



Studi Medan Elektromagnetik pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Yuninda Triyatne^{1*}, Ardian Nurarifin², Sonata Mahardika³, Umar Hamzah⁴,
Diyajeng Luluk Karlina⁵

¹⁻⁵Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Alamat: Jalan Raya Palka No.Km 3, Sindangsari, kec Pabuaran, Kota Serang, Banten

Korespondensi penulis: yunindatriyatne16@gmail.com *

Abstract. *This research investigates the electromagnetic field (EMF) characteristics generated by solar power plants, focusing on their potential environmental and health impacts. The study employs a dual methodology combining direct measurements using gaussmeters and computer simulations using COMSOL software to map electromagnetic fields around solar power installation components. Measurements were taken under two conditions: during solar power plant operation and non-operation, to establish comparative baseline data. The research found significant variations in electromagnetic field intensity based on operational status and distance from components, particularly near inverters and cable networks. Results indicate that EMF levels are higher during operation, with field strength decreasing exponentially with distance from the source. These findings contribute to understanding EMF distribution patterns in solar installations and provide valuable insights for implementing appropriate mitigation strategies to ensure safe operation within established exposure standards.*

Keywords: *Electromagnetic fields, Photovoltaics, Renewable energy, Mitigation*

Abstrak. Penelitian ini mengkaji karakteristik medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya, fokus pada dampak potensialnya terhadap lingkungan dan kesehatan. Studi ini menggunakan metodologi ganda yang menggabungkan pengukuran langsung menggunakan gaussmeter dan simulasi komputer menggunakan perangkat lunak COMSOL untuk memetakan medan elektromagnetik di sekitar komponen instalasi tenaga surya. Pengukuran dilakukan dalam dua kondisi: saat pembangkit beroperasi dan tidak beroperasi, untuk membangun data dasar komparatif. Penelitian menemukan variasi signifikan dalam intensitas medan elektromagnetik berdasarkan status operasional dan jarak dari komponen, terutama di dekat inverter dan jaringan kabel. Hasil menunjukkan bahwa tingkat EMF lebih tinggi selama operasi, dengan kekuatan medan menurun secara eksponensial seiring bertambahnya jarak dari sumber. Temuan ini berkontribusi pada pemahaman pola distribusi EMF dalam instalasi surya dan memberikan wawasan berharga untuk implementasi strategi mitigasi yang tepat guna memastikan pengoperasian yang aman dalam standar paparan yang ditetapkan..

Kata kunci: Medan Elektromagnetik, Tenaga Surya, Fotovoltaik, Energi Terbarukan, Mitigasi

1. LATAR BELAKANG

Salah satu tantangan global di Indonesia saat ini adalah penggunaan energi surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa bahan bakar fosil tidak dapat digunakan sepanjang waktu karena sumber dayanya yang terbatas dan dapat habis dalam waktu singkat. Selain itu, bahan bakar fosil juga dapat menyebabkan masalah pada masyarakat seperti pencemaran lingkungan dan pemanasan global, yang tidak dapat diatasi dengan energi matahari.

Teknologi terbarukan terus berkembang sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, salah satunya adalah fotovoltaik. Panel surya adalah komponen utama pembangkit listrik tenaga surya yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik yaitu dengan proses fotovoltaik, yang mengurangi dampak negatif terhadap

lingkungan. Namun, selain menghasilkan listrik, panel surya juga dapat menghasilkan medan elektromagnetik (EM) dalam proses konversinya

Medan elektromagnetik yang terbentuk ini bisa disebabkan oleh aliran arus listrik pada sistem dan komponen pembangkit listrik, terutama dalam infrastruktur inverter dan jaringan kabel yang menghubungkan panel surya dengan beban atau jaringan listrik. Pada studi mengenai medan elektromagnetik pada pembangkit listrik sangat penting untuk memahami sejauh mana pengaruh dampaknya terhadap lingkungan sekitar dan kesehatan manusia, serta bagaimana pengolahannya agar tetap aman dan sesuai standar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji keberadaan dan karakteristik medan elektromagnetik pada sistem pembangkit tenaga surya, khususnya pada panel surya. Dengan memahami pola dan intensitas medan elektromagnetik yang dihasilkan, diharapkan dapat dilakukan langkah – langkah mitigasi untuk mengurangi dampak negatifnya serta memastikan bahwa sistem tenaga surya ini aman bagi pengguna dan lingkungan sekitar.

2. KAJIAN TEORITIS

Sumber energi yang paling bersih dan melimpah adalah energi surya (EBT). Indonesia memiliki potensi penggunaan energi surya yang sangat besar karena negara ini terletak di khatulistiwa dan menerima penyinaran matahari setiap hari selama setahun (*Mayasari,dkk, 2022*). Sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik adalah energi matahari. Hal ini disebabkan fakta bahwa penggunaan bahan bakar untuk pembangkit listrik konvensional akan menyebabkan sumber gas, minyak bumi, dan batu bara semakin menipis, selain mengakibatkan pencemaran lingkungan (*Ramli.I. 2021*).

Energi terbarukan atau energi hijau (EBT) adalah solusi untuk mengatasi kebutuhan energi dan menutupi kelemahan energi fosil. Produksi energi terbarukan di seluruh dunia mencapai 6,58 GWh pada tahun 2018. Di sisi lain, Indonesia memproduksi 40,4 juta GWh, atau sekitar 0,61% dari produksi global (*IRENA, 2020*).

Energi matahari adalah sumber utama energi untuk banyak proses yang terjadi di Bumi, termasuk aktivitas fisik dan biologis. Radiasi adalah cara energi (panas) ditransfer melalui gelombang elektromagnetik tanpa zat perantara (*Rusman, 2017*). Sumber energi matahari dapat berasal dari berbagai sumber, seperti tenaga hidroelektrik yang berasal dari sirkulasi hujan, tenaga angin yang berasal dari perubahan suhu, dan bahan bakar minyak yang berasal dari fotosintesis. Namun, sel fotovoltaik akan menjadi sumber energi yang sangat baik di masa depan karena mudah diangkut, tidak menimbulkan polusi, dan dekat dengan pusat beban (*Manan, 2009*).

Satuan dasar yang digunakan untuk menghasilkan energi adalah sel surya. Ini menghasilkan listrik langsung dari cahaya. Disebut sebagai sel fotovoltaik karena panel surya bekerja menggunakan efek fotovoltaik. Sel surya biasanya kurang dari 0,3 mm tebal dan terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif (*Hani, 2015*). Bahan yang memiliki banyak hole (jenis p) dan elektron (jenis n) yang tinggi. Inti ion negatif berada di sisi positif jika muatan negatif bergerak ke sisi p dan muatan positif bergerak ke sisi negatif. Ini menciptakan medan listrik di persimpangan dan membentuk daerah penipisan (*Preethi, dkk, 2019*).

Panel surya adalah kelompok sel surya yang disusun sedemikian rupa sehingga dapat menyerap sinar matahari secara efektif. Saat matahari bersinar ke panel surya, sel surya akan bekerja dengan mengubah sinar matahari menjadi energi listrik melalui fotoelektrik. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya merupakan arus listrik searah atau direct current (DC) (*Rusda, dkk, 2023*). Panel surya mini-grid sering digunakan di rumah-rumah dan terkadang disebut sebagai Solar Home Systems (SHS), tetapi ini bukan opsi terbaik. Satu-satunya opsi yang dapat dipertimbangkan adalah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) (*Ipung, dkk, 2023*).

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) pada dasarnya adalah perangkat yang dapat menghasilkan listrik. PLTS dapat digunakan sendiri atau dikombinasikan dengan sumber energi lain untuk memenuhi kebutuhan listrik yang kecil atau besar. Pembangkit listrik tenaga fotovoltaik dapat digunakan secara terdesentralisasi (dengan generator yang dipasang di setiap rumah) atau terpusat yang didistribusikan melalui jaringan kabel (*Ubaidillah, dkk, 2012*). PLTS memiliki banyak keunggulan, seperti, sumber energi matahari tersedia secara luas, teknologi PLTS mudah dipahami dan diterima oleh masyarakat umum, sangat ramah lingkungan, tidak menghasilkan emisi gas, tidak berisik, dan bekerja pada suhu ruangan, dan tidak menimbulkan bahaya bagi keselamatan lingkungan dan manusia (*Joewono, dkk, 2023*).

Radiasi elektromagnetik ELF adalah kombinasi medan magnet dan listrik. Medan listrik yang dihasilkan oleh ELF adalah medan yang mudah dilemahkan oleh semua jenis bahan, termasuk bahan bangunan. Sebagian besar paparan di dalam ruangan disebabkan oleh sistem pengkabelan dan peralatan listrik lainnya, sehingga kontribusi paparan radiasi elektromagnetik ELF di luar ruangan lebih besar daripada kontribusi radiasi elektromagnetik di dalam ruangan (*Wismaya.2022*).

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan desain eksperimental yang dimana menggabungkan pengukuran langsung dan simulasi, untuk memetakan medan elektromagnetik di sekitar Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Dengan dilakukannya Pengukuran pada kondisi PLTS beroperasi dan PLTS tidak beroperasi untuk membandingkan pengaruhnya terhadap medan elektromagnetik (Sudarti, 2014).

1. Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan dua metode utama:

- a) Pengukuran Medan Elektromagnetik ini Menggunakan gaussmeter (misalnya, model EM-191) untuk mengukur intensitas medan magnet pada masing-masing titik pengukuran.
- b) Simulasi Perangkat Lunak yang dimana Menggunakan software COMSOL atau Ansoft Maxwell untuk memodelkan dan memvisualisasikan distribusi medan elektromagnetik di sekitar komponen PLTS, termasuk inverter dan kabel.

2. Alat Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengukuran dianalisis dengan menggunakan rumus delta B ($\Delta B = B_{gsm} - B_{server}$) untuk menentukan perbedaan medan magnet antara kondisi PLTS beroperasi dan tidak beroperasi. Analisis statistik seperti uji-t juga akan digunakan untuk menguji signifikansi perbedaan hasil pengukuran.

3. Model Penelitian

Pada Model penelitian ini mencakup langkah-langkah berikut:

- a) Melakukan pengukuran medan magnet pada dua kondisi: saat PLTS beroperasi dan tidak beroperasi.
- b) Menganalisis perbandingan hasil pengukuran untuk menilai dampak operasional PLTS terhadap medan elektromagnetik di sekitarnya.

Keterangan simbol dalam model:

- a) B_{gsm} : Nilai medan magnet yang terukur menggunakan gaussmeter.
- b) B_{server} : Nilai medan magnet referensi dari server.

4. Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Pengujian validitas dan reliabilitas alat ukur dilakukan sebelum pengumpulan data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ukur memiliki akurasi yang baik dengan margin kesalahan kurang dari 5%. Interpretasi hasil menunjukkan bahwa instrumen dapat diandalkan untuk melakukan pengukuran medan elektromagnetik dalam konteks penelitian ini. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh buruk radiasi elektromagnetik terhadap

k3, yang menyatakan bahwa nilai medan listrik bervariasi antara 14 hingga 2000 V/m, sementara medan elektromagnetik kisaran 677 μ T pada jarak 0 cm. Namun, ketika dilakukan pada jarak 15cm, nilai nilai tersebut mengalami penurunan signifikan. Terdapat beberapa perangkat yang menyebabkan itu terjadi seperti Televisi, dan Komputer yang menghasilkan medan magnet melebihi batas aman manusia (Sudiarti. 2014).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep dasar bahwa sumber arus listrik, seperti inverter dan kabel pada PLTS, menghasilkan medan elektromagnetik yang dapat terukur. Medan magnet yang lebih tinggi pada jarak dekat menunjukkan bahwa paparan terhadap medan elektromagnetik lebih besar bagi individu yang berada dekat dengan sumber tersebut.

1. Ulasan Hasil Pengujian Hipotesis

Hipotesis penelitian ini menyatakan bahwa "PLTS beroperasi akan menghasilkan medan elektromagnetik yang lebih tinggi dibandingkan saat tidak beroperasi." Berdasarkan hasil analisis data, hipotesis ini terbukti benar dengan perbedaan signifikan antara kedua kondisi, terutama pada jarak dekat.

2. Kesesuaian dengan Penelitian Sebelumnya

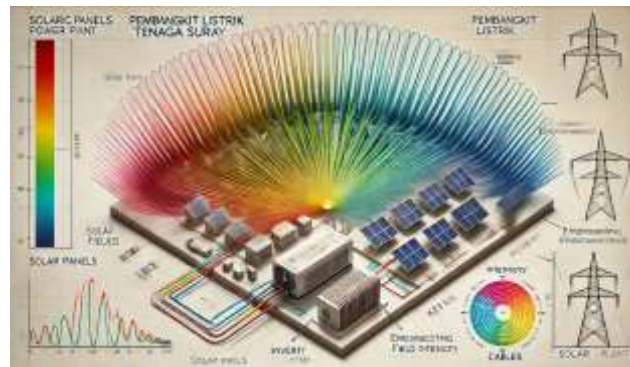
Hasil penelitian ini sejalan dengan studi oleh Ma'rufiyanti et al. (2014), yang juga menemukan bahwa medan elektromagnetik dari sumber listrik dapat mempengaruhi lingkungan sekitarnya, terutama dalam jarak dekat dari sumber tersebut. Namun, penelitian ini memberikan kontribusi tambahan dengan pemetaan yang lebih rinci mengenai distribusi medan elektromagnetik di sekitar PLTS.

3. Implikasi Hasil Penelitian

Secara teoritis, hasil penelitian ini menambah pemahaman tentang dampak operasional PLTS terhadap lingkungan elektromagnetik dan kesehatan masyarakat di sekitarnya. Secara praktis, hasil ini dapat digunakan untuk merancang kebijakan penempatan PLTS yang mempertimbangkan jarak aman bagi masyarakat dan lingkungan sekitar untuk mengurangi risiko paparan medan elektromagnetik.

4. Gambar Ilustrasi

Terdapat rekomendasi jarak aman untuk pemasangan PLTS adalah minimal 20 meter agar tidak mempengaruhi hasil pengukuran medan magnet guna menjaga akurasi pengukuran geomagnetik pada PLTS. Gambar berikut menunjukkan distribusi medan elektromagnetik berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak COMSOL, menggambarkan bagaimana medan menyebar dari komponen utama PLTS (Zulkarnaemi,dkk, 2024).



Gambar 1: Distribusi Medan Elektromagnetik di Sekitar Komponen PLTS
Distribusi Medan Elektromagnetik

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa medan elektromagnetik di sekitar PLTS perlu dikendalikan untuk menjaga keselamatan lingkungan dan kesehatan masyarakat. Intensitas medan yang dihasilkan dapat diminimalkan melalui pengaturan tata letak dan penggunaan bahan isolasi pelindung. Disarankan agar PLTS dilengkapi dengan perangkat mitigasi Medan Elektromagnetik, serta dilakukan penelitian lanjutan untuk memperdalam pemahaman tentang interaksi medan elektromagnetik dalam konteks PLTS.

DAFTAR REFERENSI

- Hani, S. (2015). Pembangkit listrik energi matahari sebagai penggerak pompa air dengan menggunakan solar cell. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 157-163.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). *International Renewable Energy Agency*. Abu Dhabi.
- Ipung, M. S. A., & Thamrin, S. (2023). Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya sebagai alternatif energi masa depan. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara*, 4(3), 2427-2435.
- Joewono, A., Angka, P. R., Sitepu, R., & Yuliati, Y. (2023). Energy assessment of solar power plant on-grid bi-direction 3 kW 1 phase. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 12(3), 317-326.
- Ma'rufiyanti, S., Zulkarnain, M., & Kurniawan, S. (2014). Potensi paparan gelombang elektromagnetik extremely low frequency. *Jurnal Teknologi dan Pendidikan*.
- Manan, S. (2009). Energi matahari, sumber energi alternatif yang efisien, handal dan ramah lingkungan di Indonesia. *Gema Teknologi*.
- Mayasari, F., Samman, F. A., Muslimin, Z., Waris, T., Dewiani, D., Salam, A. E. U., ... & Arief, A. B. (2022). Pengenalan panel surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan untuk pembelajaran di SMA Negeri 1 Takalar. *Jurnal Tepat: Teknologi Terapan untuk Pengabdian Masyarakat*, 5(2), 147-159.

- Preethi, G., Lavanya, D., Sreesureya, V., & Boopathimanikandan, S. (2019). Real time monitoring and controlling of solar panel using LabVIEW. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(8), 1747-1752.
- Ramli, I. (2021). *Panel surya dengan sistem pelacakan arah sinar matahari* (Doctoral dissertation). Universitas Hasanuddin.
- Rusda, R., Ridho, D. A. R., & Putra, M. A. (2023). Analisis pengaruh sudut kemiringan terhadap penerimaan iradiasi matahari dan daya keluaran yang dihasilkan panel surya. *PoliGrid*, 4(1).
- Rusman, R. (2017). Pengaruh variasi beban terhadap efisiensi solar cell dengan kapasitas 50 Wp. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 4(2).
- Sudarti. (2014). Radiasi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan peralatan listrik. *Fakultas Sains dan Teknologi Universitas PGRI Palembang*.
- Ubaidillah, U., Suyitno, S., & Juwana, W. E. (2012). Pengembangan piranti hibrid termoelektrik–sel surya sebagai pembangkit listrik rumah tangga. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*, 10(2), 194-211.
- Wismaya, H. S. (2022). Radiasi medan elektromagnetik pada jangkauan frekuensi sangat rendah (extremely low frequency) di lingkungan kampus Universitas PGRI Yogyakarta. *Jurnal Ikatan Alumni Fisika Universitas Negeri Medan*, 8(3), 207-217.
- Zulkarnaemi, Z., Paniran, M., & Zubaidah, T. (2024). Analisis pengaruh pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terhadap hasil pengukuran medan magnet bumi di Observatorium Geomagnetik Lombok. *Observatorium Geomagnetik Lombok*.