

Pemanfaatan Medan Elektromagnetik untuk Teknologi *Wireless Power Transfer*

¹Salsabila Aulia, ²Sandi Rahyadi, ³Nadita Dwi Pramestia, ⁴Bryant Reza Pahlevi,
⁵Diyajeng Luluk Karlina

¹⁻⁵Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Alamat: Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten

Korespondensi penulis: salsabilaauliaa05@email.com

Abstract. *Wireless Power Transfer (WPT) technology offers a solution to transfer electrical energy wirelessly using electromagnetic fields, providing convenience in charging electronic devices. This technology operates through electromagnetic inductive resonance, enabling efficient power transmission from transmitter to receiver. This article discusses the fundamental mechanisms, practical applications, and technical challenges of WPT. Electromagnetic field safety is a primary concern in the implementation of this technology, especially regarding its impact on health and the environment. With recent innovations and appropriate safety regulations, WPT is expected to become an efficient, safe, and sustainable energy solution across various sectors.*

Keywords: *Wireless Power Transfer, electromagnetic, field.*

Abstrak. Teknologi *Wireless Power Transfer (WPT)* menawarkan solusi untuk mentransfer energi listrik tanpa kabel menggunakan medan elektromagnetik, memberikan kemudahan dalam pengisian daya pada perangkat elektronik. Teknologi ini bekerja melalui resonansi induktif elektromagnetik, memungkinkan daya ditransmisikan dari pemancar ke penerima secara efisien. Artikel ini membahas mekanisme dasar, aplikasi praktis, dan tantangan teknis WPT. Keamanan medan elektromagnetik menjadi perhatian utama dalam implementasi teknologi ini, terutama terkait dampaknya terhadap kesehatan dan lingkungan. Dengan inovasi terkini dan regulasi keamanan yang tepat, WPT diharapkan menjadi solusi energi yang efisien, aman, dan berkelanjutan bagi berbagai sektor.

Kata kunci: *Wireless Power Transfer, medan, elektromagnetik.*

1. LATAR BELAKANG

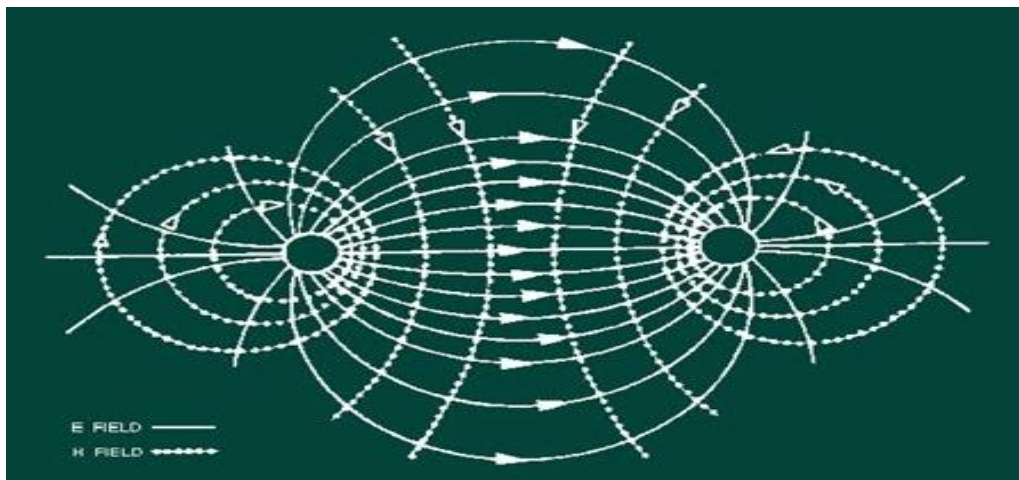
Seiring dengan meningkatnya gaya hidup modern dan persaingan perusahaan elektronik berteknologi tinggi, kebutuhan perangkat ini yang akan mudah dibawa, praktis digunakan, dan mendukung pengisian daya tanpa kabel semakin mendesak. *Wireless Power Transfer (WPT)* hadir sebagai solusi untuk mentransfer energi listrik tanpa kabel dengan memanfaatkan medan elektromagnetik, dengan ini memungkinkan daya ditransmisikan dari sumber listrik ke baterai atau beban secara efisien dan tanpa koneksi fisik. Teknologi ini bekerja melalui mekanisme resonansi induktif elektromagnetik menggunakan *blocking oscillator* dan *coil spiral*, yang telah diaplikasikan dalam berbagai produk seperti pengisian daya nirkabel untuk *smartphone*, laptop, dan bahkan kendaraan listrik. Dengan komponen yang mudah diperoleh, WPT menjadi teknologi yang dapat diaplikasikan secara luas, diharapkan mampu memenuhi kebutuhan modern yang mengutamakan efisiensi dan kenyamanan. Meski WPT menawarkan kemudahan, penting untuk memperhatikan keamanan paparan medan elektromagnetik terhadap kesehatan

dan lingkungan. Dengan memperhatikan regulasi dan potensi efisiensi yang lebih tinggi, WPT diharapkan menjadi solusi berkelanjutan yang mendukung gaya hidup modern serta mampu mendorong inovasi dalam penyediaan energi yang lebih aman, sederhana, dan efektif bagi masyarakat luas.

2. KAJIAN TEORITIS

Konsep Medan Elektromagnet

Medan elektromagnet merupakan hasil dari interaksi antara medan listrik dan medan magnet yang terbentuk akibat pergerakan muatan listrik. Konsep dasar ini melibatkan dua komponen utama: medan listrik, yang muncul di sekitar partikel bermuatan, dan medan magnet, yang dihasilkan saat muatan tersebut bergerak. Dalam teknologi *Wireless Power Transfer* (WPT), medan elektromagnet digunakan sebagai medium untuk mentransfer energi tanpa kabel, memungkinkan energi ditransmisikan dari pemancar ke penerima. Pemahaman tentang sifat dasar medan ini sangat penting untuk mengoptimalkan transfer energi dan memastikan efisiensi serta keamanan aplikasi WPT.



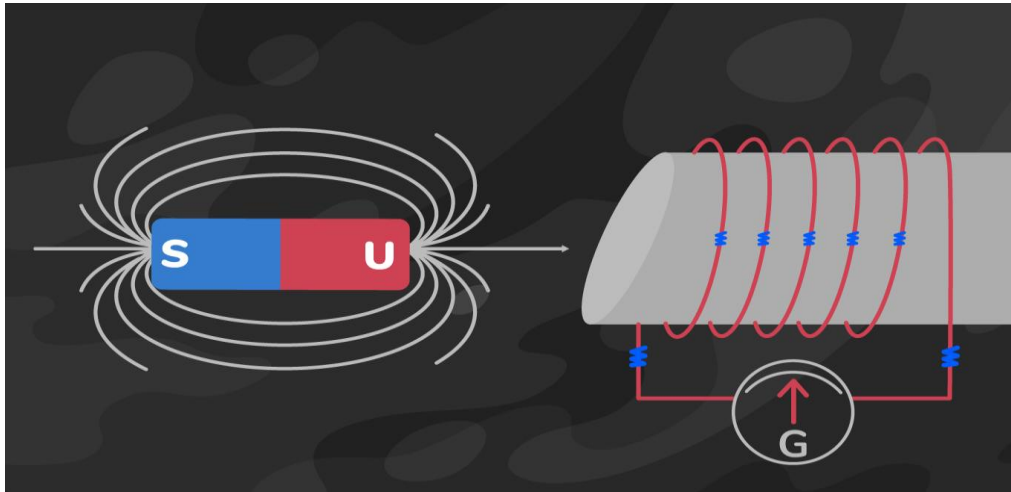
Gambar 1. Ilustrasi Konsep Medan Elektromagnetik

(Sumber : <https://maulananggie.blogspot.com/>)

Induksi Elektromagnetik

Induksi elektromagnetik adalah fenomena yang terjadi ketika gaya gerak listrik (GGL) dihasilkan pada sebuah kumparan akibat perubahan fluks magnetik atau pergerakan konduktor melintasi medan magnet. Dalam konteks WPT, prinsip ini digunakan untuk mentransfer energi secara nirkabel, perubahan medan magnet pada pemancar menghasilkan arus listrik pada penerima, yang mendasari proses pengisian daya tanpa kabel. Induksi elektromagnetik lebih

sering diterapkan pada jarak pendek, namun tetap memungkinkan transfer energi yang efisien dalam berbagai perangkat elektronik.



Gambar 2. Ilustrasi Induksi Elektromagnetik

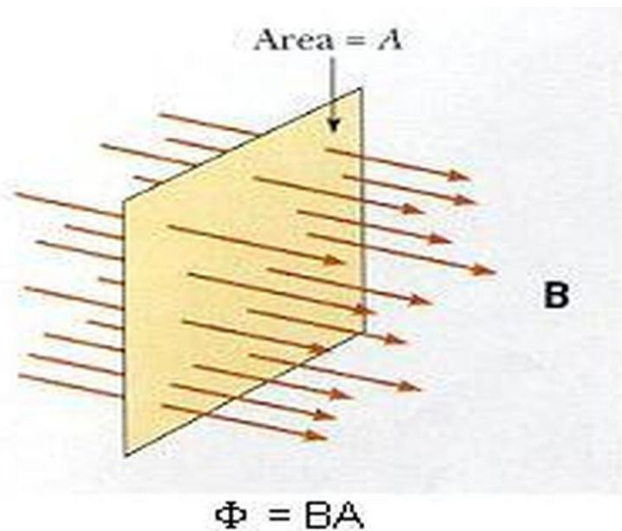
(Sumber : <https://maulananggie.blogspot.com/>)

Resonansi Magnetik dalam WPT

Resonansi adalah fenomena fisik di mana suatu benda bergetar akibat adanya benda lain yang bergetar pada frekuensi yang sama atau kelipatan bilangan bulat dari frekuensi benda tersebut. Dalam konteks *Wireless Power Transfer*, resonansi magnetik memainkan peran penting dalam mentransfer energi pada jarak yang lebih jauh. Pada sistem resonansi magnetik, pemancar dan penerima beresonansi pada frekuensi yang sama, memungkinkan transfer energi yang lebih efisien. Fenomena resonansi ini mengurangi kehilangan energi karena kedua sistem tersebut berinteraksi pada frekuensi resonansi, yang mengoptimalkan transfer daya antar perangkat. Resonansi ini dapat diaplikasikan dalam pengisian daya nirkabel untuk perangkat elektronik portabel hingga kendaraan listrik, meningkatkan efisiensi dan jangkauan teknologi WPT.

Fluks Magnetik

Fluks magnetik, dilambangkan dengan (Φ), mengukur banyaknya medan magnet (B) yang melintasi suatu area permukaan (A) yang tegak lurus terhadap garis gaya magnet. Fluks magnetik yang berubah pada kumparan menyebabkan gaya gerak listrik muncul dalam induksi elektromagnetik. Pemahaman mendalam mengenai fluks magnetik ini penting untuk merancang perangkat WPT yang lebih efisien, karena pengaturan medan magnet yang tepat berpengaruh langsung pada efisiensi transfer energi.



Gambar 3. Fluks Magnetik

(Sumber : <https://www.kompas.com/skola/image/2020/10/20/213251269/mengenal-fluks-magnetik?page=1>)

Komponen Penyusun *Wireless Power Transfer* (WPT)

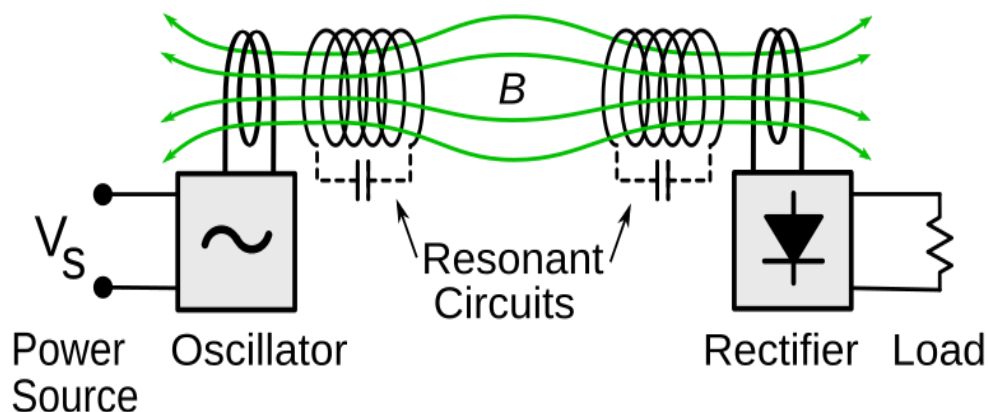
Teknologi *Wireless Power Transfer* (WPT) terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja secara sinergis untuk mentransfer energi nirkabel dari pemancar ke penerima. Komponen-komponen ini meliputi:

1. Pemancar (*Transmitter*) : Merupakan perangkat yang menghasilkan medan elektromagnetik untuk mentransfer energi. Pemancar ini biasanya terdiri dari sumber daya listrik yang mengalirkan arus ke kumparan induktif atau *coil* pemancar, yang kemudian menghasilkan medan magnet.
2. Penerima (*Receiver*) : Merupakan perangkat yang menerima energi yang ditransfer oleh medan elektromagnetik. *Receiver* biasanya terdiri dari kumparan penerima yang berfungsi untuk menangkap medan magnet dari pemancar dan mengubahnya kembali menjadi energi listrik yang digunakan untuk mengisi daya perangkat seperti *smartphone* atau kendaraan listrik.
3. Kumparan (*Coil*) : Baik pemancar maupun penerima menggunakan kumparan induktif atau *coil*, yang berfungsi untuk mengonversi energi listrik menjadi medan magnet, dan sebaliknya mengonversi medan magnet menjadi energi listrik. Desain dan konfigurasi coil sangat penting untuk menentukan efisiensi transfer energi.

4. Sistem Resonansi : Untuk meningkatkan efisiensi transfer energi, WPT sering mengandalkan prinsip resonansi magnetik, di mana pemancar dan penerima beresonansi pada frekuensi yang sama. Hal ini memungkinkan energi untuk ditransfer dengan lebih efisien pada jarak yang lebih jauh.
5. Pengontrol dan Regulasi : Sistem WPT dilengkapi dengan pengontrol yang mengatur frekuensi, daya, dan durasi transfer energi untuk memastikan bahwa energi yang ditransfer stabil dan aman bagi perangkat serta penggunaannya.
6. Sumber Daya (*Power Supply*) : Komponen ini menyediakan daya listrik yang diperlukan untuk mengoperasikan sistem pemancar dan penerima. Biasanya, sumber daya ini berupa sumber arus bolak-balik (AC) atau arus searah (DC) yang diubah sesuai kebutuhan sistem.

Teori *Wireless Power Transfer* (WPT)

Prinsip dasar *Wireless Power Transfer* melibatkan pemanfaatan medan elektromagnetik untuk mentransfer energi dari pemancar (transmitter) ke penerima (receiver). Dua mekanisme utama yang digunakan adalah resonansi magnetik dan induksi elektromagnetik. Induksi elektromagnetik, yang bekerja pada jarak pendek, memanfaatkan perubahan medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik untuk mentransfer energi. Sementara itu, resonansi magnetik memungkinkan transfer energi lebih efisien pada jarak jauh, di mana pemancar dan penerima beresonansi pada frekuensi yang sama, mengurangi kehilangan energi. Kedua mekanisme ini mendukung perkembangan WPT dalam berbagai aplikasi, dari pengisian daya perangkat portabel hingga kendaraan listrik.



Gambar 4. Diagram Resonansi Induktif Medan Elektromagnetik Sistem WPT

Teknologi dan Aplikasi WPT di Pasaran

Teknologi WPT telah diaplikasikan dalam berbagai produk komersial, mulai dari pengisian daya nirkabel untuk *smartphone* hingga kendaraan listrik. Misalnya, beberapa produsen kendaraan listrik telah mengembangkan sistem pengisian daya nirkabel yang memungkinkan pengisian baterai tanpa koneksi kabel fisik. Selain itu, WPT juga digunakan dalam infrastruktur seperti jalan pintar, yang dapat mengisi daya kendaraan listrik saat melintas. Aplikasi-aplikasi ini menunjukkan bahwa WPT dapat meningkatkan kenyamanan pengguna dan mengurangi keausan fisik pada konektor perangkat, menjadikannya solusi teknologi yang efisien dan praktis.

Keamanan Medan Elektromagnetik

Meskipun WPT menawarkan banyak keuntungan, penting untuk memperhatikan potensi dampak medan elektromagnetik terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Paparan medan elektromagnetik yang berlebihan dapat menimbulkan efek jangka panjang, yang masih terus diteliti. Berbagai regulasi internasional telah diterapkan untuk mengontrol tingkat paparan elektromagnetik guna mencegah dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Penelitian mengenai pengembangan teknologi yang dapat mengurangi intensitas medan elektromagnetik dalam WPT juga terus dilakukan, agar teknologi ini dapat diimplementasikan dengan aman dan sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.

3. METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian dalam kajian ini menggunakan metode studi literatur atau tinjauan pustaka untuk mengumpulkan data sekunder yang relevan dengan teknologi *Wireless Power Transfer* (WPT). Langkah ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang mendalam tentang konsep dasar, mekanisme, dan perkembangan teknologi WPT, terutama melalui sumber ilmiah yang kredibel seperti artikel jurnal, laporan penelitian, prosiding konferensi, buku, dan paten. Pengumpulan data dilakukan melalui proses identifikasi sumber dari database terkemuka seperti IEEE, *Science Direct*, dan Google Scholar, dengan kriteria inklusi yang mencakup publikasi dalam 10 tahun terakhir, relevansi metode penelitian (eksperimental atau studi kasus), serta fokus pada pengembangan teknologi WPT. Setelah itu, data diseleksi dan diklasifikasikan berdasarkan kategori yang relevan seperti jenis metode WPT (misalnya resonansi magnetik atau induksi elektromagnetik), aplikasi praktis, tantangan yang dihadapi, serta solusi yang inovatif. Validasi keandalan sumber dilakukan dengan menilai kredibilitas

penulis atau institusi terkait dan mengevaluasi tingkat pengaruh artikel melalui jumlah kutipan yang diterima.

Analisis data dilakukan menggunakan teknik analisis kualitatif dengan pendekatan analisis konten untuk mengidentifikasi tema-tema utama seperti tantangan efisiensi, keamanan medan elektromagnetik, serta perkembangan inovasi. Pendekatan analisis tematik juga diterapkan untuk mendeteksi pola umum, tren, dan kesenjangan penelitian, yang kemudian disusun dalam bentuk kesimpulan komprehensif. Kesimpulan ini diperoleh melalui verifikasi temuan utama, perbandingan dengan penelitian lain, serta konsistensi hasil, sehingga dapat memberikan rekomendasi yang kritis dan logis mengenai pengembangan dan potensi teknologi WPT ke depan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Wireless Power Transfer (WPT) adalah teknologi yang memanfaatkan medan elektromagnetik sebagai sarana untuk mentransfer energi listrik tanpa memerlukan kabel fisik, sebuah terobosan yang berpotensi besar dalam meningkatkan kenyamanan dan efisiensi penggunaan energi. Pada bagian ini, kita akan mengkaji aplikasi praktis dari WPT di berbagai sektor kehidupan sehari-hari serta sektor industri, mengidentifikasi tantangan teknis dan non-teknis yang dihadapi, serta melihat inovasi terbaru yang dapat berperan dalam meningkatkan efisiensi serta keamanan teknologi ini. Analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai potensi dan kendala yang dihadapi oleh teknologi WPT serta cara-cara untuk mengoptimalkan pemanfaatannya di masa depan.

- **Aplikasi WPT dalam Berbagai Sektor**

- ✓ **Elektronik Konsumen**

Salah satu sektor yang paling banyak merasakan manfaat dari WPT adalah elektronik konsumen, terutama dalam hal pengisian daya perangkat-perangkat seperti smartphone, tablet, dan perangkat wearable lainnya. Dengan WPT, pengguna dapat mengisi daya perangkat tanpa perlu menggunakan kabel, yang pada akhirnya mengurangi kerumitan yang biasa dialami pengguna dan meningkatkan kenyamanan serta pengalaman mereka. Hasil penelitian yang dikemukakan oleh Prasjo dan Surjati (2020) menyatakan bahwa pengisian daya nirkabel ini membawa keuntungan dari segi kepraktisan serta mengurangi risiko kerusakan pada port pengisian akibat seringnya mencolokkan dan mencabut kabel. Hal ini menjadikan teknologi pengisian nirkabel sebagai pilihan yang menarik bagi konsumen, yang tidak hanya membantu

memperpanjang umur perangkat mereka, tetapi juga mengurangi masalah kabel yang sering kali mudah rusak.

✓ **Kendaraan Listrik**

Selain elektronik konsumen, sektor otomotif juga mulai merangkul WPT, terutama dalam mendukung pengisian daya kendaraan listrik (EV). Salah satu perkembangan inovatif adalah integrasi WPT ke dalam infrastruktur jalan pintar, yang memungkinkan kendaraan untuk mengisi daya saat sedang bergerak. Sistem ini dirancang tidak hanya untuk meningkatkan kenyamanan bagi pengguna kendaraan listrik, tetapi juga untuk mengurangi waktu pengisian daya dan memberikan efisiensi lebih tinggi dalam penggunaannya. Beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan sistem WPT pada jalur khusus dapat membantu kendaraan mengisi daya secara dinamis dan efisien saat berada di jalur tersebut, memungkinkan pengguna untuk melakukan perjalanan yang lebih panjang tanpa perlu berhenti untuk pengisian ulang. Hal ini diharapkan mampu mendorong adopsi kendaraan listrik secara luas dan mengurangi ketergantungan pada infrastruktur pengisian konvensional yang memerlukan waktu dan tempat khusus untuk pengisian ulang.

• **Tantangan dan Batasan Teknologi WPT**

✓ **Efisiensi Energi**

Efisiensi transfer energi merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi dalam pengembangan WPT, terutama untuk jarak transfer yang lebih jauh. Meskipun metode resonansi induktif dapat meningkatkan efisiensi, masih terdapat kendala besar berupa kehilangan energi yang signifikan ketika jarak antara pemancar dan penerima meningkat. Berdasarkan penelitian yang ada, efisiensi transfer energi melalui WPT dapat menurun secara drastis apabila tidak ada penyesuaian yang tepat pada desain dan komponen sistem. Faktor-faktor seperti kualitas material konduktor, pengaturan resonansi, dan jarak optimal antara pemancar dan penerima menjadi fokus penting untuk dioptimalkan dalam meningkatkan efisiensi WPT ke depannya.

✓ **Efek Medan Elektromagnetik**

Dampak jangka panjang dari paparan medan elektromagnetik terhadap kesehatan manusia dan lingkungan juga merupakan perhatian yang sangat penting, meskipun banyak penelitian yang menyatakan bahwa tingkat radiasi dari sistem WPT saat ini berada dalam batas aman, penelitian lanjutan tetap diperlukan untuk memastikan bahwa teknologi ini tidak menimbulkan efek negatif dalam jangka panjang. Beberapa penelitian menyarankan agar

regulasi yang ada dapat diperketat seiring dengan peningkatan penggunaan WPT dalam masyarakat, sehingga potensi risiko kesehatan dapat diantisipasi dengan lebih baik, terutama jika paparan terhadap medan elektromagnetik ini menjadi semakin sering dalam kehidupan sehari-hari.

✓ **Biaya dan Kompleksitas Implementasi**

Tantangan lain dalam penerapan WPT adalah biaya produksi yang cukup tinggi serta kompleksitas teknologi yang digunakan. Pengembangan sistem WPT yang efisien dan aman membutuhkan investasi yang signifikan, terutama dalam hal penelitian dan pengembangan. Infrastruktur pendukung seperti material konduktif berkualitas tinggi, serta teknologi yang dapat meminimalkan kehilangan energi juga memerlukan biaya produksi yang besar. Menurut beberapa studi yang ada, kendala biaya dan teknologi ini perlu mendapatkan perhatian lebih untuk menjadikan WPT sebagai solusi transfer energi yang ekonomis dan dapat diakses oleh semua lapisan masyarakat.

• **Inovasi Terbaru dan Solusi untuk Meningkatkan Efisiensi dan Keamanan**

✓ **Inovasi dalam Desain Perangkat WPT**

Beberapa inovasi terkini dalam pengembangan WPT difokuskan pada peningkatan efisiensi transfer energi melalui penggunaan material konduktif baru, seperti graphene, serta metode transfer energi alternatif seperti gelombang radio dan laser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *graphene* sebagai material konduktor mampu meningkatkan efisiensi transfer energi secara signifikan. Penggunaan material baru ini bertujuan untuk meminimalkan kehilangan energi selama transfer, serta untuk memungkinkan transfer energi yang stabil bahkan pada jarak yang lebih jauh, menjadikan WPT sebagai solusi energi yang lebih efisien dan praktis.

✓ **Solusi untuk Mengurangi Dampak Medan Elektromagnetik**

Untuk mengatasi kekhawatiran akan dampak kesehatan dari paparan medan elektromagnetik, beberapa penelitian telah mengeksplorasi teknik perlindungan atau shielding untuk mengurangi paparan medan elektromagnetik terhadap pengguna. Inovasi ini termasuk penggunaan bahan khusus yang mampu menyerap atau mengalihkan radiasi elektromagnetik, sehingga dapat melindungi pengguna tanpa mengurangi kinerja sistem WPT. Teknologi perlindungan ini diharapkan dapat menjawab kekhawatiran publik mengenai paparan medan elektromagnetik, terutama dalam penggunaan teknologi WPT yang luas di masa mendatang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Teknologi *Wireless Power Transfer* (WPT) merupakan inovasi yang memanfaatkan medan elektromagnetik untuk mentransfer energi tanpa kabel, memberikan solusi praktis dalam pengisian daya perangkat elektronik. Penggunaannya semakin luas di berbagai sektor, termasuk perangkat konsumen dan kendaraan listrik, yang diuntungkan dengan kenyamanan dan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Meskipun teknologi ini memberikan banyak manfaat, masih ada tantangan signifikan, seperti efisiensi transfer energi pada jarak jauh dan kebutuhan akan infrastruktur yang lebih kompleks dan mahal. Efisiensi dan daya tahan WPT sangat bergantung pada optimalisasi desain komponen, terutama pada sistem resonansi magnetik dan kualitas material konduktif yang digunakan.

Di sisi lain, aspek keamanan WPT, khususnya paparan medan elektromagnetik terhadap kesehatan dan lingkungan, menjadi perhatian penting. Beberapa studi menunjukkan potensi risiko dari paparan medan ini, sehingga pengembangan teknologi perlindungan atau shielding sangat diperlukan untuk meminimalkan dampak negatif. Meskipun demikian, dengan adanya penelitian yang berfokus pada peningkatan efisiensi dan keamanan, WPT memiliki potensi besar sebagai teknologi energi masa depan yang ramah pengguna dan ramah lingkungan, mendukung gaya hidup modern yang semakin praktis dan meminimalkan ketergantungan pada kabel fisik.

DAFTAR REFERENSI

- Adnyana, I. W. S., Zubaidah, T., & Okta M, C. M. (2016). Perancangan Dan Analisis Sistem Transfer Daya Listrik Tanpa Kabel Dengan Kumparan Multilayer Yang Bekerja Pada Frekuensi Rendah. *DIELEKTRIKA*, 3(2), 161–172.
- Karyadi Prasajo, A., & Surjati, I. (2020). Rancang Bangun Wireless Power Transfer (WPT) Menggunakan Prinsip Resonansi Induktif Elektromagnetik dan Blocking Oscillator dengan Coil Berbentuk Spiral. *Jurnal Teknik Elektro*, 5(1), 97-104.
- Kurs, A., Karalis, A., Moffatt, R., & Fisher, P. (2007). Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances. *Science*, 317(5834), 83-86.
- Prasajo, A. K., & Surjati, I. (2019). Rancang bangun Wireless Power Transfer (WPT) menggunakan prinsip resonansi induktif elektromagnetik dan blocking oscillator dengan coil berbentuk spiral mendatar. *Jurnal Elektro*, 12(2), 97-103.
- Rahardian, A., & Akbar, S. R. (2024). Otomasi Simulasi Transfer Daya Nirkabel Dinamis dengan Double Coil Receiver Menggunakan LTSpice. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 8(7).
- Zhang, L., & Wang, Y. (2021). A Review of Wireless Power Transfer Technologies for Electric Vehicles: Challenges and Opportunities. *Energies*, 14(3), 745.