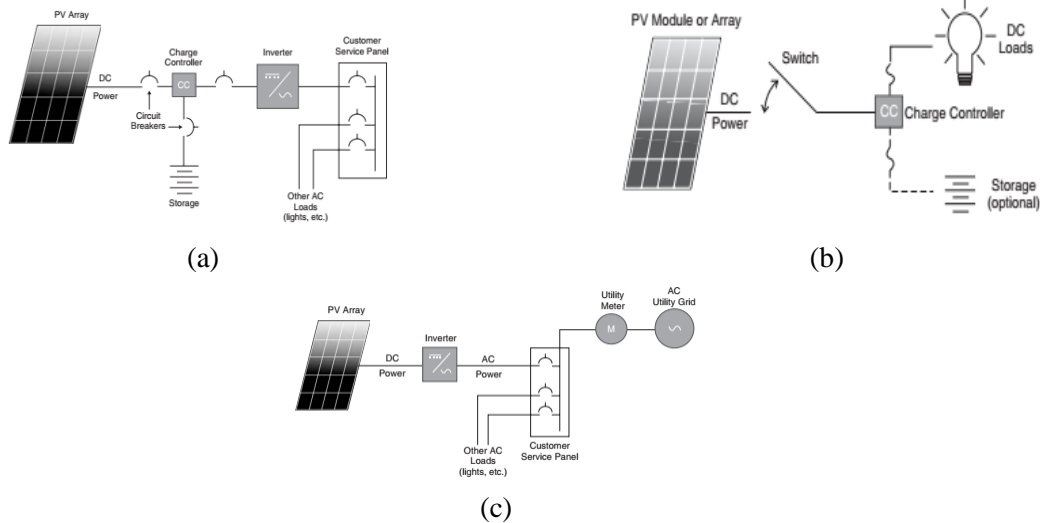
Sistem DC dari solar panel harus dilindungi dari beberapa jenis kerusakan utama yaitu Line-to Line faults (LLF), Ground Faults (GF), Arc Faults (AF), dan Hot Spot Faults (HSF). Efek dari ke-empat jenis kerusakan ini lebih dominan daripada jenis kerusakan yang lainnya, seperti LLF, GF dan AF pada banyak kasus dapat menyebabkan kebakaran dan rugi rugi daya yang sangat besar [12 – 14]. Ketiga jenis kerusakan diatas disebut juga Catastrophis fault. Sedangkan, HSF dapat menyebabkan kerusakan permanen pada solar panel. Tantangan untuk mendesign teknik deteksi dan diagnosis empat jenis kerusakan pada solar panel telah menarik banyak ilmuwan untuk melakukan penelitian akan hal tersebut. Saat ini telah banyak teknik yang dikembangkan [15 – 16]. Beberapa teknik berfokus pada penanganan satu jenis kesalahan dan beberapa teknik lain dapat menangani beberapa jenis kesalahan [17, 22].

Paper ini bertujuan untuk memberikan review tentang berbagai teknik deteksi dan diagnosis yang sudah dikembangkan oleh penelitian sebelumnya untuk mendeteksi empat jenis kerusakan utama pada solar panel. Pada paper ini semua teknik dibandingkan dan diberikan penilaian untuk kemudian di evaluasi guna

merumuskan suatu teknik baru yang dapat mendeteksi dan mendiagnosis kerusakan pada solar panel secara optimal.

## 2. REVIEW SISTEM PLTS

PLTS adalah pembangkit listrik yang mengubah cahaya matahari melalui solar panel. Listrik yang dihasilkan merupakan listrik DC yang nantinya dirubah menjadi listrik AC menggunakan inverter. PLTS biasanya dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu stand alone system, grid-connected system, dan hybrid power system. Gambar 1 di bawah ini menunjukkan skema dari 3 jenis PLTS.



**Gambar 1.** Jenis-jenis PLTS, (a) Stand alone; (b) Grid connected; (c) Hybrid connected

PLTS terdiri dari banyak solar panel yang terhubung secara seri dan parallel. Walaupun pada PLTS tidak ada komponen yang bergerak. Tapi PLTS rentan terhadap kerusakan. Sehingga pada PLTS perlu ditambahkan perangkat proteksi overcurrent dan groundfaults.

## 3. KERUSAKAN PADA PLTS

Penyebab kerusakan pada solar panel dapat berupa sambungan fisik, sambungan kelistrikan dan lingkungan sekitar. Beberapa jenis kerusakan pada PLTS dijelaskan sebagai berikut:

1. Ground Faults. Merupakan kerusakan yang terjadi karena adanya sambungan listrik antara konduktor dengan grounding sehingga menyebabkan aliran arus menuju ground.
2. Line-Line Fault, Merupakan kerusakan karena terjadinya hubung singkat antara dua titik dengan tegangan yang berbeda baik itu di dalam satu modul solar panel yang sama atau antara satu modul dengan modul yang lainnya.
3. Arc Fault, kerusakan yang terjadi karena pelepasan muatan ke celah udara diantara konduktor.
4. Hot Spot Fault, Merupakan kerusakan yang terjadi karena ketidak sesuai impedansi antara masing masing cell pada solar karena perbedaan pencahayaan yang diterima oleh masing masing cell.

## 4. REVIEW TEKNIK DETEKSI DAN DIAGNOSIS KERUSAKAN PADA PLTS

Bagian ini mereview teknik yang pernah dikembangkan oleh penelitian sebelumnya untuk mendeteksi dan mendiagnosis kerusakan pada PLTS. Teknik deteksi dan diagnosis kerusakan PLTS secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu (1) metode visual dan thermal dan (2) metode kelistrikan.

Secara lebih khusus, teknik deteksi dan diagnosis kerusakan pada PLST dapat dikategorikan menjadi 5 jenis yaitu (1) Comparison based-technique, (2) Statistical and signal processing techniques, (3) Reflectometry-based technique, dan (4) Machine learning technique.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mendeteksi dan mendiagnosis kerusakan pada PLTS, dirangkum dalam Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Perbandingan penelitian teknologi deteksi dan diagnosis kerusakan pada PLTS

No	Author	method	subject	application	type of faults	method type	advantages	result
[1]	Suorov Roy, et al	spread spectrum time domain reflectometry (SSTDR)	nilai impedansi antara pasangan node	sistem PV dunia nyata	Kesalahan ground PV dalam array PV (string tunggal dan ganda) dan resistansi kesalahan		dapat digunakan bahkan jika tidak ada iradiasi matahari	bekerja pada penyinaran rendah, dapat mendeteksi gangguan tanah spesifik yang mungkin tidak terdeteksi menggunakan metode konvensional
[2]	Dhanup S. P, et al	memanfaatkan MPPT itu sendiri, mengeksploitasi keunikan dari puncak daya paling kanan (RPP) dalam karakteristik output dari array PV.	algoritma MPPT perturb & mengamati (P&O) yang digunakan secara global		line-line (LL) and line-ground (LG) faults		kesalahan yang terjadi pada tingkat radiasi rendah dan kondisi naungan parsial (PSC) juga dapat dideteksi dengan akurasi yang luar biasa, skalabilitas, kesederhanaan, dan kesesuaian praktis.	cakap untuk membedakan kesalahan LL / LG dari PSC dan variasi suhu array PV dalam lingkungan waktu nyata
[3]	B. Pradeep Kumar, et all	wavelet packets simulated using MATLAB/Simulink		1.6-kW 4 × 4 PV array				tepatnya mengategorikan hot spot PV dengan tingkat akurasi tinggi hampir di atas 80%.
[4]	Mahmoud Dhimish, et all	teknik pemodelan kumulatif densitas fungsi (CDF)	tiga modul PV yang berbeda dipengaruhi oleh tiga hot-spot yang berbeda	2580 polycrystalline silicon PV modules	Hot spotting faults			
[5]	Palak Jain, at all	digital twin approach for fault diagnosis	PV panellevel power converter prototype		sepuluh kesalahan berbeda dalam PVECU		sensitivitas kesalahan yang lebih tinggi daripada pendekatan yang ada	deteksi kesalahan pada konverter daya dan sensor listrik kurang dari 290 $\mu$ s dan waktu identifikasi kurang dari 4 ms.
[6]	Hosna Momeni, at all	algoritma semi-supervised learning (GBSSL) berbasis grafik						semua kesalahan termasuk yang tidak dipelajari dan dipelajari dalam berbagai kondisi lingkungan, di mana dimungkinkan susunan PV berpengalaman, diidentifikasi dan dikoreksi dengan baik.
[7]	Ahteshamul Haque, at all	Teknik pemrosesan sinyal berbasis Discrete wavelet transform (DWT)	24/7 automated surveillance					waktu deteksi kesalahan rata-rata diamati <9 detik, akurasi 100%

[8]	Yuanliang Li, at all	model simulasi kesalahan cepat berbasis kode (CFFSM), evolusi diferensial (DE)	model satu-dioda sel PV dengan parameter lingkungan diperoleh dengan ekstraksi parameter.		partial shading, short circuit, and increased series-resistance losses		mengenali kesalahan serentak dan menggambarkan masing-masing kesalahan secara kuantitatif dengan mengidentifikasi parameter kesalahan dari kurva arus-tegangan (I – V) terukur dari array PV	dapat mengidentifikasi parameter hingga tiga kesalahan bersamaan di bawah kondisi radiasi yang baik dengan akurasi tinggi.
[9]	Noburo Ktayama	using impedance spectroscopy	equivalent circuit parameters		mechanical stress, interconnection ribbon disconnection, potential-induced degradation	Current-voltage (I-V) characteristics		
[10]	Fouzi Harrou	representasi multiskala data menggunakan wavelet, fitur yang efisien / teknik pemisahan noise		Data nyata dari pabrik fotovoltaik 9,54 kWp				peningkatan sensitivitas terhadap kesalahan dan ketahanan terhadap kebisingan.
[11]	Shengyang Liu, at all	Gaussian Kernel Fuzzy C-means metode pengelompokan (GKFCM)			debu			algoritma secara efektif dapat mendiagnosis 8 kesalahan umum dalam array fotovoltaik
[12]	Fausto P. et all	sensor radiometrik yang terhubung ke platform Arduino. Kamera termografik tertanam dalam kendaraan udara tak berawak.			adanya debu			
[13]	Fouzi Harrou, et all	pendekatan deteksi anomali berbasis model	model berdasarkan model satu-dioda	data nyata dari pabrik yang terhubung ke jaringan 9,54 kWp				efisiensi deteksi superior dari pendekatan yang diusulkan dibandingkan dengan skema pengelompokan biner lainnya
[14]	Y. Chaibi, et all	artificial bees colony (ABC) optimization algorithm		menggunakan data yang dipantau dari PV 3.2kWp yang terhubung ke jaringan	short-circuit (SC) and open-circuit (OC) faults, inverter disconnection (ID) and partial shading (PS)			
[15]	J. Huang, et all	algoritma deterministik trust-wilayah-reflektif (TRR) dikombinasikan dengan algoritma metaheuristik partikel-swarm-optimisasi (PSO), algoritma multi-class adaptive boosting (AdaBoost)				Current-voltage (I-V) characteristics		Baik simulasi numerik dan hasil eksperimen menunjukkan akurasi dan reliabilitas

[16]	M. Ahmadi, et all	blind source separation algorithms called principal component analysis (PCA)			Parallel Arc Fault (PAF) and Series Arc Fault (SAF)			
[17]	R. Fezai, at all	online reduced KGLRT (OR-KGLRT)			Bypass, Mismatch, Mix and Shading failures			efisiensi deteksi unggul dibandingkan dengan statistik KGLRT konvensional dalam hal tingkat deteksi yang baik (GDR), laju alarm palsu (FAR), dan waktu komputasi (CT).
[18]	Zhicong Chen, et all	model jaringan residual mendalam dilatih oleh algoritma pembelajaran mendalam estimasi momen adaptif	a Simulink based simulation model	real laboratory photovoltaic array.		artificial intelligence	dapat secara otomatis mengekstraksi fitur dari kurva tegangan arus mentah dan radiasi dan suhu sekitar, serta secara efektif meningkatkan kinerja dengan jaringan yang lebih dalam	mencapai kinerja keseluruhan tinggi dan terbaik dalam hal akurasi, kinerja generalisasi, keandalan dan efisiensi pelatihan.
[19]	Junjie Wang, et all	Kesalahan berbasis SVM algoritma diagnosis menggunakan metode preprocessing data dan pencarian grid serta metode k-fold cross-validation	berbasis SVM terlatih algoritma diagnosis kesalahan dengan 400 data, - Modul PV dari array PV adalah STS-156P-255W dan terdiri dari 60 sel PV.	mendeteksi parameter DC dari array 3 x 4 PV	short circuit, open circuit, and lack of irradiation faults	I-V characteristic curves	memiliki akurasi dan kemampuan generalisasi yang lebih tinggi, mengatasi cacat jaringan saraf BP dan menentukan fitur kesalahan secara real time, dan tidak memerlukan peralatan tambahan. - dapat mengurangi biaya	mendapat akurasi tes 97%
[20]	R. Fazai, et all	mesin teknik Gaussian process regression (GPR) berbasis pembelajaran sebagai kerangka kerja pemodelan, sedangkan pembelajaran umum likelihood test test (GLRT) chart diterapkan untuk mendeteksi kesalahan sistem PV	silikon polikristalin Modul PV dihubungkan secara seri untuk membentuk string tunggal		ketidakcocokan disebabkan oleh pengelompokan non-homogen atau buruk sel PV yang cocok, memotong yang disebabkan oleh sirkuit pendek atau terbuka, dioda terbalik			memberikan kompromi yang baik antara perhitungan waktu dan akurasi deteksi kesalahan (dalam hal tingkat alarm palsu (JAUH) dan tingkat deteksi terjawab (MDR))

[21]	S. Fadhel, et all	menggunakan PCA untuk analisis fitur yang diekstrak dari kurva I-V nyata	data nyata yang dihasilkan dari modul FL60-250MBP PV; Referensi sel RG100 oleh SOLEMS		Partial shading	data-driven approaches		kinerja yang baik dengan tingkat keberhasilan klasifikasi minimum 87,38% untuk 4 kelas (satu sehat dan tiga salah). tingkat klasifikasi sukses dengan minimum 97%
[22]	Xiaoyang Lu, et all	Neural Konvolusional Diagnosis kesalahan PVA berbasis jaringan		PVS 3 grid (praktis) × 6 (seri) praktis terhubung				mencapai akurasi rata-rata lebih dari 99%, yang akurasi klasifikasi dengan berbagai jendela geser pada dataset pengujian adalah 99,28%, 99,40%, dan 99,51%

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini mereview berbagai penelitian terakhir tentang teknologi deteksi dan diagnosis terhadap emoaat jenis kerusakan pada PLTS. Salah satu jenis kerusakan yang banyak menjadi perhatian para peneliti sebelumnya yaitu hot spot failure. Teknologi deteksi yang banyak digunakan adalah dengan menggunakan *temperature-based* model dengan menempatkan sensor suhu pada permukaan solar panel.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Time *et al.*, “An Irradiance Independent , Robust Ground Fault Detection Scheme for PV Arrays Based on Spread,” vol. 8993, no. c, 2017.
- [2] D. S. Pillai and N. Rajasekar, “An MPPT Based Sensorless Line - Line and Line - Ground Fault Detection Technique for PV Systems,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. PP, no. c, p. 1, 2018.
- [3] B. P. Kumar *et al.*, “Online Fault Detection and Diagnosis in Photovoltaic Systems Using Wavelet Packets,” vol. 8, no. 1, pp. 257–265, 2018.
- [4] M. Dhimish, P. Mather, and V. H. Member, “Novel Photovoltaic Hot - spotting Fault Detection Algorithm,” *IEEE Trans. Device Mater. Reliab.*, vol. PP, no. c, p. 1, 2019.
- [5] P. Jain *et al.*, “Transactions on Power Electronics A Digital Twin Approach for Fault Diagnosis in Distributed Photovoltaic Systems,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. PP, no. c, p. 1, 2019.
- [6] H. Momeni, N. Sadoogi, M. Farrokhifar, and H. F. Gharibeh, “Fault Diagnosis in Photovoltaic Arrays Using GBSSL Method and Proposing a Fault Correction,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. PP, no. X, p. 1, 2019.
- [7] A. Haque and M. A. Khan, “Fault diagnosis of Photovoltaic Modules,” no. September, pp. 1–23, 2018.
- [8] Y. Li, K. Ding, J. Zhang, F. Chen, X. Chen, and J. Wu, “A fault diagnosis method for photovoltaic arrays based on fault parameters identification,” *Renew. Energy*, 2019.
- [9] N. Katayama, S. Osawa, S. Matsumoto, T. Nakano, and M. Sugiyama, “Solar Energy Materials and Solar Cells Degradation and fault diagnosis of photovoltaic cells using impedance spectroscopy,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 194, no. September 2018, pp. 130–136, 2019.
- [10] F. Harrou, B. Taghezouit, and Y. Sun, “Robust and fl exible strategy for fault detection in grid-connected photovoltaic systems,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 180, no. June 2018, pp. 1153–1166, 2019.
- [11] G. K. F. C-means and C. Algorithm, “Photovoltaic Array Fault Diagnosis Based on,” pp. 1–15, 2019.
- [12] F. Pedro, G. Márquez, and I. Segovia, “Condition Monitoring System for Solar Power Plants with Radiometric and Thermographic Sensors Embedded in Unmanned Aerial Vehicles,” *Measurement*, 2019.
- [13] F. Harrou, A. Dairi, B. Taghezouit, and Y. Sun, “An unsupervised monitoring procedure for detecting anomalies in photovoltaic systems using a one-class Support Vector Machine,” *Sol. Energy*, vol. 179, no. December 2018, pp. 48–58, 2019.
- [14] Y. Chaibi, M. Malvoni, A. Chouder, M. Boussetta, and M. Salhi, “Simple and efficient approach to detect and diagnose electrical faults and partial shading in photovoltaic systems,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 196, no. February, pp. 330–343, 2019.
- [15] J. Huang, R. Wai, and W. Gao, “Newly-Designed Fault Diagnostic Method for Solar Photovoltaic Generation System Based on IV-Curve Measurement,” no. 1, p. 1.
- [16] M. Ahmadi, H. Samet, and T. Ghanbari, “A new method for detecting series arc fault in photovoltaic systems based on the blind source separation,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. PP, no. c, p. 1, 2019.
- [17] R. Fezai, M. Mansouri, M. Trabelsi, M. Hajji, H. Nounou, and M. Nounou, “Online reduced kernel GLRT technique for improved fault detection in photovoltaic systems,” *Energy*, vol. 179, pp. 1133–1154, 2019.
- [18] Z. Chen, Y. Chen, L. Wu, S. Cheng, and P. Lin, “Deep residual network based fault detection

- and diagnosis of photovoltaic arrays using current-voltage curves and ambient conditions,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 198, no. May, p. 111793, 2019.
- [19] J. Wang, D. Gao, S. Zhu, S. Wang, and H. Liu, “Environmental Effects Fault diagnosis method of photovoltaic array based on support vector machine,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–16, 2019.
- [20] R. Fazai *et al.*, “Machine learning-based statistical testing hypothesis for fault detection in photovoltaic systems,” *Sol. Energy*, vol. 190, no. August, pp. 405–413, 2019.
- [21] S. Fadhel *et al.*, “PV shading fault detection and classification based on I-V curve using principal component analysis : Application to isolated PV system,” *Sol. Energy*, vol. 179, no. December 2018, pp. 1–10, 2019.
- [22] X. Lu, P. Lin, S. Cheng, Y. Lin, Z. Chen, and L. Wu, “Fault diagnosis for photovoltaic array based on convolutional neural network and electrical time series graph,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 196, no. February, pp. 950–965, 2019.