

Bidang: Teknik Elektro, Listrik, dan Otomasi  
Proteksi Listrik

Topik: Teknologi Transmisi, Distribusi, dan

## STUDI KINERJA CHARGER NIRKABEL DINAMIS KENDARAAN LISTRIK MENGUNAKAN PENERIMA KOIL BIFILAR GANDA

Masjono Muchtar  
Politeknik ATI Makassar  
masjono@kemenperin.go.id

### ABSTRAK

Pada penelitian terdahulu, telah berhasil dibuat prototype sistem transfer energi listrik nirkabel untuk pengisian baterai *mobile robot* yang sedang bergerak menggunakan bifilar koil. Sistem yang telah dibuat tersebut dapat diterapkan pada kendaraan listrik bergerak, namun masih memiliki keterbatasan karena flux magnet yang diterima masih berfluktuasi sehingga energi listrik yang diterima *receiver* belum optimum. Untuk mengatasi permasalahan tersebut telah dilakukan studi lebih lanjut melalui modifikasi koil *receiver* untuk mengurangi diskontinuitas daya yang diterima. Penelitian yang telah dilakukan meliputi pemasangan koil bifilar ganda pada modul *receiver* yang dipasang secara paralel. Keluaran dari koil *receiver* tersebut selanjutnya dikonversi menjadi listrik DC untuk mengisi baterai kendaraan listrik. Hasil yang diperoleh dari penelitian lanjutan ini menunjukkan peningkatan daya pada *receiver* yang berbanding lurus dengan jumlah koil *receiver* yang dipergunakan pada penerima. Hasil yang diperoleh dapat diterapkan sebagai charger dinamis pada kendaraan listrik yang bergerak.

**Kata Kunci:** Transfer energi listrik nirkabel, *mobile robot*, *Transmitter*, efisiensi

### ABSTRACT

In previous research, a prototype wireless electric energy transfer system for charging *mobile robots* in motion was successfully created using bifilar coils. The system that was developed can be applied to moving electric vehicles, but it still has limitations because the magnetic flux received fluctuates, resulting in suboptimal electrical energy received by the *receiver*. To address this issue, further research was conducted by modifying the *receiver* coil to reduce power discontinuities. The research involved the installation of dual bifilar coils on the *receiver* module, which were connected in parallel. The output from these *receiver* coils was then converted into DC electricity to charge the electric vehicle's battery. The results obtained from this advanced research show an increase in power on the *receiver* that is directly proportional to the number of *receiver* coils used on the receiving end. The results obtained can be applied as a dynamic charger for moving electric vehicles.

**Keywords:** Wireless electric energy transfer, *mobile robot*, *Transmitter*, efficiency

### PENDAHULUAN

Keterbatasan utama waktu kerja robot mobile dalam lantai produksi adalah ketergantungan pada battery onboard yang terbatas kapasitas dan dayanya. Meskipun teknologi battery semakin maju yang mampu meningkatkan daya dan kapasitas battery, namun tetap menjadi kelemahan untuk aplikasi robot mobile. Setelah robot bekerja pada kurun waktu tertentu, robot harus kembali ke stasiun pengisian battery. Akibatnya robot tidak dapat beroperasi selama proses pengisian battery berlangsung [1]. Agar robot dapat terus mendapat suplai energi listrik meskipun sedang bergerak maka diperlukan sistem pengisian battery dinamis menggunakan teknologi sistem transfer energi listrik nirkabel.

Teknologi transfer energi listrik nirkabel telah mendapat perhatian dari para peneliti dalam beberapa tahun terakhir karena kemungkinan penerapannya yang sangat luas. Salah satu penerapan teknologi ini adalah pada *Electric vehicle wireless charging* (EVWC) yang beroperasi dengan menggunakan prinsip induksi magnetik dan resonansi magnetik [2] [3] [4]. Cara kerjanya mirip dengan cara kerja transformator yang menginduksikan medan magnet melalui coil ke sekelilingnya sehingga dapat membangkitkan arus listrik pada koil lain atau koil sekunder yang ada di sekitarnya [5]. Teknologi yang dirancang untuk

pengisian baterai telah diterapkan pula pada robot. Sistem induksi ini telah diterapkan pada Robot Troplaxis menggunakan sistem magnetic coupling. Untuk memastikan posisi yang tepat antara pengirim dan penerima energi listrik dipantau melalui kamera digital yang dipasang pada robot [6]. Untuk menaikkan efisiensi transfer energi listrik digunakan koil dengan inti ferite yang dibawahnya ditempatkan pelat reflektor (shielding) untuk mengurangi kebocoran flux magnetik [7]. Serupa dengan robot mobile, penerapan pengisian baterai secar nirkabel telah diuji pada mobil listrik, namun terdapat dua permasalahan utama yang dihadapi yaitu jarak antara *Transmitter* dan *receiver* serta misalignment antara kumparan pemancar dan penerima wireless energy transfer yang digunakan [8].

Penelitian pada tahun pertama, telah berhasil dibuat sistem transfer energi listrik nirkabel menggunakan bifiliar coil sebagai *Transmitter* dan pancake coil sebagai *receiver*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perpanjangan waktu kerja robot yang signifikan setelah melewati lintasan wireless charger dinamis. Akan tetapi daya yang dihasilkan masih relatif kecil serta efisiensi penggunaan daya listrik belum maksimal. Selain itu terdapat dikontinuitas daya yang diterima *receiver* pada saat robot bergerak diantara barisan coil *Transmitter*. Untuk mengatasi kekurangan pada penelitian sebelumnya maka fokus penelitian lanjutan ini adalah pengembangan sistem transfer nirkabel untuk *mobile robot* industri dengan daya yang lebih besar dengan tingkat efisiensi pemakaian energi listrik yang lebih baik melalui.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Januari s/d September 2022 yang pada Laboratorium Terintegrasi dan Advance Manufacturing, Politeknik ATI Makassar. Fabrikasi dan ujicoba telah dilaksanakan di workshop Jurusan Otomasi Sistem Permesinan Politeknik ATI Makassar Indonesia. Penelitian ini bersifat experimental sebagai pengembangan dari hasil penelitian sebelumnya.

### Variabel penelitian

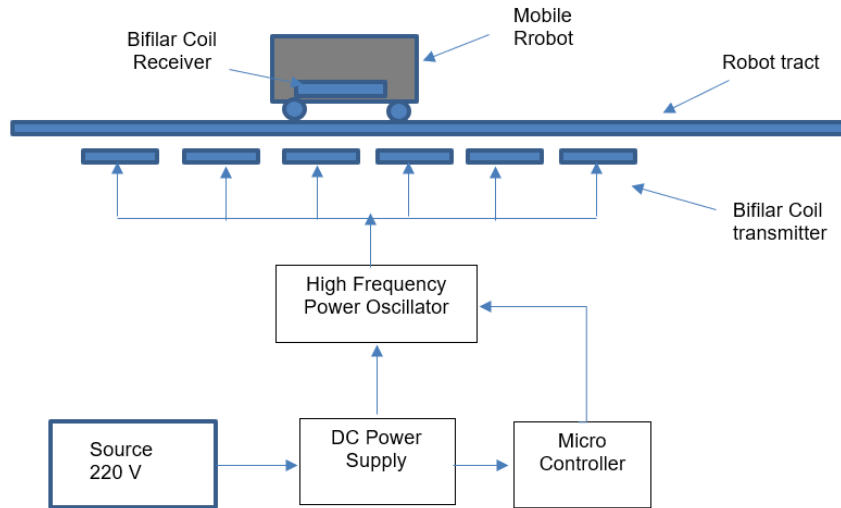
Pada penelitian ini kontribusi yang diharapkan adalah tersedianya sistem transfer tenaga listrik nirkabel untuk *mobile robot* industri skala mini. terciptanya lahirnya metode perhitungan panjang optimum lintasan pengisian atau charging line *mobile robot* berdasarkan variabel variabel bebas dan variabel terikat sebagai berikut:

- 1) Panjang route lintasan kerja robot ( $R_r$ )
- 2) Waktu tempuh dalam satu siklus perjalanan atau Cycle Time ( $T_c$ )
- 3) Discharge rate (Laju penggunaan tenaga Listrik oleh robot) ( $D_r$ )
- 4) Charging Rate (Laju Pengisian Bateri Robot) ( $C_r$ )
- 5) Jumlah Ukuran dan jumlah lilitan koil ( $N_{ct}$ )
- 6) Frekwensi Kerja *Transmitter* ( $F_t$ )
- 7) Jarak atau *air gap* antara koil *Transmitter* dan *receiver*. ( $A_g$ )

Dan variabel terikat adalah;

- 1) Panjang lintasan optimum untuk mencapai keseimbangan antara charging dan discharging baterai robot atau *Charging Line Length* ( $C_l$ ).

### Blok diagram penelitian

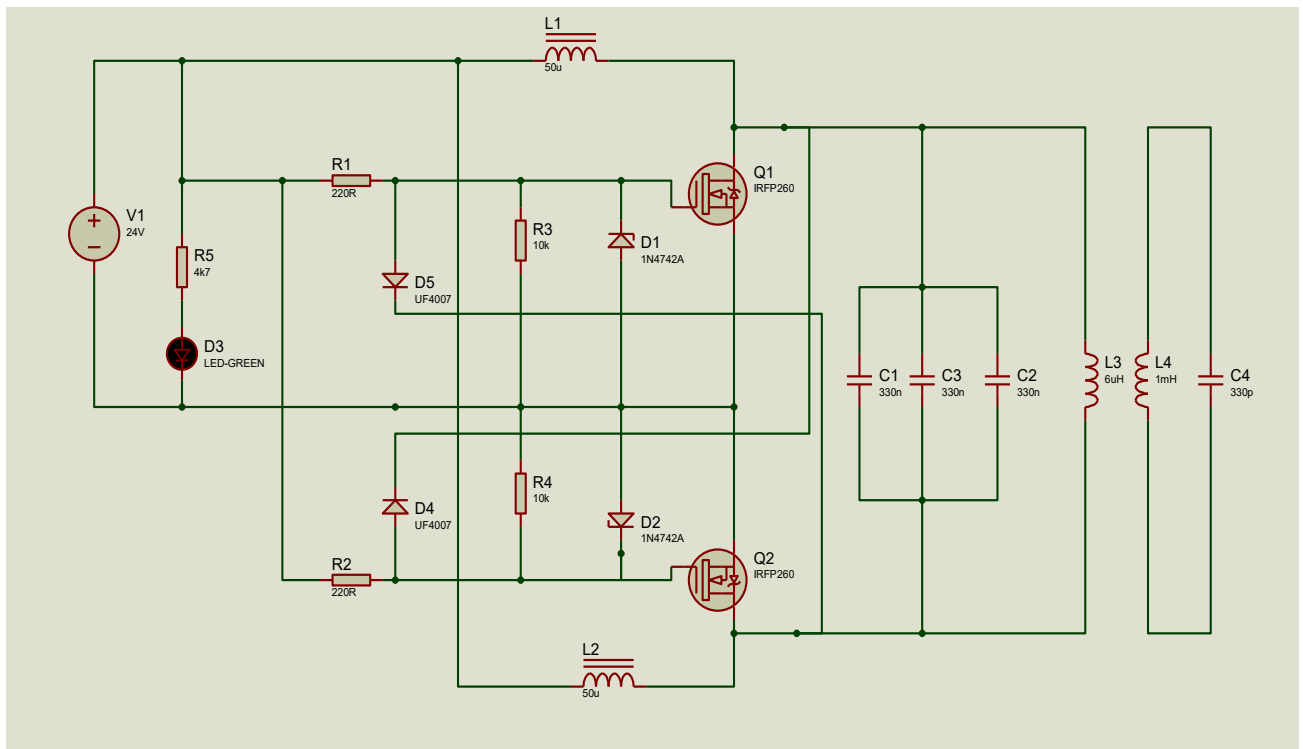


Gambar 1. Layout eksperimen

Secara garis besar, cara kerja prototype sistem transfer daya listrik nirkabel dapat digambarkan sebagai berikut; Listrik PLN akan di konversi menjadi tegangan DC yang berfungsi untuk menggerakkan oscillator frekwensi tinggi yang bekerja pada frekwensi 20 kHz, sebagai frekwensi optimum yang diperoleh pada penelitian sebelumnya [9]. Untuk meningkatkan daya yang akan di transfer maka diperlukan rangkaian switching yang bekerja pada frekwensi 20 kHz menggunakan transistor SCR. TX coil menggunakan bifilar coil yang dipasang paralel dengan kapasitor tegangan tinggi akan merubah arus listrik menjadi medan magnet, yang selanjutnya akan menimbulkan ggl induksi pada coil receiver onboard pada mobile robot. Listrik yang dihasilkan oleh coil receiver selanjutnya di konversi menjadi arus DC untuk mengisi baterai mobile robot AGV.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

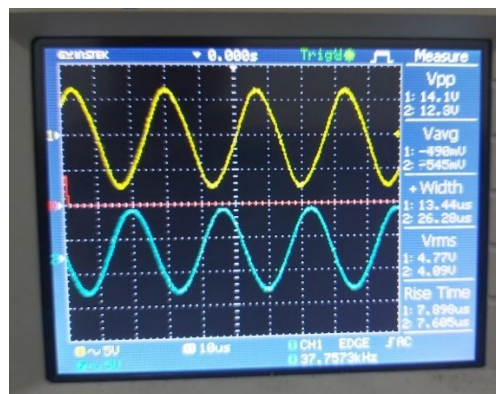
Untuk mengirim energi listrik secara nirkabel, memerlukan oscillator yang sesuai dengan kebutuhan. Gambar 2 adalah salah satu oscillator yang dikembangkan oleh Vladimir Mozilli menggunakan pendekatan Zero Voltage Switching (ZVS). Hasil percobaan dengan tegangan supply 15 Volt DC dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Oscillator zero voltage switching

Sinyal listrik yang dibangkitkan oscillator (gambar 2) dengan supply DC 15 Volt ditunjukkan pada gambar 3. Grafik berwarna kuning adalah bentuk gelombang *Transmitter* (TX) dan grafik warna biru muda adalah sinyal yang dihasilkan pada output coil *receiver* (RX). Dari Gambar 3 nampak bahwa gelombang yang dihasilkan berbentuk sinusoidal murni, namun terjadi perbedaan fasa antara sinyal *Transmitter* dengan *receiver*.

Hasil yang diperoleh menggunakan oscillator mosfet, jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan transistor BJT, perbaikannya sangat signifikan. Pada penelitian sebelumnya terdapat sinyal spike sehingga efisiensi transfer energi relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan sinyal sinoidal murni seperti yang diperoleh pada hasil percobaan yang telah dilaksanakan. Pengiriman daya listrik tanpa kabel yang mampu menyalakan lampu pijar pada jarak 55 mm. Koil yang dipergunakan berbentuk spiral dengan diameter dalam 50 mm dan diameter luar 170 mm. Pada percobaan ini digunakan kawat email dengan diameter 0,2 mm sebanyak 80 lembar. Penggunaan sejumlah kawat email halus dalam jumlah banyak yang dikemas didalam selongsong kabel tahan panas, bertujuan untuk mengurangi pengaruh skin effect dari *Transmitter* dan *receiver* [10].

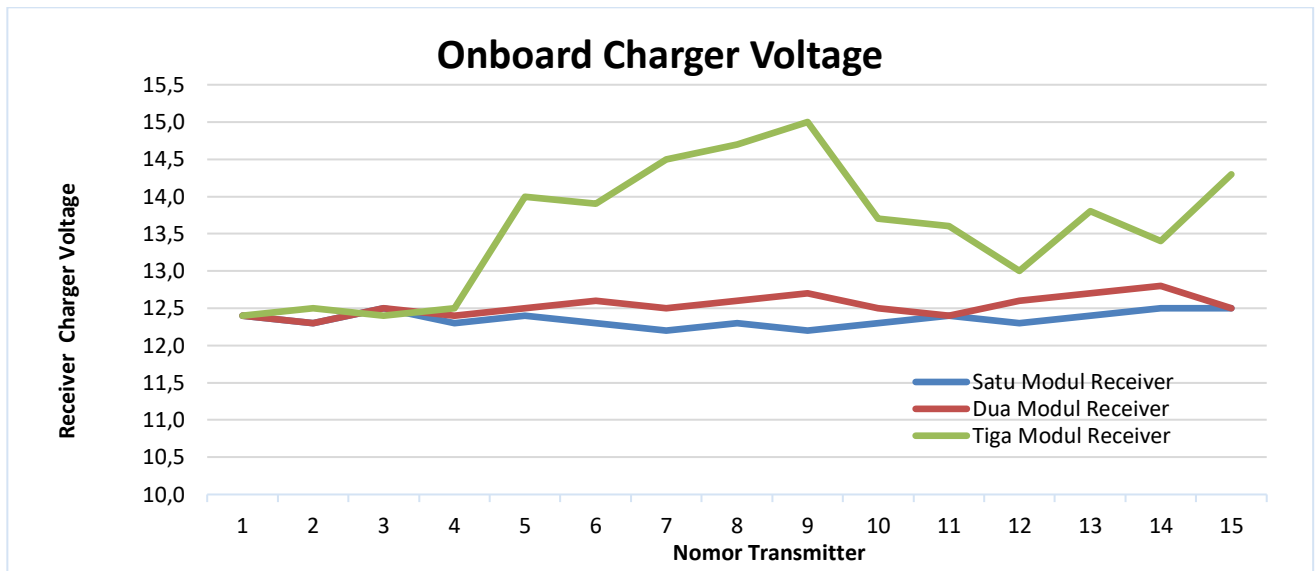


Gambar 3. Bentuk gelombang *transmitter* dan *receiver*

Pada penelitian sebelumnya diketahui bahwa listrik yang diterima berfluktuasi karena menggunakan *receiver* tunggal. Untuk mengatasi permasalahan pada penelitian sebelumnya, maka pada penelitian dilakukan ujicoba menggunakan tiga modul *receiver*. Pada keluaran masing masing *receiver* dihubungkan satu sama lain atau interkoneksi. Untuk menghindari arus balik, maka pada masing-masing *receiver* dipasang diode secara seri. Hasil yang diperoleh pada penggunaan satu *receiver*, dua *receiver* dan tiga *receiver* hasil rekaman kamera onboard ketika robot melintas pada masingmasing modul *Transmitter* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Tegangan charger baterai robot *onboard* menggunakan *receiver* tunggal, ganda dan triple

Nomor <i>Transmitter</i>	Tegangan baterai dengan satu <i>receiver</i> (Volt DC)	Tegangan baterai dengan dua <i>receiver</i> (Volt DC)	Tegangan baterai dengan tiga <i>receiver</i> (Volt DC)
1	12.4	12.4	12.4
2	12.3	12.3	12.5
3	12.5	12.5	12.4
4	12.3	12.4	12.5
5	12.4	12.5	14.0
6	12.3	12.6	13.9
7	12.2	12.5	14.5
8	12.3	12.6	14.7
9	12.2	12.7	15.9
10	12.3	12.5	12.7
11	12.4	12.4	12.6
12	12.3	12.6	13.0
13	12.4	12.7	12.8
14	12.5	12.8	13.4
15	12.5	12.5	14.3



Gambar 4. Tegangan receiver untuk koil penerima tunggal, ganda dan triple

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji coba yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa wireless charger untuk *mobile robot* mini dapat mempertahankan tegangan baterai robot setelah melewati lintasan charger. Jarak transmisi efektif antara *Transmitter* dan *receiver* tidak tergantung pada besarnya tegangan input *Transmitter* tetapi ditentukan oleh diameter internal coil *Transmitter* dan *receiver*, frekwensi kerja oscillator, jumlah kawat email dan susunan koil yang dipergunakan.

*Transmitter* dan *receiver* yang dihasilkan pada penelitian ini berbentuk modular dengan sistem plug and play namun dayanya relatif kecil, sehingga penggunaannya masih terbatas pada *mobile robot* mini. Untuk aplikasi pada kendaraan listrik yang lebih besar masih diperlukan penelitian lanjutan untuk menaikkan skalanya, meliputi penambahan jumlah inti kawat email, memperbesar internal diameter, menambah jarak air gap *Transmitter receiver*, menentukan frekwensi optimum dan menaikkan tegangan input *Transmitter*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. A. W. a. B. L. Wei Chen Cheah, "Limitations of wireless power transfer technologies for *mobile robots*," *Wireless Power Transfer*, pp. 1-15, 2019.
- [2] P. Kinsler, "Faraday's Law and Magnetic Induction: Cause and Effect, Experiment and Theory," *Physics*, vol. 2, pp. 150-163, 2020.
- [3] I. W. Hunt, "Nikola Tesla," 03 January 2020. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/biography/Nikola-Tesla>. [Accessed 12 Maret 2020].
- [4] Fortune Business Insight, "*Mobile robot* Charging Station Market Report Summaries Detailed Information By Top Key players SMP Robotics Systems Corp., Clearpath Robotics Inc., Fetch Robotics Inc., Nidec Corp., among others," *Fortune Business*, 2021. [Online]. Available: <https://www.fortunebusinessinsights.com/mobile-robot-charging-station-market-105338>. [Accessed 5 10 2021].
- [5] K. B. F. Y. G. H. B. a. Z. T. H. T. Taylor M. Fisher, "Electric vehicle wireless charging technology: a state-of-the-art review of magnetic coupling systems," *Wireless Power Transfer*, pp. 87 - 96, 2014.
- [6] C. M. Jae-O Kim, "A Vision-based Wireless Charging System for Robot Trophallaxis," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, pp. 1-9, 2015.
- [7] F. Z. Y. W. H. M. Yunyu Tang, "Design and Optimizations of Solenoid Magnetic Structure for Inductive Power Transfer in EV Applications," in *IECON2015-Yokohama*, Yokohama, 2015.
- [8] S. S. J. L. Chirag Panchal, "Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, pp. 922-937, 2018.
- [9] M. Masjono, "Terobosan baru transmisi energi listrik tanpa kabel," in *Conference on Smart-Green Technology in Electrical and Information Systems*, Bali, Indonesia, 2013.
- [10] EEtech Media, "What is a skin effect?," 18 09 2020. [Online]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-3/more-on-the-skin-effect/>.

- [11] A. M. Bozorgi and M. Farasat, "Wireless Power Transfer Coil Design for *Transmitter* and *Receiver* LCC Compensation based on Time-Weighted Average Efficiency," in IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Anaheim, CA, USA, 2019.
- [12] D. Castelvocchi, "Wireless energy may power electronics," 15 November 2006. [Online]. Available: <http://news.mit.edu//2006/techtalk51-9.pdf>.
- [13] M. Industries, "Coil Winding Wire," 18 09 2020. [Online]. Available: <https://mwswire.com/magnet-wire/coil-winding-wire/>