

Penggunaan *Inverter* pada *Sistem Wireless Power Transfer* untuk IoT

1st Angga Gumilang Dwi Prakasa
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia

anggagumilang@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Levy Olivia Nur
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia

levyolivia@telkomuniversity.ac.id

3rd Dhoni Putra Setiawan
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia

setiawandhoni@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — *Wireless Power Transfer* (WPT) memerlukan sumber arus bolak-balik (AC) berfrekuensi tinggi untuk menginduksi medan magnet pada kumparan pemancar. Pada penelitian ini dirancang inverter berbasis *Zero Voltage Switching* (ZVS) untuk menghasilkan sinyal AC resonan yang langsung dipasangkan ke kumparan *transmitter* sistem WPT berbasis *Magnetic Resonance Coupling* (MRC). Inverter ZVS bekerja dengan prinsip resonansi LC yang memanfaatkan dua MOSFET sebagai saklar daya, memungkinkan proses *switching* terjadi pada tegangan mendekati nol sehingga meminimalkan rugi daya dan panas. Sistem diuji pada frekuensi resonansi 14 kHz dengan tegangan masukan DC 12 V. Implementasi ini membuktikan bahwa inverter ZVS sederhana efektif digunakan untuk aplikasi WPT jarak dekat untuk perangkat IoT.

Kata kunci — *inverter, zero voltage switching, wireless power transfer, magnetic resonance coupling, Internet of Things*

I. PENDAHULUAN

Dalam sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) berbasis *Magnetic Resonance Coupling* (MRC), kinerja transfer daya sangat bergantung pada kualitas sumber tegangan AC yang diberikan ke kumparan pemancar. Tegangan ini dihasilkan oleh *inverter* yang mengubah sumber daya DC menjadi AC pada frekuensi resonansi rangkaian LC.

Metode *Zero Voltage Switching* (ZVS) digunakan untuk mengurangi rugi daya akibat *switching* pada transistor daya. Dengan memicu perpindahan kondisi *on-off* transistor pada saat tegangan mendekati nol, panas yang dihasilkan berkurang signifikan. Keunggulan ZVS adalah kemampuannya bekerja pada frekuensi tinggi dengan efisiensi lebih baik dibanding metode *switching* konvensional, serta memiliki rangkaian sederhana yang cocok untuk sistem WPT jarak dekat.

II. KAJIAN TEORI

A. *Wireless Power Transfer*

Wireless Power Transfer (WPT) adalah teknologi transfer energi listrik tanpa kabel melalui medan elektromagnetik. Dua metode utama WPT adalah kopling induktif dan kopling resonansi elektromagnetik[1]. Metode *non-beam* (mengandalkan medan magnet lokal) cocok untuk perangkat berdaya rendah seperti *Internet of Things* (IoT) dan implan medis, sedangkan metode *beam* (menggunakan gelombang elektromagnetik terarah) digunakan untuk aplikasi jarak jauh

seperti drone, dengan kebutuhan sistem pengarah dan keamanan yang lebih kompleks [2][3].

B. Inverter

Inverter memanfaatkan dua MOSFET yang dihubungkan pada rangkaian resonansi LC. Kedua MOSFET bekerja secara bergantian, dikendalikan oleh tegangan umpan balik yang dihasilkan dari pergeseran fasa arus dan tegangan pada rangkaian resonan. Hal ini membuat proses *switching* terjadi pada titik tegangan nol (*zero voltage*), mengurangi rugi *switching* dan menghindari lonjakan arus berlebih.

C. Induksi Elektromagnetik

Induksi elektromagnetik adalah proses timbulnya Gaya Gerak Listrik (GGL) akibat perubahan fluks magnetik di sekitar penghantar, sebagaimana dijelaskan oleh Hukum Faraday dan Hukum Lenz[4]. GGL dapat dihasilkan dengan mengubah medan magnet, luas *loop*, atau sudut orientasinya, serta dipengaruhi oleh jumlah lilitan kumparan. Prinsip ini menjadi dasar kerja *Wireless Power Transfer* (WPT), terutama pada metode resonansi magnetik, di mana arus bolak-balik pada kumparan pemancar menciptakan fluks magnetik yang menginduksi GGL pada kumparan penerima untuk mentransfer energi secara nirkabel.

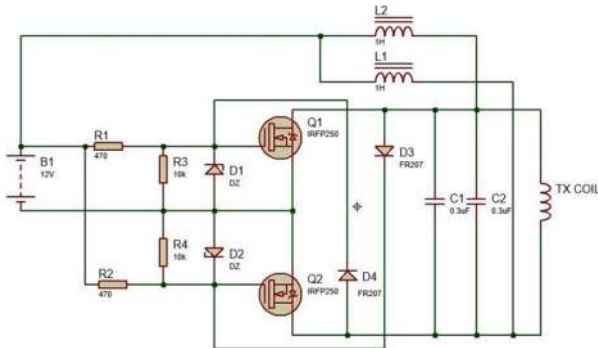
D. Frekuensi Resonansi

Frekuensi resonansi merupakan faktor kunci dalam *Wireless Power Transfer* (WPT) berbasis *magnetic resonance coupling*, di mana efisiensi maksimum dicapai saat *transmitter* dan *receiver* bekerja pada frekuensi yang sama. Frekuensi ini ditentukan oleh nilai induktansi (L) dan kapasitansi (C) dari rangkaian LC, dengan rumus sebagai berikut.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Penyesuaian frekuensi resonansi sangat penting karena memengaruhi efisiensi, stabilitas tegangan, dan daya maksimum sistem. Ketidaksesuaian frekuensi dapat menyebabkan rugi daya dan penurunan performa[5].

III. METODE



GAMBAR 1

Skematik Inverter ZVS

Berdasarkan Gambar 1 rangkaian *inverter* yang digunakan pada sistem WPT ini dirancang dengan teknik *zero voltage switching*, yaitu rancangan sistem yang menghasilkan sinyal AC pada frekuensi tinggi dari sumber tegangan DC. Rangkaian ini bekerja sebagai inverter *resonance self-oscillating*. Inverter *resonance self-oscillating* merupakan inverter yang bekerja tanpa sinyal kendali seperti PWM, melainkan mengatur osilasi dirinya sendiri melalui rangkaian LC.

Inverter bekerja dengan dua buah MOSFET yang mengalirkan arus bolak-balik secara bergantian. MOSFET akan aktif saat tegangan drain mendekati nilai nol volt. Oleh karena itu teknik ini dinamakan *zero voltage switching*. Rangkaian dilengkapi dengan proteksi dan stabilitas dengan menggunakan resistor dan dioda zener untuk menjaga tegangan *gate* pada MOSFET tidak berlebihan. Sedangkan untuk mencegah tegangan balik saat arus pada LC tank berubah arah, digunakan komponen dioda silikon. ZVS bekerja dengan daya yang cukup besar dengan menggunakan catu daya minimum 60 Watt atau sekitar 12V 5A.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Input Arus dan Tegangan pada Rangkaian ZVS

Pengujian karakteristik arus input dilakukan dengan menggunakan catu daya DC terprogram (*programmable power supply*) yang diatur pada tegangan 12 V dengan kapasitas arus maksimum 5 A. Nilai kapasitas ini mengacu pada spesifikasi minimum suplai daya untuk modul *Zero Voltage Switching* (ZVS) agar mampu mengantisipasi lonjakan arus (*inrush current*) dan kebutuhan daya beban maksimum. Namun, hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus yang masuk ke rangkaian ZVS hanya berada pada kisaran 0,4 A hingga 0,6 A dan bersifat fluktuatif seperti pada Gambar (2).



GAMBAR 2

Input Tegangan dan arus ZVS.

Fenomena ini terjadi karena spesifikasi 12V 5A merupakan kemampuan maksimum yang harus disediakan oleh sumber daya, bukan arus yang selalu dikonsumsi rangkaian. ZVS akan menarik arus sesuai kebutuhan transfer daya aktual yang bergantung pada kondisi beban, faktor kopling antara kumparan pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*), serta kondisi resonansi rangkaian LC. Pada saat beban di sisi penerima kecil atau jarak antara kumparan membesar, daya yang ditransfer menurun sehingga arus input menjadi rendah.

Selain itu, karakteristik kerja ZVS yang menggunakan prinsip resonansi menyebabkan arus input bersifat *pulsating* dengan nilai puncak yang lebih besar daripada arus rata-rata yang ditampilkan pada panel *power supply*. Pengaruh ini membuat nilai arus yang terbaca pada catu daya terlihat lebih rendah dibandingkan arus sesungguhnya yang mengalir pada siklus osilasi. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas 5 A digunakan sebagai *headroom* untuk kondisi transien atau beban puncak, sedangkan konsumsi daya aktual pada pengujian stabil berada di kisaran 4,8 W hingga 7,2 W seperti pada Gambar 2.

B. Output Frekuensi Inverter

TABEL 1

Spesifikasi LC Tank Transmitter dan Receiver

NO.	Jumlah Lilitan	Diameter Coil (cm)	Diameter Kawat Tembaga (mm)	Induktansi Coil (H)	Kapasitansi (C)
1.	50	12	0,6	$7,09 \times 10^{-4} \text{ H}$	$1,82 \times 10^{-7} \text{ F}$
2.	100	12	0,6	$2,30 \times 10^{-3} \text{ H}$	$5,61 \times 10^{-7} \text{ F}$

Frekuensi output dari inverter ZVS diukur menggunakan osiloskop digital pada sisi kumparan pemancar (*transmitter*). Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh frekuensi osilasi kisaran 14 kHz. Pada sistem ini, kumparan pemancar menggunakan 50 lilitan kawat tembaga dengan nilai induktansi dan kapasitansi pada Tabel 1 membentuk LC *tank transmitter*. Berdasarkan persamaan (1) frekuensi resonansi untuk LC *tank transmitter* sebagai berikut:

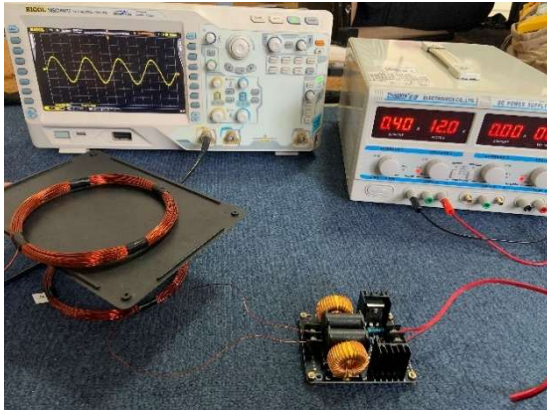
$$f_{rTX} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(7,09 \times 10^{-4})(1,82 \times 10^{-7})}}$$

$$f_{rTX} = 14,01 \text{ kHz.}$$

Receiver menggunakan jumlah lilitan 100 dengan nilai induktansi dan kapasitansi pada Tabel 1 membentuk LC *tank receiver*. Berdasarkan persamaan (1) frekuensi resonansi untuk LC *tank receiver* sebagai berikut:

$$f_{rRX} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(2,30 \times 10^{-3})(5,61 \times 10^{-8})}}$$

$$f_{rRX} = 14,011 \text{ kHz.}$$



GAMBAR 3

Hasil output frekuensi ZVS pada osiloskop.

Selisih frekuensi antara hasil perhitungan teoritis dan hasil pengukuran tidak terlalu signifikan untuk sistem resonansi. Hasil perhitungan frekuensi resonansi baik pada transmitter dan receiver sebesar 14,01 kHz. Sedangkan kondisi aktual hasil pengukuran pada osiloskop sebesar 14,4 kHz seperti yang dihasilkan pada Gambar 3. Perbedaan ini disebabkan oleh efek kapasitansi pada kumparan, toleransi komponen induktor dan kapasitor, efek beban dari sisi penerima, serta kapasitansi internal MOSFET pada rangkaian ZVS. Kedekatan nilai resonansi antara *transmitter* dan *receiver* membuktikan bahwa desain LC tank sudah sesuai sehingga *magnetic resonance coupling* dapat terjadi dengan efisiensi tinggi.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan inverter berbasis *Zero Voltage Switching* (ZVS) sebagai sumber sinyal AC berfrekuensi tinggi untuk sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) berbasis *Magnetic Resonance Coupling* (MRC). Hasil pengujian menunjukkan bahwa inverter ZVS mampu bekerja stabil pada frekuensi resonansi sekitar 14,4 kHz, dengan hasil perhitungan teoritis sebesar 14,01 kHz untuk LC tank transmitter dan receiver. Selisih frekuensi masih dalam batas toleransi yang dapat diterima dan disebabkan oleh faktor toleransi komponen, kapasitansi, efek beban, serta karakteristik non-linear komponen daya.

Pengukuran arus input menunjukkan bahwa meskipun catu daya memiliki kapasitas 12 V 5 A, konsumsi aktual *inverter* hanya berkisar 0,4–0,6 A, bergantung pada kondisi kopling kumparan dan beban. Hal ini membuktikan bahwa kebutuhan daya sistem WPT menyesuaikan dengan beban aktual, sementara spesifikasi suplai digunakan sebagai *headroom* untuk mengantisipasi kondisi transien. Secara keseluruhan, *inverter* ZVS yang dirancang terbukti efektif, sederhana, dan efisien untuk diaplikasikan pada sistem WPT jarak dekat, khususnya untuk perangkat IoT berdaya rendah hingga menengah. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada optimasi desain LC *tank*, peningkatan efisiensi kopling, serta pengujian pada variasi jarak dan orientasi kumparan untuk memperluas cakupan aplikasi.

REFERENSI

- [1] Takehiro Imura, *Wireless Power Transfer Using Magnetic and Electric Resonance Coupling Techniques*. Springer Nature Singapore, 2020.
- [2] A. Yousuf, T. K. Das, M. E. Khallil, N. A. A. Aziz, M. J. Rana, and S. Hossain, "Comparison Study of Inductive Coupling and Magnetic Resonant Coupling Method for Wireless Power Transmission of Electric Vehicles," in *International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques*, 2021, pp. 737–741. doi: 10.1109/ICREST51555.2021.9331096.
- [3] I. Radiocommunication Bureau, "REPORT ITU-R SM.2392-1 - Applications of wireless power transmission via radio frequency beam," 2016. [Online]. Available: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>
- [4] Yasu Mustika Ratna and Hadi Fathul Charis, "View of Pengaruh Tegangan Terhadap Besar Kuat Arus Listrik Pada Persamaan Hukum Ohm".
- [5] A. K. Prasojo and I. Surjati, "Rancang Bangun Wireless Power Transfer (WPT) Menggunakan Prinsip Resonansi Induktif Elektromagnetik dan Blocking Oscillator dengan Coil Berbentuk Spiral Mendatar," *JURNAL ELEKTRO*, vol. 12, pp. 97–102, Oct. 2019.

